

Contribuições das pesquisas em Ciências Ambientais para a sustentabilidade no estado da Bahia

ORGANIZADORES:
Gregório Mateus Santana
José Adolfo de Almeida Neto
Raildo Mota de Jesus
Romari Alejandra Martinez Montaño



Criação Editora



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

Reitor
ALESSANDRO FERNANDES DE SANTANA

Vice-Reitor
MAURÍCIO SANTANA MOREAU

ROSANA DOS SANTOS LOPES
Pró-Reitoria de Graduação

ALEXANDRE SCHIAVETTI
Pró-reitor de Pesquisa e Pós-graduação

NERIVALDO JOSÉ DE GUZZI FILHO
Pró-reitor de Extensão

PAULO CÉSAR CARDEAL CRAVEIRO
Pró-Reitor de Administração e Finanças

JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO
Coordenador do PPGDMA/UESC

RAILDO MOTA DE JESUS
Vice-coordenador do PPGDMA/UESC

ORGANIZADORES:
GREGÓRIO MATEUS SANTANA
JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO
RAILDO MOTA DE JESUS
ROMARI ALEJANDRA MARTINEZ MONTAÑO

Contribuições das pesquisas em Ciências Ambientais para a sustentabilidade no estado da Bahia



Criação Editora
Aracaju | 2020

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – É proibido a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos de autor (Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.) é crime estabelecido pelo artigo 184 do código penal. Este livro, ou parte dele, não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização escrita da editora.

O rigor e a exatidão do conteúdo dos artigos publicados são da responsabilidade exclusiva dos seus autores. Os autores são responsáveis pela obtenção da autorização escrita para reprodução de materiais que tenham sido previamente publicados e que desejem que sejam reproduzidos neste livro.

PROJETO GRÁFICO:

Adílma Menezes

FOTO CAPA:

AdobeStock_215906313

REVISOR:

Renato Gonçalves Peruzzo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bibliotecário Pedro Anizio Gomes CRB-8/8846

S232c	Santana, Gregório Mateus (org.) et al. Contribuições das pesquisas em Ciências Ambientais para a sustentabilidade no estado da Bahia / Organizadores: Gregório Mateus Santana, José Adolfo de Almeida Neto, Raildo Mota de Jesus e Romari Alejandra Martinez Montaño; Prefácio de Eliza Maria Xavier Freire. -- 1. ed. -- Aracaju, SE : Criação Editora, 2020. 310 p.; il.; fotografias. E-Book: 7 Mb; PDF ISBN. 978-65-88593-23-3 1. Bahia. 2. Ciências Ambientais. 3. Geografia. 4. Meio Ambiente. 5. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). I. Título. II. Assunto. III. Organizadores. CDD 918.14 2 CDU 911(813.8)
-------	---

ÍNDICE PARA CATÁLOGO SISTEMÁTICO

1. Geografia brasileira; Meio ambiente; Bahia.
2. Geografia; Meio Ambiente (Bahia).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTANA, Gregório Mateus (org.) et al. **Contribuições das pesquisas em Ciências Ambientais para a sustentabilidade no estado da Bahia**. 1. ed. Aracaju, SE: Criação Editora, 2020. EBook (7 PDF, Mb). ISBN 978-65-88593-23-3.

COMITÊ CIENTÍFICO:

Andrea da Silva Gomes
Christiana Cabicieri Profice
Daniela Mariano Lopes da Silva
Fermin Garcia Velasco
Francisco Heriberto Martinez Luzardo
Juliana Stracieri

Luciano Brito Rodrigues
Mônica de Moura Pires
Paulo Sávio Damásio da Silva
Ronaldo Lima Gomes
Sofia Campiolo
Salvador Trevisan

CONSULTORES AD HOC:

Ademir de Jesus Silva Júnior
Aline Maron Setenta
Andréa da Silva Gomes
Ariene Bomfim Cerqueira
Bruno Ferreira dos Santos
Carina da Conceição M. de Almeida
Carlos Amilton Silva Santos
Carlos Ernando da Silva
Carlos Roberto de Lima
Christiana Cabicieri Profice
Cristiane Aparecida de Cerqueira
Daniela Mariano Lopes da Silva
Danilo Paulúcio da Silva
Edson José Wartha
Elaine Aparecida da Silva
Erick Samuel Rojas Cajavilca
Fábio Massena
Fermin Garcia Velasco
Fernanda Zoppas
Francisco Heriberto Martinez Luzardo
Franco Dani Rico Amado
Gustavo Joaquim Lisboa
Henrique Leonardo Maranduba

João Batista de Castro Júnior
João Batista Lopes da Silva
José Augusto Gomes Azevêdo
José Rodrigues de Almeida Neto
Manoel Camilo Moleiro Cabrera
Marcela Campanharo
Marcelo Pimentel da Silveira
Marcos Antonio Pinto Ribeiro
Marcos de Almeida Bezerra
Maria de Fátima Freire de M. Ximenes
Maria do Socorro Ferreira dos Santos
Maria José Nascimento Soares
Murilo Marques Scaldaferrri
Naisy Silva Soares
Narcísio Cabral de Araújo
Olândia Ferreira Lopes
Pollyanna Alves Dias Costa
Priscila Silva de Figueiredo
Robson Mota de Jesus
Romari Alejandra Martinez Montano
Salvador Dal Pozzo Trevisan
Sofia Campiolo
Tatiane Benvenuti

CONSELHO EDITORIAL Criação Editora

Ana Maria de Menezes
Fábio Alves dos Santos
Jorge Carvalho do Nascimento
José Afonso do Nascimento
José Eduardo Franco
José Rodorval Ramalho
Justino Alves Lima

Luiz Eduardo Oliveira Menezes
Maria Inêz Oliveira Araújo
Martin Hadsell do Nascimento
Rita de Cácia Santos Souza

Lucas Aribé Alves
(Parecerista de acessibilidade)

No sul da Bahia encontramos...



a grande lição da fluidez encontradas em bacias Hidrográficas distribuídas por todo território baiano, que alimentam não somente a vida de tudo, mas possibilitam as cheganças, de pessoas, culturas, temperos...e até mesmo...



piçava que ainda chega via canoas na beira da vila de Maraú pelo Rio Orojo.

André Elvas



PREFÁCIO

Esta obra é de grande relevância para as Ciências Ambientais por abordar e divulgar temas bastante pertinentes no âmbito da “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, estabelecida pela Organização das Nações Unidas (ONU) para o período 2015 a 2030. Nessa Agenda Mundial estão estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) os quais, além de integrados e indivisíveis, buscam equacionar as diferentes nuances do Desenvolvimento Sustentável e, por meio de suas metas, contemplam quatro dimensões predominantes, a social, a ambiental, a econômica e a institucional. No caso específico deste Livro, que trata de “Contribuições das pesquisas em Ciências Ambientais para a sustentabilidade da Bahia”, são abordados temas como Uso e ocupação do solo e de bacias hidrográficas, Qualidade e monitoramento da água de bacias hidrográficas e de sistemas de abastecimento, Formação de profissionais em enfermagem e meio ambiente, Saúde e sustentabilidade ambiental, dentre outros, que estão em consonância com pelo menos seis ODS da Agenda 2030 da ONU. Ou seja, o conjunto desta Obra contribui direta ou indiretamente para a consecução dos ODS 3 - Boa Saúde e Bem estar, e 4 - Educação de qualidade (Dimensão Social); 6 - Água limpa e saneamento, 14 - Vida abaixo d’água, e 15 - Vida sobre a terra (Dimensão Ambiental); 11 - Cidades e comunidades sustentáveis (Dimensão Econômica).

Em adição, a finalidade desta obra coletiva é plenamente alcançada por meio da integração de pesquisas realizadas por docentes, discentes e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC, Ilhéus-BA, uma das integrantes da Rede PRODEMA, e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, UESB, Itapetinga-BA. O sucesso deste produto coletivo elaborado com rigor metodológico e conhecimentos de diferentes áreas do saber destaca a relevância da colaboração multi/interdisciplinar entre cientistas.

Com enorme satisfação e honra, como estudiosa da Biodiversidade brasileira e integrante do PRODEMA/UFRN, prefaciei esta obra de fundamental importância para o processo de desenvolvimento sustentável regional, nacional e mundial, a exemplo dos ODS.

Dra. Eliza Maria Xavier Freire

Professora Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - PRODEMA e Departamento de Botânica e Zoologia

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
ATRIBUTOS GEOMORFOMÉTRICOS E USO e OCUPAÇÃO DO SOLO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SUL DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL <i>Olandia Ferreira Lopes; Lucas Farias de Sousa Raildo Mota de Jesus; Felizardo Adenilson Rocha Ronaldo Lima Gomes</i>	11
ESTUDO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATOLÉ GRANDE <i>Natália Andrade Silvão; Flavia Mariani Barros; Danilo Paulucio da Silva Felizardo Adenilson Rocha; Danilo Junqueira Leão</i>	37
COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO E REAERAÇÃO E DINÂMICA DA AUTODEPURAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATOLÉ GRANDE - BA <i>Natália Andrade Silvão; Flavia Mariani Barros; Danilo Paulucio da Silva Felizardo Adenilson Rocha; Danilo Junqueira Leão</i>	55
MODELAGEM DE VAZÕES MÉDIAS MENSIS DO RIO CATOLÉ GRANDE, BAHIA, BRASIL <i>Jhones da Silva Amorim; Danilo Paulúcio da Silva Felizardo Adenilson Rocha; Flávia Mariani Barros</i>	71
AValiação AMBIENTAL DA BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PELA LARVA DA MOSCA SOLDADO NEGRA <i>Thainá R. Cruz; Krizia C. Andrade; Joan S. Matos Emanoelle W. S. Lima; José A. Almeida Neto</i>	87
ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA DOS BLOCOS CERÂMICOS <i>Alina Silva de Carvalho; Henrique Leonardo Maranduba Laís Sampaio Machado; Kelly Félix Olegário; José Adolfo de Almeida Neto</i>	105
ANÁLISE DE INFRAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO SUL DA BAHIA <i>Maria Paula Queiroz Barbosa; Guilhardes de Jesus Júnior Romari Alejandra Martinez</i>	127

ESTRATÉGIAS DE MONITORAMENTO IOT-GSM INTEGRADAS A SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	143
<i>Nícolas Mateus Cosme Oliveira Campos Raildo Mota de Jesus; Gregório Mateus Santana</i>	
METAIS PESADOS: O QUE SABEMOS OU DEVERÍAMOS SABER SOBRE ELES?	163
<i>Fernanda Bonfim Rocha; Raildo Mota de Jesus Edson José Wartha; Juliana Stracieri; Gregório Mateus Santana</i>	
NÍVEIS DE METAIS EM MOLUSCOS BIVALVES: ESTUDOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS NO BRASIL	177
<i>Filipe Leal Rangel; Thátyla da Cruz Santos; Marina Santos de Jesus Daniel de Castro Lima; Fabio Alan Carqueija Amorim</i>	
ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA PRODUÇÃO HORTÍCOLA NA LAGOA DAS FLORES, VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA	199
<i>Valeria Melo Ferraz; Mônica de Moura Pires Paulo César Bahia de Aguiar; Monick Midlej do Espírito Santo</i>	
FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM ENFERMAGEM E MEIO AMBIENTE: uma perspectiva discente	221
<i>Kitiana Carvalho Pacheco; Christiana Cabicieri Profice; Dayanne Batista Sampaio</i>	
SAÚDE E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: PARASITOSSES E CONDIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS NO SUL DA BAHIA	241
<i>Louise Santos Fernandes de Jesus; Patrícia Carla Barbosa Pimentel Wesley Duarte da Rocha; Pollyanna Alves Dias Costa; Sofia Campiolo</i>	
AVALIAÇÃO LABORAL DOS POSTOS DE TRABALHO DA SALA DE ABATE DE UM FRIGORÍFICO NO SUDOESTE BAIANO	259
<i>Lionidio Aragão Vieira; Tiago Meira Lima; Sônia Martins Teodoro</i>	
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE METAIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ILHÉUS E ITABUNA, NO SUL DA BAHIA	281
<i>Orleane Souza de Brito; Lívia Oliveira Correia Francisco Heriberto Martinez Luzardo; Fermin Garcia Velasco</i>	
SOBRE AUTORES	301

ATRIBUTOS GEOMORFOMÉTRICOS E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SUL DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL

OLANDIA FERREIRA LOPES
LUCAS FARIAS DE SOUSA
RAILDO MOTA DE JESUS
FELIZARDO ADENILSON ROCHA
RONALDO LIMA GOMES

RESUMO

A caracterização dos atributos morfométricos de uma bacia é importante para o processo de planejamento e gestão dos recursos naturais, sobretudo a qualidade de água. Essa pesquisa visou a comparar as diferentes sub-bacias localizadas na Região de Planejamento e Gestão de Águas (RPGA) do Leste no Estado da Bahia em termos de morfometria, bem como a aplicação do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS). O ArcGIS foi utilizado para determinar os atributos morfométricos, bem como para realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo das bacias avaliadas, em associação às classes de solo. As sub-bacias foram hierarquizadas em termos de necessidade de conservação do solo e dos recursos hídricos por meio da técnica Weighted Sum Analysis (WSA) a partir de parâmetros morfométricos, com a finalidade de auxiliar no manejo e gerenciamento das bacias avaliadas. As três bacias analisadas têm baixa probabilidade de picos de cheias, porém, o uso inadequado do solo integrado com a declividade íngreme pode aumentar a suscetibilidade das bacias a eventos de cheias. Considerando o IMUS, constatou-se que as sub-bacias do rio Una tiveram uma classificação melhor em comparação às outras bacias avaliadas. Isso indica que essa bacia apresenta uma condição mais adequada em relação à sustentabilidade ambiental do uso e ocupação do solo, bem como em relação às condições físicas.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, enchentes, degradação ambiental.



ABSTRACT

The characterization of the morphometric attributes of a basin is important for the process of planning and managing natural resources, especially water quality. This research aimed to compare the different sub-basins located in the East Water Planning and Management Region (RPGA) in the State of Bahia in terms of morphometry, as well as the application of the Morphometric Analysis and Aptitude of Land Use and Vegetation Coverage Index (IMUS, in Brazilian acronym). ArcGIS was used to determine the morphometric attributes, as well as to map the land use of the evaluated basins, associating with the soil classes. The sub-basins were ranked in terms of the need to conserve soil and water resources using the Weighted Sum Analysis (WSA), technique based on morphometric parameters, in order to assist in the management of the evaluated basins. The three basins analyzed have a low probability of flood peaks, however, the inappropriate use of soil integrated with the steep slope can increase the susceptibility of the basins to flood events. Considering the IMUS, it was found that the sub-basins of the Una River had a better classification compared to the other basins evaluated. It indicates that this basin presents a more adequate condition in relation to the environmental sustainability of land use and occupation, as well as in relation to physical conditions.

Keywords: water resource management, floods, environmental degradation.

1 INTRODUÇÃO

Bacias hidrografias são consideradas por vários pesquisadores em âmbito mundial como unidades ideais de planejamento (ARAÚJO *et al.*, 2015). O estudo das características físicas, como a área da bacia, o comprimento da drenagem, a declividade média da bacia e do curso d'água principal, são essenciais para determinar o potencial hídrico de determinada bacia, subsidiando o planejamento dos recursos hídricos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A análise morfométrica visa a realizar a avaliação quantitativa da superfície do terreno, fornecendo uma descrição adequada do sistema de drenagem, bem como possibilitando estimar as características das bacias hidrográficas em relação à forma e às dimensões da sua paisagem (STRAHLER, 1964). O estudo da morfometria auxilia na gestão de bacias hidrográficas por meio de estudos que visam à previsão do comportamento hidrológico, levantamento de modificações ambientais, zoneamento ambiental, priorização de áreas para intervenção, manejo das águas subterrâneas e superficiais (PANDE; MOHARIR, 2017; OLSZEWSKI *et al.*, 2011; ABUD *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2016).

O funcionamento dos ecossistemas aquáticos em escala de bacias hidrográficas é influenciado por várias características, tais como: geologia, vegetação, solos, uso e ocupação do solo, relevo, deflúvio, evapotranspiração, clima, área, forma, entre outros. O estudo sobre esses atributos contribui com a mensuração e a compreensão do processo hidrológico da bacia (MESA, 2006; SANTOS *et al.*, 2007).

O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), associado com o sensoriamento remoto no estudo da morfometria na escala de bacias, permite gerar o modelo de elevação digital (DEM) das bacias e, posteriormente, determinar os parâmetros morfométricos. Esse método é considerado mais adequado em comparação aos convencionais, pois tem capacidade de gerenciar e processar, eficiente e precisamente, informações espaciais em grandes quantidades. Em função disso, tem crescido muito nas últimas décadas (SINGH; THAKUR; SINGH, 2013; KUSRE, 2016). De acordo com Pande e Moharir (2017), os métodos convencionais utilizados para realizar a avaliação morfométrica são considerados demorados e propensos a erros.

A alteração da paisagem ocasionada pelas atividades antrópicas causa depreciação dos corpos d'água, tais como: intensificação da erosão, modificação das variáveis de qualidade da água, lançamento de efluentes, alterações no escoamento e assoreamento dos rios (JI; DAHLGREN; ZHANG, 2016). Consideran-

do que o estudo dos parâmetros morfométricos e do uso e ocupação do solo contribuem com a identificação das mudanças naturais e antrópicas nas bacias hidrográficas (PISSARRA *et al.*, 2010), torna-se cada vez mais importante conhecer as características físicas das bacias hidrográficas.

Os parâmetros morfométricos são considerados indicadores que auxiliam a comunicação de informações sobre os atributos físicos das bacias de forma resumida, subsidiando a adequação do uso e ocupação do solo. Nesse sentido, foi proposto por Silva *et al.* (2016) o Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS), que associa indicadores morfométricos, dados de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal a fim de avaliar a influência desses fatores naturais e antrópicos sobre a resiliência ambiental de bacias. O IMUS permite prever picos de enchentes e estabelecer medidas de controle para bacias com propensão à erosão, consistindo em uma ferramenta relevante de análise morfométrica e do uso e ocupação do solo. Dessa forma, esse índice é muito útil no processo de gestão e manejo de bacias hidrográficas, auxiliando na elaboração e implementação de políticas públicas a fim de assegurar a sustentabilidade das bacias hidrográficas.

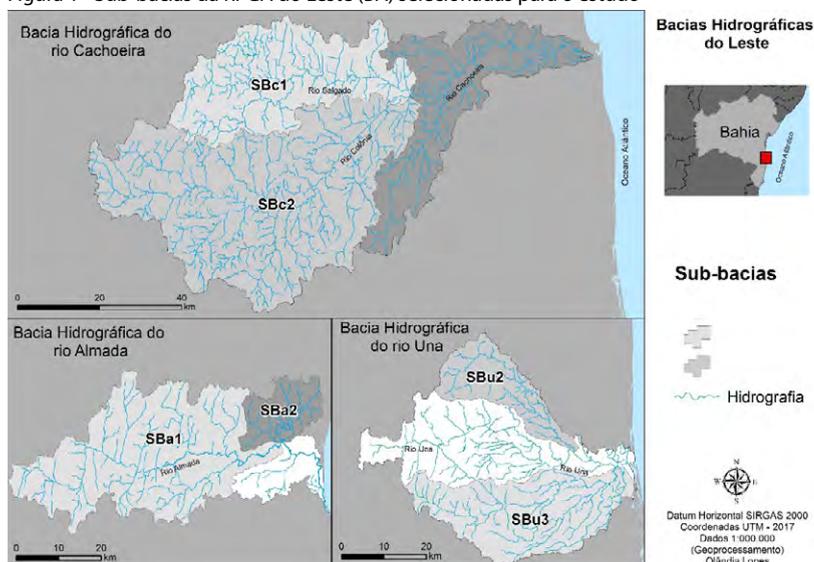
A Região de Planejamento e Gestão de Águas (RPGA) do Leste localiza-se no sul do Estado da Bahia, a qual é integrada pelas bacias dos rios Almada, Cachoeira, Una, entre outras. Essas bacias são utilizadas para usos múltiplos, tais como: irrigação agrícola, abastecimento humano, dessedentação animal, entre outros. Porém, essas bacias estão sofrendo um processo de degradação ambiental devido às atividades antrópicas nas suas áreas de influências (INE-MA, 2016). Nesse sentido, os objetivos do presente estudo são: a) caracterizar as bacias Almada, Cachoeira e Una em termos de morfometria a fim de inferir em relação à probabilidade de picos de enchentes e de propensão à erosão do solo; b) relacionar o uso e a ocupação do solo às classes de solos predominantes nas bacias; c) avaliar a sustentabilidade ambiental das bacias por meio da aplicação do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS); e d) estabelecer a priorização das sub-bacias dos rios Almada, Cachoeira e Una em termos de necessidade de conservação do solo e dos recursos hídricos por meio da técnica Weighted Sum Analysis (WSA).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região sul do estado da Bahia, na Região de Planejamento e Gestão de Águas (RPGA) do Leste, com área de 9.507 km² e população aproximada de 682.652 habitantes. A referida RPGA é constituída pelas bacias hidrográficas de rios estaduais, que deságuam no Oceano Atlântico, limitadas ao norte e ao noroeste pela RPGA do Rio das Contas; e ao sul e ao sudoeste pela RPGA do Rio Pardo (INEMA, 2016). As três bacias selecionadas da RPGA, para este estudo, foram subdivididas em seis unidades menores. São elas: rio Cachoeira (SBc1 e SBc2), rio Almada (SBa1 e SBa2) e rio Una (SBu2 e SBu3), conforme Figura 1.

Figura 1 - Sub-bacias da RPGA do Leste (BA) selecionadas para o estudo



Fonte: CPRM (2010)

O bioma trata-se da Mata Atlântica, apresentando dois tipos de formações florestais: estacional decidual e semidecidual (INEMA, 2016). De acordo com a classificação de Koppen (1936), a área da RPGA do Leste é classificada em duas tipologias climáticas: a) clima tropical (Afi) nas zonas litorâneas com valores aproximados de índices pluviométricos de 2.200 mm; e b) clima Tropical com Estação Seca definida nas zonas central e oeste, sendo caracterizado pela

redução da precipitação no período de inverno, entre os meses de junho e agosto, com valores pluviométricos com média anual de aproximadamente 850 mm, no qual o verão se destaca com maior histórico de chuvas intensas (ALVARES *et al.*, 2013).

A geologia da RPGA do Leste (BA) é compreendida por granitos e gnaisses, ortognaisses, sienitos, tonalitos, metassienitos, grupo barreiras, arenito conglomerático, calcário e conglomerados, metacalcário e depósitos fluvio-marinha. A tipologia predominante é a de granitos e gnaisses, sendo a segunda e a terceira classes dominantes o grupo barreiras e metacalcário, respectivamente. A geomorfologia compreende basicamente serras, depressão intraserrana, mares de morro, tabuleiros costeiros e planície costeira. As principais classes de solos da RPGA são Argissolo, Argissolo distrófico, Chernossolos, Espodosolos, Latossolos, Latossolos Vermelho-amarelo, Neossolos e Neossolo Quatzarênico (CPRM, 2010).

2.2 Mapeamento do uso e ocupação do solo

A identificação das classes de uso e ocupação do solo que compõem a paisagem das bacias hidrográficas da RPGA do Leste foi realizada através do mapeamento em escala numérica de 1:50.000 a partir de imagens de satélite dos sensores Landsat 8 OLI (resolução espacial de 30 m), datada do mês de junho de 2017, com ponto de órbita 216 e pontos 70 e 71, estando disponível nos catálogos de imagem digitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center (USGS – EROS) (CLARK *et al.*, 2017). Do número total de bandas espectrais que compõem os metadados das imagens, especificamente as bandas pancromáticas 1, 2, 3, 4, 5 e 8 foram utilizadas para a identificação das diferentes coberturas vegetais e dos sistemas antrópicos, conforme observado nos trabalhos de Lourenço e Landim (2004) e de Demattê (2017).

No processamento digital das imagens, empregou-se o software ArcGIS 10.3. Foram delimitados, de forma arbitrada, polígonos matrizes que representam: (1) áreas urbanas, (2) sistema agroflorestal “Cabruca”, (3) remanescentes florestais, (4) restinga, (5) áreas alagadas, (6) manguezal e (7) zonas de agropecuária. A precisão desses dados, para a escala adotada, foi continuada através da conjuntura de informações de cobertura vegetal levantadas no geoprocessamento de dados cartográficos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e de trabalhos de mapeamento observados: Bahia (2004), Franco e Dal Santo (2015) e Silva, Gomes e Rego (2015). Além disso,

definiram-se pontos de controle sobre as imagens da cena do sensor com o intuito de distinguir, por meio de classificação supervisionada, alguns recortes com proximidade de valores de pixel entre as classes de floresta/Cabruca e restinga/agropecuária.

2.3 Caracterização morfométrica das sub-bacias localizadas na RPGA do Leste (BA)

O modelo digital de elevação (MDE) Topodata (resolução espacial de 30 m x 30 m) (INPE, 2017) foi utilizado para efetuar extração dos dados inerentes à área, ao perímetro e à hipsometria das bacias hidrográficas em estudo. Foi utilizado o atributo *zn*: arquivo em formato *raster* que corresponde à elevação do terreno em relação ao nível do mar. Foram importadas 3 folhas em arquivo *geotiff*: 14s405, que foram utilizadas para delimitação da BH do rio Almada; 15s405, para a BH do rio Cachoeira; e 15s39, para os limites da BH do rio Una.

A hierarquização da drenagem foi estabelecida de acordo com a técnica de ordenação de rio de Strahler (1964). Os parâmetros morfométricos, tais como número e comprimento dos rios de cada ordem, área de drenagem, entre outros, foram determinados por meio do uso do software ArcGIS 10.3 para cada sub-bacia. A partir dos referidos parâmetros das sub-bacias, foram calculados: a densidade de drenagem, a elevação média da bacia, o fator de forma, o índice de circularidade, o coeficiente de compacidade, a relação de relevo, o coeficiente de manutenção e o índice de rugosidade.

A metodologia adotada para o cálculo dos parâmetros morfométricos seguiu as orientações de: Horton (1945); Alves e Castro (2003); Strahler (1964); Damasco, Furtado e Bento-Gonçalves (2014); Pereira *et al.* (2015); Smith (1950) e Pereira (2015). Depois, foi realizada uma comparação dessas características entre as sub-bacias e a literatura. A forma da bacia consiste no cálculo da média dos seguintes parâmetros: fator de forma, índice de circularidade e razão de alongamento (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014).

2.3.1 Aplicação do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS) nas sub-bacias da RPGA do Leste (BA)

Foram realizados os cálculos do Índice de Circularidade Adaptado (Ic_{ad}), Coeficiente de Compacidade Adaptado (Kc_{ad}), Fator de Forma Adaptado (Kf_{ad}), Densidade de Drenagem Adaptado (Dd_{ad}), conforme equações 1, 2, 3 e 4, res-

pectivamente, para aplicação no IMUS (SILVA et al., 2016) representadas a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 - Cálculos dos parâmetros morfométricos utilizados na determinação do IMUS

Nome do indicador	Equação	Condições para aplicação na equação	Numeração da equação
IC_{ad}	$IC_{ad} = 1 - Ic$	---	1
Kc_{ad}	$Kc_{ad} = \begin{cases} 0 \\ 4x Kc - 5 \\ 1 \end{cases}$	Para $Kc \leq 1,25$ Para $1,25 < Kc < 1,50$ Para $Kc \geq 1,50$	2
Kf_{ad}	$Kf_{ad} = \begin{cases} 0 \\ -4x Kf + 3 \\ 1 \end{cases}$	Para $Kf \geq 0,75$ Para $0,75 < Kf < 0,50$ Para $Kf \leq 0,50$	3
Dd_{ad}	$Dd_{ad} = \begin{cases} 0 \\ \frac{1}{3}x Dd - \frac{1}{6} \\ 1 \end{cases}$	Para $Dd \leq 0,5 \text{ km/Km}^2$ Para $0,5 \text{ km/Km}^2 < Dd < 3,5 \text{ km/Km}^2$ Para $Dd \geq 3,5 \text{ km/Km}^2$	4
RN	$RN = D \times Dd$	---	5
ICR_{ad}	$ICR_{ad} = \frac{A_{conf}}{A_{sub}}$	---	6

Fonte: Silva et al. (2016).

Nota: Ic (índice de circularidade); IC_{ad} (índice de circularidade adaptado); Kc (coeficiente de compacidade); Kc_{ad} (coeficiente de compacidade adaptado); Kf (fator de forma); Kf_{ad} (fator de forma adaptado); Dd (densidade de drenagem); Dd_{ad} (densidade de drenagem adaptado); ICR_{ad} (índice de coeficiente de rugosidade adaptado); A_{sub} – área de drenagem total da sub-bacia hidrográfica (m^2) sem a presença das classes compostas por edificações antrópicas presentes em áreas urbanas e rurais e os lagos e os açudes; A_{conf} – área em conformidade de uso e ocupação do solo com o uso potencial do solo da sub-bacia; hidrográfica (m^2); RN – coeficiente de rugosidade; D – declividade média em graus, conforme Silva et al. (2016).

Para determinação do Coeficiente de Rugosidade (RN), utilizou-se a Equação 5. Os resultados do coeficiente de rugosidade foram correlacionados com as classes de uso dos solos de Barros, Tagliarini e Penachio (2017), adaptado de Rocha e Kurtz (2001), a fim de determinar a propensão da terra para cada bacia (Tabela 2). No cálculo do coeficiente de rugosidade adaptado ($ICRad$), foi aplicada a Equação 6, que se refere à relação entre as áreas que estão de acordo com a aptidão natural do uso e ocupação do solo. Depois, foi realizado o levantamento das áreas que estão em conformidade com o uso potencial do solo e os que estão irregulares por meio da função *overlay* (SILVA et al., 2016).

Tabela 2 - Classes de usos dos solos de acordo com o coeficiente de rugosidade (CN)

Coeficiente de rugosidade	Classe	Propensão da terra
1,09 – 10,63	A	Agricultura
10,64 – 20,18	B	Pastagens
20,19 – 29,73	C	Pastagens/Reflorestamento
29,74 – 39,28	D	Reflorestamento

Fonte: Barros, Tagliarini e Penachio (2017), adaptado de Rocha e Kurtz (2001).

Após a obtenção dos indicadores morfométricos ($Ic_{ad'}$, $Kc_{ad'}$, $Kf_{ad'}$, Dd_{ad} e $ICRad$), aplicou-se o Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS), elaborado por Silva *et al.* (2016), para cada sub-bacia, conforme Equação 7. Em que: V_i representa os indicadores morfométricos e de aptidão do uso do solo e cobertura vegetal para cada Sub-Bacia Hidrográfica ($Ic_{ad'}$, $Kf_{ad'}$, $Kc_{ad'}$, Dd_{ad} e $ICR_{ad'}$).

$$IMUS = \frac{\sum_{i=1}^5 V_i}{5} \quad (\text{Eq. 7})$$

A partir desses resultados de IMUS, as sub-bacias foram classificadas em: ótimo (0,91 a 1,0), bom (0,71 a 0,90), regular (0,51 a 0,70), ruim (0,26 a 0,50) ou péssimo (0,0 a 0,25). Em seguida, foi calculada a média para as bacias Cachoeira, Una e Almada.

2.4 PRIORIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DA RPGA DO LESTE (BA)

Os parâmetros morfométricos para definição da priorização das sub-bacias foram selecionados com base em sua relação com aspectos de depreciação dos recursos hídricos e de degradação do solo nas sub-bacias (SOARES *et al.*, 2016). Dessa forma, os parâmetros escolhidos para definir a hierarquização das sub-bacias localizadas na RPGA do Leste (BA) para o Cenário 1 foram: fator de forma, textura de drenagem, razão de alongamento, coeficiente de compacidade, razão de bifurcação e índice de circularidade, conforme método desenvolvido por Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014).

O cenário 2 foi constituído pelas variáveis estabelecidas por Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014), bem como pela variável cobertura vegetal, a fim de verificar a influência dos remanescentes florestais na degradação do solo e dos recursos naturais. A inserção da cobertura florestal na análise da hierarquização das bacias neste estudo se justifica por essa variável ter relevância em estudos que visam à avaliação geoambiental, sobretudo em pesquisas que buscam

analisar a degradação ambiental, uma vez que a remoção de remanescentes florestais é o primeiro indicador de perturbação antrópica de um determinado local (LIMA, 2014).

Aplicou-se a análise de correlação de *spearman* a fim de obter os valores das constantes de cada variável. Esses valores foram determinados por meio da razão entre a soma das correlações de cada variável de forma individual e a soma total dos valores de correlações, utilizando a técnica Weighted Sum Analysis (WSA). A partir desses dados, foi possível definir o modelo para priorização das sub-bacias, no qual o menor valor obtido foi enquadrado como maior prioridade para a conservação dos recursos hídricos e dos solos, enquanto o segundo valor foi considerado como de 2ª ordem de hierarquia e assim consecutivamente. A hierarquização das sub-bacias foi realizada com base no estudo de Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014) e aplicada por Soares *et al.* (2016) (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação hierárquica para priorização das sub-bacias por meio do método WSA

Tipo de prioridade	Intervalo do resultado do modelo
Muito alta	-3,107 a 2,936
Alto	2,936 a 5,957
Médio	5,957 a 8,978
Baixo	8,978 a 10,489
Muito baixo	> 10,489

Fonte: Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014) e Soares *et al.* (2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as características morfométricas das sub-bacias da RPGA do Leste (BA) estão apresentados na tabela a seguir.

As bacias localizadas na RPGA do Leste tiveram classificação variando entre 3ª e 5ª ordens, segundo a classificação de Strahler (1952). Estudando a morfometria do Rio Taguara no estado do Paraná, Stipp *et al.* (2010) encontraram hierarquia fluvial de 5ª ordem (Tabela 4).

Tabela 4 - Características morfométricas obtidas para as sub-bacias da RPGA do Leste (BA)

Índice	Sba1	Sba2	Sbc1	Sbc2	Sbu2	Sbu3
Nº de Canais	73	22	88	229	12	20
Área da bacia (km ²)	1184,09	206,78	228,41	2325,79	321,41	727,04
Perímetro (km)	266,65	85,62	1058,86	329,04	106,66	170,21
Extensão do rio principal (Km)	77	15,6	78	124	63,3	62,8
Fator de forma (Kf)	0,38	0,2	0,46	0,18	0,26	0,29
Hierarquização da drenagem (Strahler)	5 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	4 ^a	3 ^a
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,06	0,1	0,38	0,1	0,03	0,02
Extensão total dos rios (km)	523	129	603	1036	397	421
Desnível da bacia (m)	832	185	810	792	526	765
Amplitude (elevação) altimétrica (m)	323	75	296	310	214	145
Declividade (m/m)	0,01	0,011	0,01	0,006	0,008	0,012
Declividade Média (%)	31	22	23	14	23	18
Índice de circularidade	0,33	0,43	0,28	0,30	0,14	0,22
Índice de rugosidade	19,38	7,5	112,48	31	6,42	2,9
Frequência do rio	0,0042	0,0145	0,0175	0,0021	0,0124	0,0041
Textura de drenagem	0,016	0,0169	0,0017	0,0007	0,0117	0,0024
Coefficiente de compacidade	2,18	1,67	19,76	1,92	1,67	1,78
Razão de bifurcação	15,6	8,33	23	46,8	4	7,66
Coefficiente de torrencialidade (Ct)	0,004	0,011	0,146	0,010	0,001	0,001
Fator topográfico (Ft)	0,17	0,24	1,33	0,12	0,05	0,07
Densidade hidrográfica (Dh)	0,06	0,11	0,39	0,10	0,04	0,03
Forma da bacia (Fb)	0,44	0,58	0,34	0,38	0,31	0,36

As bacias avaliadas apresentam características mais alongadas, pois os valores encontrados para os coeficientes de compacidade foram superiores a 1, demonstrando que têm pouco potencial de enchentes (OLIVEIRA; OLIVEIRA; CRESTANI, 2011). Em relação aos fatores de forma, foram obtidos valores abaixo de 0,5. Sendo assim, não dispõem de suscetibilidade a enchentes (MELLO; SILVA, 2013). Os valores baixos para esse indicador sugerem que as bacias têm um formato mais retangular. Desse modo, há menos probabilidade de picos de cheias.

Os valores para o índice de circularidade para todas as sub-bacias tiveram resultados abaixo de 0,50. Portanto, podem ser consideradas com características mais alongadas. Consequentemente, com pouco potencial de enchentes, uma vez que há menores probabilidades de precipitação intensas acontecerem concomitantemente em todo o seu percurso e há menos concentração de vazão no curso d'água principal (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Os valores baixos de densidade hidrográfica sugerem que há baixa propensão a enchentes (CASTRO; CARVALHO, 2009). A densidade de drenagem foi considerada baixa para todas as sub-bacias avaliadas, considerando que houve valores abaixo de $0,5 \text{ km/km}^2$ (BELTRAME, 1994).

O coeficiente de torrencialidade permite prever a propensão natural da bacia a eventos de cheias (DAMASCO; FURTADO; BENTO-GONÇALVES, 2014). Os resultados dos coeficientes de torrencialidade apresentam valores baixos nas sub-bacias da RPGA do Leste. De acordo com Rodrigues e Adami (2005), a utilização de dados de Dd e Ct de forma conjunta auxilia na identificação de áreas que tenham aptidão para implantar projetos com infraestrutura viária. Esse indicador subsidia a análise de aspectos relacionados à morfogênese e à morfodinâmica.

Correlacionando a precipitação média anual das bacias Cachoeira, Una e Almada ao índice de torrencialidade, nota-se que há precipitação significativa nessas bacias hidrográficas, com valores acima de 1.000 mm anuais (SCHIAVETTI *et al.*, 2005; BAHIA, 1999). Assim, há resultados baixos para o índice de torrencialidade e alto para o índice pluviométrico. Portanto, em uma avaliação da probabilidade de picos de enchentes, devem ser considerados indicadores como Dd, fator topográfico e características do solo (PEREIRA *et al.*, 2015).

Apesar de as bacias apresentarem um sistema de ramificação considerado significativo de acordo com a Classificação de Strahler (1953), há pouca eficiência no sistema de drenagem demonstrado pelo resultado baixo da Dd. Alguns autores, como Singh, Krishna e Singh (2013) encontraram resultado similar para Dd.

Em relação ao fator topográfico, foram obtidos valores muito baixos. Dessa forma, as sub-bacias da RPGA do Leste apresentam baixa probabilidade de cheias. Esse resultado é similar ao encontrado por Pereira *et al.* (2015). Considerando que os resultados para todas as sub-bacias da RPGA do Leste tiveram resultados de Ir menores que 300, elas apresentam menos suscetibilidade a eventos como cheias e deslizamentos (SLAYMAKER, 2010).

As sub-bacias do rio Una têm declividade média entre 18 a 26%, portanto, enquadra-se como relevo ondulado. A sub-bacia denominada Sbc1 foi enquadrada na classe de relevo fortemente ondulado. Por outro lado, a Sbc2 apresenta relevo ondulado. Por fim, as sub-bacias do rio Almada dispõem de declividade entre 22 a 36,5%, com relevo fortemente ondulado (EMBRAPA, 2013).

Foi possível notar que há predomínio de relevo ondulado e forte ondulado nas sub-bacias da RPGA do Leste. Os resultados de declividade foram semelhantes ao encontrado por Lorenzon *et al.* (2015). Esses autores afirmam que a

declividade acentuada foi um dos principais fatores que contribuiu com picos de cheias na Bacia do Rio Benevente. Isso sugere que a declividade íngreme identificada nas três bacias analisadas pode ser um fator agravante em relação às inundações.

A precipitação em bacias com declividade mais íngreme concentra-se ligeiramente nos cursos dos rios, propiciando o aumento da probabilidade de picos de cheias (CARDOSO *et al.*, 2006). Além disso, a inclinação acentuada pode interferir no deflúvio superficial, reduzindo a infiltração da água precipitada e acelerando a erosão do solo (VALLADARES *et al.*, 2012).

Os índices morfométricos analisados neste estudo constataram uma probabilidade baixa de inundação em situações normais de precipitação. A baixa propensão a enchentes em condições normais de deflúvio foi encontrada também para a sub-bacia Perdizes e Fojo em Campos do Jordão (SP) (SANTOS *et al.*, 2012) e na sub-bacia do córrego Santa Maria (RS) (CARVALHO; CASTRO; PENA, 2014). Contudo, a inexistência ou a ineficiência do planejamento em relação ao uso do solo e a falta de adoção de técnicas de conservação associados com a declividade acentuada elevam o impacto sobre as características físicas das bacias, aumentando a potencialidade de prováveis enchentes (FRANCO; DAL SANTO, 2015).

A Tabela 5 apresenta os resultados de IMUS por sub-bacia, bem como de cada indicador que o compõe. As sub-bacias do rio Una tiveram os resultados para o Ic_{ad} mais adequados, pois apresentaram valores mais próximos a 1, indicando que há menor probabilidade de ocorrência de cheias, portanto são enquadradas como Ic_{ad} bons, pois os valores estão acima de 0,7 (SILVA *et al.*, 2016).

Todas as sub-bacias localizadas na RPGA do Leste tiveram valores de fator de forma adaptado (Kf_{ad}) igual a 1, indicando que possuem tendência à conservação e não têm suscetibilidade a grandes cheias. Todas as sub-bacias tiveram resultados iguais a zero para o indicador densidade de drenagem adaptado, indicando uma situação indesejável em relação à capacidade de deflúvio, apresentando menor capacidade de remoção de sedimentos (Tabela 5). O indicador Dd_{ad} contribuiu negativamente para esse resultado do IMUS (SILVA *et al.*, 2016).

Tabela 5 - Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS) e respectiva classificação das sub-bacias localizadas na RPGA do Leste (BA) e valores médios por bacia (Almada, Cachoeira e Una)

Bacia	Ic	Icad	Kc	Kcad	Kf	Kfad	Dd	Ddad	ICRad	IMUS	Classificação IMUS
Sba1	0,33	0,67	2,18	1,00	0,38	1,00	0,06	0	0,87	0,50	ruim
Sba2	0,43	0,57	1,67	1,00	0,20	1,00	0,10	0	0,77	0,50	ruim
Média										0,50	ruim
Sbc1	0,28	0,72	19,76	1,00	0,46	1,00	0,38	0	0,90	0,50	ruim
Sbc2	0,30	0,70	1,92	1,00	0,18	1,00	0,10	0	0,89	0,50	ruim
Média										0,59	regular
Sbu2	0,14	0,86	1,67	1,00	0,26	1,00	0,03	0	0,88	0,60	regular
Sbu3	0,22	0,78	1,78	1,00	0,29	1,00	0,02	0	1,00	0,76	bom
Média										0,65	regular

Nota: Ic (índice de circularidade); ICad (índice de circularidade adaptado); Kc (coeficiente de compacidade); Kcad (coeficiente de compacidade adaptado); Kf (fator de forma); Kfad (fator de forma adaptado); Dd (densidade de drenagem); Ddad (densidade de drenagem adaptado); ICRad (índice de coeficiente de rugosidade adaptado) e IMUS (Índice de análise morfométrica e aptidão de uso do solo e cobertura vegetal)

24

Os resultados obtidos para o indicador ICR_{ad} demonstram que as sub-bacias tiveram valores próximos ou maiores que 0,8, indicando que uma parte significativa dessas sub-bacias estão com o seu uso e ocupação do solo adequados a sua aptidão natural (SILVA et al., 2016).

Há uma predominância da atividade cabruca nas bacias Almada e Una, abrangendo 83,24% e 57,34% das suas áreas, respectivamente, sendo desenvolvida nos Argissolos, Latossolos e Espodossolos na primeira bacia e nos Argissolos e Latossolos na BHU (Tabela 6). A Cabruca consiste em um sistema agroflorestal (SAF) existente na região do Sul da Bahia em que a vegetação nativa é conservada a fim de promover sombreamento para o crescimento adequado e a manutenção dos cacauais (*Theobroma cacao*).

Tabela 6 - Tipos de uso e ocupação do solo das bacias Cachoeira, Almada e Una associados às classes de solo predominantes em cada área

Uso e ocupação do solo	Cachoeira		Almada		Una	
	Solos	%	Solos	%	Solos	%
Agropecuária	Argissolos Chernossolos	70,74	Argissolos Chernossolos	9,35	Argissolos Latosolos Espodossolos Neossolos	21,87
Cabruca	Argissolos Latosolos Chernossolos	21,11	Argissolos Latosolos Espodossolos	83,24	Argissolos Latosolos	57,34
Rem. Florestal	Argissolos Latosolos Chernossolos	7,61	Latosolos	5,98	Argissolos Latosolos	20,00
Área Urbana	Argissolos Chernossolos	0,48	Argissolos	0,22	Latosolos	0,17
Área Alagada	Espodossolos	0	Espodossolos	0,47	Espodossolos	0,29
Restinga	-	0	Espodossolos	0,74	Neossolos	0,15

Os Argissolos e Latossolos estão associados à atividade agrícola cabruca nas Bacias Almada e Una. Considerando a suscetibilidades desses solos, há necessidade de adoção de práticas de conservação do solo a fim de minimizar processos erosivos nessas bacias (CALIL *et al.*, 2012). Os espodossolos também estão ocupados pelo sistema cabruca na Bacia Almada. Esse tipo de solo é limitado para uso agrícola, uma vez que possui um horizonte A com textura arenosa (IAC, 2017).

Na Bacia Cachoeira, a agropecuária ocupa 70,37% da área total, sendo manejado em solos Argissolos e Chernossolos. Os Latossolos e Argissolos apresentam suscetibilidade a processos erosivos entre baixa e moderada (CALIL *et al.*, 2012). Por possuírem características como lençol freático com pouca profundidade e fertilidade reduzida, os espodossolos não são recomendados para uso agrícola (IAC, 2017). Os locais com Chernossolos são indicados para preservação ambiental devido a sua ocorrência em locais íngremes, bem como atuação de processos erosivos e ocorrência de fragmentos de rochas no solo (EMBRAPA, 2017).

A agropecuária é predominante na classe chernossolos. Com isso, nota-se que a bacia do rio Cachoeira está exposta a um alto risco de degradação ambiental, considerando que essa classe de solo é suscetível à erosão. A agropecuária intensifica os processos erosivos devido ao desmatamento das áreas, bem como o encrustamento superficial, uma vez que os solos são compactados devido ao pisoteio de animais. Esses aspectos, associados, alteram o ciclo hidrológico, aumentando o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e, conseqüentemente, causam o assoreamento dos rios (LIMA *et al.*, 2013).

A área da cobertura florestal total é considerada um indicador de estado, pois desempenha várias funções essenciais, como manutenção da qualidade de água e da conservação do solo em uma bacia hidrográfica, bem como redução dos processos erosivos. (SKORUPA; SAITO; NEVES, 2003; CARDOSO *et al.*, 2012). Portanto, a bacia Una apresenta melhor resultado para esse indicador em comparação com as outras bacias avaliadas, considerando que há 20,15% na sua área (Tabela 6).

Os indicadores que mais interferiram de forma negativa no resultado de IMUS, tanto na escala de bacia quanto na escala de sub-bacia, foram Dd_{ad} e Ic_{ad} para as sub-bacias do rio Cachoeira e, principalmente, no caso da Bacia Almada. Nota-se que os resultados do índice de Kf_{ad} para todas as sub-bacias avaliadas apresentam baixa propensão a enchentes e suscetibilidade reduzida a processos erosivos. Porém, os valores de Dd_{ad} para todas as sub-bacias tiveram resultados indesejáveis, enquanto os valores obtidos para o indicador Ic_{ad} tiveram resultados piores para a BH Cachoeira e, principalmente, para a bacia Almada.

As bacias do rio Una apresentaram melhores resultados em relação ao Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura Vegetal (IMUS), com classificação de regular a bom, enquanto as sub-bacias do rio Almada e Cachoeira foram enquadradas na classe ruim. Considerando os valores médios do IMUS por bacia, foram obtidos valores de 0,50, 0,59 e 0,65 para as bacias hidrográficas Almada, Cachoeira e Una, respectivamente, com classificação ruim, regular e regular, respectivamente.

A matriz de correlação gerada a partir dos dados morfométricos de cada sub-bacia para o (Cenário 1) está apresentada na Tabela 7. A importância proporcional das variáveis morfométricas para a priorização das sub-bacias obtida para o Cenário 1 está apresentada na Equação 8, a seguir. Em que: P= priorização; Fr= x frequência do rio; Td= textura de drenagem; Ra= razão de alongamento; Kc= coeficiente de compacidade; Rb= razão de bifurcação; Ic= x índice de circularidade; Kf=fator de forma; Dd= densidade de drenagem.

$$P = (0,14xFr) - (0,16xTd) - (0,02xRa) + (0,13xKc) + (0,10xRb) + (0,57xIc) - (0,16xKf) + (0,40 xDd) \quad (\text{Eq. 8})$$

Tabela 7 - Matriz de correlação gerada a partir das variáveis do método original para hierarquização das sub-bacias da RPGA do Leste (BA)

	Fr	Td	Ra	Kc	Rb	Ic	Kf	Dd
Fr	0,000	0,209	-0,450	0,176	-0,300	0,167	0,167	0,304
Td	0,209	0,000	0,410	-0,454	-0,485	0,142	0,142	-0,292
Ra	-0,450	0,410	0,000	-0,770*	0,033	0,517	-0,583	0,025
Kc	0,176	-0,454	-0,770*	0,000	0,452	-0,151	0,695*	0,242
Rb	-0,300	-0,485	0,033	0,452	0,000	0,267	0,233	0,734*
Ic	0,167	0,142	0,517	-0,151	0,267	0,000	-0,300	0,506
Kf	0,167	0,142	-0,583	0,695*	0,233	-0,300	0,000	0,025
Dd	0,304	-0,292	0,025	0,242	0,734*	0,506	0,025	0,000
Σ	0,272	-0,328	-0,048	0,265	0,200	1,148	-0,316	0,810
Total	2,003	2,003	2,003	2,003	2,003	2,003	2,003	2,003

Legenda: * A correlação é significativa no nível 5% (2 extremidades); Fr= frequência do rio; Td=textura de drenagem; Ra= razão de alongamento; Kc= coeficiente de compacidade; Rb=razão de bifurcação; Ic= índice de circularidade; Kf= fator de forma; Dd= densidade de drenagem.

A priorização das bacias em termos de potencial de degradação do solo e dos recursos hídricos está apresentada na Tabela 8 para o Cenário 1. As sub-bacias analisadas apresentaram prioridade muito alta a alta, com valores variando entre 0,656 e 5,103. A sub-bacia Sbu2 obteve o menor valor, sugerindo que são mais propensas a processos erosivos, necessitando, portanto, ser prioritária a adoção de medidas de conservação do solo e dos recursos hídricos (SOARES *et al.*, 2016). A outra sub-bacia do rio Una (Sbu3) também obteve ordem de priorização segunda. Isso significa que as bacias do rio Una estão mais propensas a processos erosivos, devendo ser priorizadas nas ações de conservação relacionadas a estes recursos (SOARES *et al.*, 2016).

Tabela 8 - Priorização das sub-bacias da RPGA do Leste (BA) considerando as variáveis do método original

Sub-bacia	Constante	Tipo de prioridade	Ordem de priorização
Sba1	1,980	Muito alta	quarta
Sba2	1,280	Muito alta	terceira
Sbc1	5,103	Alto	sexta
Sbc2	5,099	Alto	quinta
Sbu2	0,656	Muito alta	primeira
Sbu3	1,073	Muito alta	segunda

Por outro lado, as sub-bacias do rio Cachoeira tiveram maiores valores nos resultados, com hierarquização quinta e sexta para Sbc1 e Sbc2, respectivamente. Autores como Soares *et al.* (2016) e Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014) encontraram resultados variando de -2,806 a 15,581 e -3,107 a 12,000.

As sub-bacias da RPGA do Leste apresentam um nível alto de propensão a processos erosivos, uma vez que apresentaram resultados variando entre alto e muito alto de prioridade. Constatou-se a necessidade de adoção de medidas urgentes de conservação ambiental, sobretudo nos recursos hídricos e de solos. De acordo com Aher, Adinarayana e Gorantiwar (2014), o uso de parâmetros morfométricos em trabalhos de planejamento de sub-bacias contribui com o estabelecimento de medidas de recuperação ambiental.

Para os resultados que tiveram maior grau de priorização para as sub-bacias localizadas às jusantes, devem ser consideradas também de forma prioritária as medidas de conservação à montante da bacia, a fim de conservar os recursos hídricos e de solo, conforme recomendado pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2005).

Para o Cenário 2, foram consideradas as variáveis do método original (AHER; ADINARAYANA; GORANTIWAR, 2014), porém houve o acréscimo dos dados de cobertura vegetal por sub-bacia (Tabela 9).

Tabela 9 - Matriz de correlação gerada a partir das variáveis do método original e dos dados de cobertura vegetal das sub-bacias para hierarquização das sub-bacias da RPGA do Leste (BA)

	Fr	Td	Ra	Kc	Rb	Ic	Kf	Dd	FLO
Fr	0,000	0,209	-0,450	0,176	-0,300	0,167	0,167	0,304	-0,117
Td	0,209	0,000	0,410	-0,454	-0,485	0,142	0,142	-0,292	0,603
Ra	-0,450	0,410	0,000	-0,770*	0,033	0,517	-0,583	0,025	0,083
Kc	0,176	-0,454	-0,770*	0,000	0,452	-0,151	0,695*	0,242	-0,075
Rb	-0,300	-0,485	0,033	0,452	0,000	0,267	0,233	0,734*	-0,600
Ic	0,167	0,142	0,517	-0,151	0,267	0,000	-0,300	0,506	-0,067
Kf	0,167	0,142	-0,583	0,695*	0,233	-0,300	0,000	0,025	0,233
Dd	0,304	-0,292	0,025	0,242	0,734*	0,506	0,025	0,000	-0,785*
FLO	-0,117	0,603	0,083	-0,075	-0,600	-0,067	0,233	-0,785*	0,000
Σ	0,155	0,275	0,035	0,189	-0,400	1,081	-0,082	0,810	0,061
Total	2,124	2,124	2,124	2,124	2,124	2,124	2,124	2,124	2,124

Legenda: * A correlação é significativa no nível 5% (2 extremidades); Fr= frequência do rio; Td=textura de drenagem; Ra= razão de alongamento; Kc= coeficiente de compacidade; Rb=razão de bifurcação; Ic= índice de circularidade; Kf= fator de forma; Dd= densidade de drenagem; FLO=cobertura florestal.

A importância proporcional das variáveis morfométricas para a priorização das nove sub-bacias foi obtida por meio do método Weighted Sum Analysis (WSA) para o Cenário 2 (Eq. 9). Em que: P= priorização; Fr= x frequência do rio; Td= textura de drenagem; Ra= razão de alongamento; Kc= coeficiente de compacidade; Rb= razão de bifurcação; Ic= x índice de circularidade; Kf= fator de forma; Dd= densidade de drenagem; FLO= cobertura florestal.

$$P = (0,07xFr) + (0,13xTd) + (0,02xRa) + (0,09xKc) - (0,19xRb) + (0,51xIc) - (0,04xKf) + (0,38 xDd) + (0,03xFL0) \quad (\text{Eq. 9})$$

A Tabela 10 apresenta a priorização das sub-bacias do RPGA do Leste para o Cenário 2. Houve o aumento do nível de prioridade em relação aos resultados obtidos no Cenário 1. Todas as sub-bacias avaliadas foram enquadradas com prioridade muito alta, com valores na faixa de -8,15 a 1,41. Isso indica que a inserção do indicador cobertura florestal aumentou o grau de prioridade, ou seja, a quantidade baixa de vegetação na bacia pode intensificar a sua suscetibilidade a processos erosivos. Esse resultado pode ser justificado pela pouca existência de remanescentes florestais nas três bacias, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 10 - Priorização das sub-bacias da RPGA do Leste (BA) considerando as variáveis do método original e os dados de cobertura vegetal (Cenário 2)

Sub-bacia	Constante	Tipo de prioridade	Ordem de priorização
Sba1	0,08	Muito alta	terceiro
Sba2	0,74	Muito alta	quarto
Sbc1	-1,19	Muito alta	segundo
Sbc2	-8,15	Muito alta	primeiro
Sbu2	1,41	Muito alta	sexto
Sbu3	1,03	Muito alta	quinto

A hierarquização foi alterada com a inserção dos dados de cobertura vegetal. As sub-bacias do rio Cachoeira para o cenário 2 tiveram maior grau de prioridade, uma vez que a bacia Cachoeira possui menor quantidade de remanescentes florestais (7,61%) e cabruca (21,11%) em comparação às outras duas bacias (Tabela 6). Isso sugere que, em relação aos parâmetros morfométricos analisados, as sub-bacias do rio Cachoeira têm condição mais adequada. Porém, em relação à existência de cobertura florestal, há um quadro crítico de depreciação dessa bacia hidrográfica. Nesse sentido, há a necessidade de priorizar essas bacias em termos de implantação de medidas de conservação do solo e dos recursos hídricos, sobretudo de recuperação e manutenção da vegetação nativa na escala de bacia e ripária.

O uso da variável cobertura vegetal nos estudos de priorização de bacias hidrográficas é muito importante, considerando que a remoção de remanescentes florestais influencia o ciclo hidrológico, além das características do solo. Conseqüentemente, também causam alteração nas variáveis de qualidade de

água. Nesse sentido, pode comprometer a sustentabilidade das bacias (BALBI-NOT *et al.*, 2008).

4 CONCLUSÃO

Os indicadores morfométricos, tais como fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compacidade, coeficiente de torrencialidade e densidade de drenagem, demonstraram que o risco de picos de enchentes é baixo para as sub-bacias da RPGA do Leste. Contudo, o uso do solo sem planejamento adequado e sem adoção das técnicas de conservação associadas à declividade elevada pode aumentar a vulnerabilidade das características físicas das bacias e, com isso, potencializa a probabilidade de cheias.

As sub-bacias do rio Una apresentaram melhores resultados para o Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso do Solo e Cobertura, com classificação variando entre regular a boa e classificação regular para os valores médios da BH Una. As sub-bacias do rio Almada, bem como o resultado médio para a referida bacia, apresentaram enquadramento na classe ruim. As sub-bacias do rio Cachoeira tiveram classificação entre ruim e boa e classe média regular.

Todas as sub-bacias da RPGA do Leste apresentaram prioridade alta a muito alta de conservação dos recursos hídricos para a o Cenário 1. Por outro lado, para o Cenário 2, todas as sub-bacias avaliadas foram enquadradas com prioridade muito alta. Dessa forma, com a inserção da variável cobertura florestal, houve agravamento do potencial erosivo das bacias devido à quantidade baixa de remanescente florestal. Além disso, houve modificação na hierarquização em que as sub-bacias do rio Cachoeira foram consideradas mais prioritárias, uma vez que essa bacia hidrográfica dispõe de menor quantidade de remanescentes florestais e cabruca em comparação às outras bacias.

REFERÊNCIAS

- ABUD, E. A.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; AMARAL, E. F.; BARDALES, N. G.; FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização morfométrica das sub-bacias no município de Xapuri: subsídios à gestão territorial na Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 431-441, 2015.
- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- ARAÚJO, R. S.; ALVES, M. G.; MELO, T. C.; CHRISPIM, Z. M. P.; MENDES, P.; SILVA JÚNIOR, G. C. Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. *Science of the Total Environment*, v. 511, p. 815–828, 2015.
- BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Mapas digitalizados do Estado da Bahia**: base de dados. Salvador: SEI, 2004. CD-ROM.
- BAHIA. Superintendência de Estudos Sociais e Econômicos. **Balanco hídrico do estado da Bahia**. Salvador: SEI, 1999.
- BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- BARROS, A. C.; TAGLIARINI, F. S. N.; PENACHIO, S. M. Morphometric analysis of the watershed of Água Amarela Stream, Itaberá-SP for environmental management. **Fórum ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 1, p. 60-72, 2017.
- BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recuperação e proteção de nascentes e áreas que margeiam os corpos d'água**. 2005. Disponível em: https://www.mma.gov.br/es-estruturas/fnma/_arquivos/ed0205.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.
- CALIL, P. M.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 433-442, 2012.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Revista Árvore, Nova Friburgo, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 632-638, 2012.

CARVALHO, A. H. O.; CASTRO, F. S.; PENA, F. E. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego Santa Maria. **Nucleus**, Ibatiba. v. 11, n. 2, p. 317-324, 2014.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v.5,n.2, 2009, p. 04.

CHAVEZ, P. S.; SIDES, S. C.; ANDERSON, J. A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 57, n. 3, p. 295-303, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CLARK, R.N.; SWAYZE, G.A.; WISE, R.; LIVO, K.E.; HOEFEN, T.M.; Kokaly, R.F.; SUTLEY, S.J. USGS Digital Spectral Library. 2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 21 nov. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Base Cartográfica do Estado da Bahia - Escala 1:100.000. Blocos C e D. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas**. Belo Horizonte, 2010.

DAMASCO, F. S.; FURTADO, F. T.; BENTO-GONÇALVES, A. J. Risco de inundação em áreas rurais: bacia do rio Luís Alves (SC). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 18, n. 1, 2014.

DEMATTE, J. A. M. et al. Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 288, p. 8–22, 2017.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Chernossolos. 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xhp02wx5ok0liq1mqw9406pc.html>. Acesso em 22 nov.2020

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 2013.

FRANCO, A. C. V.; DAL SANTO, M. A. Contribution of morphometry to flood studies in the Luís Alves Basin/SC, Brazil. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of América Bulletin**, v. 56, 1945. p. 807 – 813.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **CBH Leste**. 2016. Disponível em: < <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-les-te/>>. Acesso em 12 nov. 2016.

INPE. Projeto Topodata. Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 07 ago. 2017.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Espodossolos**. 2017. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Espodossolos.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2017.

INEMA – INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **CBH Leste**. 2016. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-leste/>. Acesso em: 12 nov. 2016.

JI, X.; DAHLGREN, R.A.; ZHANG, M. Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems. **Environmental monitoring and assessment**, n.188, v.15, p. 1-16, 2016.

Köppen, W. Das geographischa System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, G. Handbuch der Klimatologie. C. Gebr, Borntraeger, Berlin, 1936. p. 1–44. Disponível em: . Acesso em: 15 mai. 2013.

KUSRE, B. C. Morphometric Analysis of Diyung Watershed in Northeast India using GIS Technique for Flood Managemen. **Journal Geological Society of India**, v. 87, p. 361-369, 2016.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

LORENZON, A. S.; DE SOUZA FRAGA, M.; MOREIRA, A. R.; ULIANA, E. M.; DA SILVA, D. D.; BORGES, A. C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. *Revista Ambiente & Água*, v.10, n.1, 195-205, 2015

LOURENÇO, R.W.; LANDIM, P.M.B. Estudo da variabilidade do índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI utilizando krigagem indicativa. *Holos Environment*, v. 4, n.1, p.38-55, 2004

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Ed. Universidade UFLA. 2013, 455

MESA, L. M. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). **Environmental Geology**, v. 50, p. 1235–1242, 2006.

OLIVEIRA, E.D.; OLIVEIRA, E.D.; CRESTANI, A.; ALMEIDA, N. A. Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do Córrego Jandaia, Jandaia do Sul/PR. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v.5, n.10, jul./dez. de 2011. pp.169-183.

OLSZEWSKI, Nelci et al. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. *Revista Árvore*, v.35, n.3, p.485-492, 2011..

PANDE, C. B.; MOHARIR, K. GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 2, p. 861-871, 2017.

PEREIRA, B. W. de F.; MACIEL, M. de N. M.; OLIVEIRA, F. de A. de.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Geotecnologias com apoio de índices morfométricos para a caracterização da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste paranaense. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 1351-1372, 2015.

PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J. A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do rio Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 669-676, 2010.

ROCHA, J.S.M. da.; SILVA, Kurtz, S.M. de **J.M.. Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**, 4ª ed. Santa Maria: UFSM CCR/UFSM, 2001, 120 p.

Rodrigues, C.; Adami, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: Venturi, L. A. B. (org.) *Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. P. 147- 166

Rodrigues, R.S.S.; Fernandes, L.L.; Crispim, D.L.; Vieira, A.S.A.; Pessoa, F.C.L., Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 11, n.3, p.143-150, 2016

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACED, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 31, p. 931-940, 2007.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 627-642, 2016.

SILVA, K. B. **Caracterização das bacias dos rios Colônia, Salgado e Cachoeira e suas contribuições para estudos de confluências**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio ambiente), Universidade Estadual Santa Cruz, 2016.

SILVA, K. B.; GOMES, R. L.; REGO, N. A. C. Social and environmental hydrographics implications of the land use in the plain and coastal boards between Ilhéus and Olivença – BA. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 5, p. 13-26, 2015.

SINGH, P.; KRISHNA, J.; SINGH, U. C. Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, n.7, p. 1967-1977, 2013.

SINGH, P. S.; THAKUR, J. K.; SINGH, U. C. Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, v.68, n.1, p.1967-1977, 2013.

SKORUPA, L. A.; SAITO, M. L.; NEVES, M. C. Indicadores de Sustentabilidade Agroecossistemas. *In: Indicadores de cobertura florestal*. Embrapa Meio Ambiente. 2003. p.157-178.

SLAYMAKER, O. Mountain hazards. *In: Alcántara-Ayala, I.; Goudie, A.S. (Eds.) Geomorphological hazards and disaster prevention*. Cambridge University Press,, p. 33-49, 2010.

SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, v.248, n. 9, p.655-68, 1950.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. Análise Morfométrica e Priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100, 2016.

STIPP, N.A.F.; CAMPOS, R.A.; CAVIGLIONE, J.H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. *Portal da Cartografia, Londrina* v. 3 n. 1, 2010. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia>

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. *Geological Society of America Bulletin*, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. 1953. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p. 1117-1142, 1953

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *In: CHOW, V. T. (Ed.) Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw Hill Book Company, 1964. p. 439-476.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. D. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012.

O sul da Bahia tem ...



... ambiente gracioso que possibilita voar como um pássaro em integração com diversos meios, e



que possibilita ver o quão exuberante é a Mata Atlântica, quando se pode apreciar as copas por cima em um voo sobre a mata e o mar.

André Elvas

ESTUDO DA HETEROGENEIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATOLÉ GRANDE

NATÁLIA ANDRADE SILVÃO
FLAVIA MARIANI BARROS
DANILO PAULUCIO DA SILVA
FELIZARDO ADENILSON ROCHA
DANILO JUNQUEIRA LEÃO

RESUMO

O presente estudo teve como objetivos avaliar a variação espaço-temporal de variáveis limnológicas, quantificar e classificar o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) em diferentes trechos do rio Catolé Grande. Foram realizadas coletas em três pontos ao longo do rio Catolé, nos quais foram avaliadas sete variáveis limnológicas: turbidez, pH, condutividade elétrica, sólidos totais, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e temperatura. O IQA foi calculado conforme metodologia expressa pela CETESB. A classificação do estado trófico do rio Catolé foi realizada para três diferentes pontos de coleta, sendo baseada no valor da variável fósforo total. As variáveis limnológicas oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, condutividade elétrica e sólidos totais apresentaram significativa variação espacial e sazonal na bacia hidrográfica no rio Catolé Grande. A turbidez e a temperatura apresentaram variação sazonal e o contrário ocorreu com o IQA, ou seja, não apresentou variação sazonal, recebendo classificação ótima. Os valores de IET, em períodos de menor e maior vazão, não apresentaram variação espacial e sazonal, recebendo classificação supereutrófica, porém, em períodos de vazão intermediária, ocorreu apenas variação espacial entre os três pontos, passando de estado eutrófico (P1), supereutrófico (P2) e hipereutrófico (P3).

Palavras-chave: poluição hídrica, índice de estado trófico, sazonalidade.



ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the seasonal and spatial variability of limnological variables, to quantify and to classify the Water Quality Index (IQA, in Brazilian acronym) and the Trophic State Index (EIT) in different sections of the Catolé Grande River. Collections were made at three points along the Catolé River, where seven limnological variables were evaluated: turbidity, pH, electrical conductivity, total solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and temperature. The IQA was calculated according to methodology established by CETESB. The classification of the trophic state at Catolé River was performed for three different collection points, based on the value of the total phosphorus variable. The limnological variables dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, electrical conductivity, and total solids presented significant spatial and seasonal variation in water quality in the Catolé Grande River's catchment area. Turbidity and temperature showed seasonal variation and the opposite occurred with the IQA, that is, it did not present seasonal variation receiving an very good classification. The values of IET in periods of lower and higher flow did not show spatial and seasonal variation, receiving supereutrophic classification, however, in periods of intermediate flow, there was only spatial variation between the three points, passing from eutrophic (P1), supereutrophic (P2) and hypereutrophic (P3).

Keywords: water pollution, trophic state index, seasonality.

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos possui, como um de seus instrumentos, o enquadramento de corpos d'água segundo seus usos preponderantes (BRASIL, 1997). O enquadramento consiste no estabelecimento do nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um corpo d'água ou trecho do mesmo ao longo do tempo. A *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005) distribui os corpos hídricos de água doce em classes de usos com níveis gradativos de qualidade associados.

A deterioração da qualidade da água pode ser causada tanto por resultado da pressão antrópica, em maior escala, quanto por fatores naturais, em menor escala (ALVES *et al.*, 2012). A urbanização tem como uma das suas principais consequências a produção de grandes volumes de efluentes domésticos que, quando lançados sem o devido tratamento, podem causar diversos prejuízos, tanto para a biota aquática quanto para a saúde humana (CORDEIRO *et al.*, 2016).

Diversos estudos sobre qualidade da água têm demonstrado que mudanças das variáveis limnológicas (tais como: pH, oxigênio dissolvido, DBO, turbidez, condutividade elétrica, fósforo, entre outras) são significativas ao longo dos períodos sazonais bem como espacialmente, dependendo da escala de monitoramento adotada (CUNHA *et al.*, 2013). Entretanto, o impacto sazonal sobre a hidrologia do corpo hídrico, além de depender das características físicas e do local de estudo na bacia, também depende das condições climáticas que influenciam diretamente nos regimes de chuva e vazões do curso de água (CUNHA; DODDS; CALIJURI, 2011).

Além do enquadramento, diversas regiões adotam índices de qualidade de água para acompanhamento da qualidade das águas que, apesar de agregarem diversas variáveis, traduzem de forma objetiva e simples o estado que um corpo hídrico se encontra, além de tornar esses dados mais acessível à comunidade. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) são índices bastante utilizados por promoverem ao público entendimento simples e objetivo da qualidade da água destinada ao abastecimento público.

O IQA incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas e dá relevância à poluição por esgoto doméstico, que é a principal fonte de poluição nas bacias hidrográficas. O IET avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (São Paulo, 2008). A presença de nutrientes na água é geralmen-

te associada à poluição proveniente de atividades domésticas e industriais (OLIVEIRA; NOGUEIRA; SARTORI, 2014).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é avaliar a variação sazonal e espacial de variáveis limnológicas e quantificar e classificar o Índice de Qualidade da Água e o Índice de Estado Trófico em diferentes trechos do rio Catolé Grande.

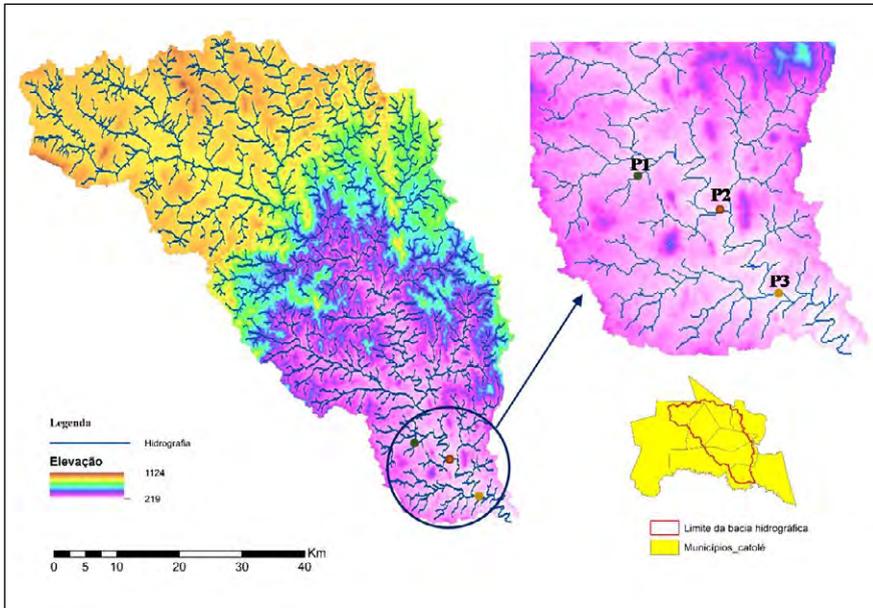
2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, pertencente à bacia hidrográfica do rio Pardo no estado da Bahia. Esta sub-bacia está contida entre os paralelos ($-14^{\circ}39'9''$ e $-15^{\circ}21'45''$) e entre os meridianos ($-40^{\circ}51'33''$ e $-40^{\circ}7'42''$). Possui uma área de 3.128 km², composta pelos municípios de Vitória da Conquista, Itambé, Barra do Choça, Planalto, Caatiba, Nova Canaã e Itapetinga.

Para a coleta de dados, foram selecionados três pontos distintos do rio Catolé Grande no município de Itapetinga, Bahia (Figura 1), sendo a localização das fontes de poluição pré-requisito para a escolha dos pontos de coleta. O ponto (P1) está localizado antes do perímetro urbano (Lat: $15^{\circ}14'6.14''S$ e Long: $40^{\circ}16'18.63''O$); o ponto (P2) está localizado logo após o perímetro urbano e compreende lançamentos de efluentes domésticos e agroindustriais (laticínios e frigoríficos) do município; e o ponto (P3) está situado após o perímetro urbano em uma propriedade na zona rural do município. Os pontos P2 e P3 distam aproximadamente do ponto P1, 16,9 km e 34,8 km, respectivamente.

As coletas foram realizadas em cinco períodos distintos, a saber: (i) 12 fev. 2016, (ii) 12 maio 2016, (iii) 02 jul. 2016, (iv) 24 set. 2016, (v) 29 nov. 2016. As amostras de água coletadas em cada ponto do rio foram do tipo simples, com três repetições, coletadas no centro do escoamento do rio, na profundidade de 15-30 cm, a fim de se evitar introdução de contaminantes superficiais, conforme metodologia expressa pela Agência Nacional das Águas – ANA (BRASIL, 2011). Antes da coleta, foi realizada a ambientação dos frascos.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande e pontos de amostragem



Após a coleta, as amostras de água foram acondicionadas em caixas de isopor e transportadas imediatamente ao Laboratório de solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), onde foram realizadas análises de turbidez, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, coliformes termotolerantes e nitrogênio. As análises de fósforo total foram realizadas no Laboratório de solos do Instituto Federal Baiano (IFBaiano) situado no município de Vitória da Conquista - BA.

As medições de temperatura da água foram efetuadas *in loco*, utilizando-se o termômetro digital, da marca Incoterm (precisão de 0,05 °C). A turbidez foi determinada em laboratório, pelo método nefelométrico, utilizando-se turbidímetro, da marca Digimed, modelo DM-TU – 0 a 1000 UNT (precisão 0,03 UNT).

O pH da água foi obtido pelo método eletrométrico, com peagâmetro da marca Digimed, modelo DM –22 (precisão 0,5%). A condutividade elétrica foi obtida por meio de condutímetro da marca Digimed, modelo DM – 32 (precisão 0,5%).

As concentrações de OD na água foram determinadas de acordo com o método Winkler modificado pela azida sódica descrito em Matos (2004). A determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi realizada pelo método descrito na NBR 12614/1992 (ABNT, 1992).

O nitrogênio total foi quantificado utilizando-se o método Bradford adaptado por Sperotto (2014). O fósforo total foi determinado pelo método fósforo-molíbico, após digestão nítrico-perclórico da amostra. Os sólidos totais foram obtidos pelo método gravimétrico. Os Coliformes totais foram qualificados e quantificados através da utilização de um substrato enzimático do sistema cromogênico Colilert® Quanti-Tray 2000 da IDEXX. As metodologias acima citadas são as descritas em Matos (2004).

Posteriormente, os resultados das variáveis foram comparados com os valores de referência para águas doces de classe 2, descritos na *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005), devido ao rio Catolé Grande ainda não ter passado pelo processo de enquadramento.

Para análise da variação temporal da qualidade da água, os valores de cada variável considerada foram analisados de acordo com a variação da vazão, obtidas nas cinco diferentes épocas do estudo, por meio de análise de correlação de Pearson. Para análise das variações espaciais da qualidade da água, foram comparados os valores das variáveis, em cada época, nos diferentes pontos de coleta, utilizando-se ANOVA e, posteriormente, o teste de Tukey, caso a ANOVA fosse significativa. A vazão foi obtida por meio dos dados disponíveis na Agência Nacional das Águas.

O índice de qualidade da água foi calculado apenas para o ponto P1, que está localizado à montante da sede do município, ou seja, local isento de lançamentos de efluentes domésticos e industriais.

A determinação dos valores das variáveis de qualidade (qi) de cada variável foi realizada de acordo com equações representativas das curvas de qualidade do National Sanitation Foundation (NSF), elaboradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo, 2008). Foram utilizadas as nove variáveis de qualidade que são consideradas relevantes para avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público.

Os valores de cada peso (w_i) correspondente a cada variável de qualidade foram obtidos de acordo com a classificação proposta pela São Paulo (2008). Os parâmetros considerados representativos são: oxigênio dissolvido ($w_i = 0,17$), coliformes termotolerantes ($w_i = 0,15$), pH ($w_i = 0,12$), demanda bioquímica de oxigênio ($w_i = 0,10$), nitrogênio total ($w_i = 0,10$), fósforo total ($w_i = 0,10$), temperatura da água ($w_i = 0,10$), turbidez ($w_i = 0,08$) e sólidos totais ($w_i = 0,08$). No caso do oxigênio dissolvido, foi determinada porcentagem de oxigênio dissolvido (PSO) em relação à concentração de saturação. Desta maneira, o IQA é

calculado a partir do produto ponderado das qualidades da água correspondentes aos parâmetros.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: IQA= Índice de qualidade das águas; q_i = sub índice ou qualidade do i -ésimo parâmetro, obtido da equação correspondente; w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro.

A classificação do índice de qualidade da água foi realizada segundo a São Paulo (2008), variando entre ótima e péssima.

Lima e Pinto (2011) afirmam que, dentre as variáveis estabelecidas para o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), o fósforo total é a mais importante, pois este nutriente é, na maioria das vezes, o fator limitante para a produção primária. Desta forma, o IET foi calculado com base na variável fósforo total (PT), conforme metodologia proposta por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos (Equação 2) e classificada, segundo o mesmo autor, variando de hipereutrófico a ultraoligotrófico, o que representa maior e menor grau de trofia, respectivamente.

$$IET_{PT} = 10 * \{6 - [(0,42 - 0,36(\ln PT))/\ln 2]\} - 20 \quad (\text{Eq. 2})$$

A partir dos resultados obtidos e quando o teste F foi significativo, utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para verificar diferença entre as médias das variáveis de água, em cada época, para os três diferentes pontos (P1, P2 e P3).

Os dados de precipitação correspondentes aos anos de 2009 a 2016 foram obtidos a partir da Estação Meteorológica Automática (A446) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados correspondentes aos anos de 1990 a 2008 foram obtidos por meio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Na Figura 2, é apresentada a lâmina acumulada mensal na cidade de Itapetinga-BA, correspondente ao período de estudo, e valores de lâmina precipitada até a data de cada coleta: 12 fev. 2016 – 12 maio 2016 – 02 jul. 2016 – 24 set. 2016 – 29 nov. 2016. Na Figura 3, está apresentada a série histórica de 25 anos de precipitação (referentes ao período de 1990 a 2015) que ocorreu no município de Itapetinga-BA.

Figura 2 - Lâmina acumulada mensal do município de Itapetinga – BA, correspondente ao ano de estudo, e valores de lâmina precipitada até a data da coleta: 12 fev. 2016 – 12 maio 2016 – 02 jul. 2016 – 24 set. 2016 – 29 nov. 2016

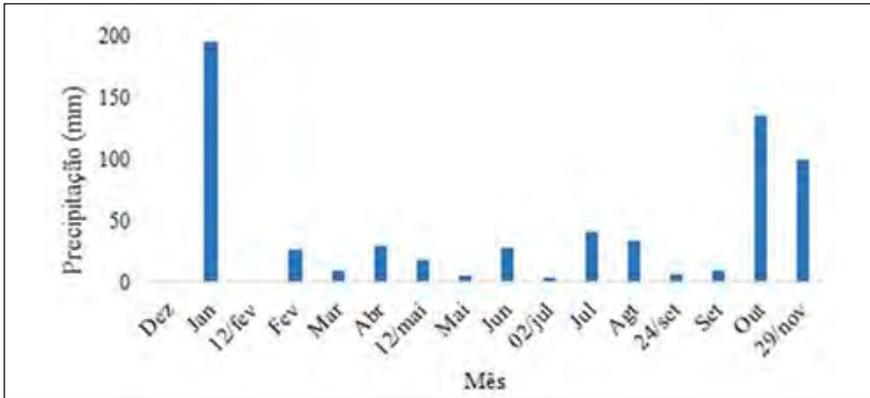
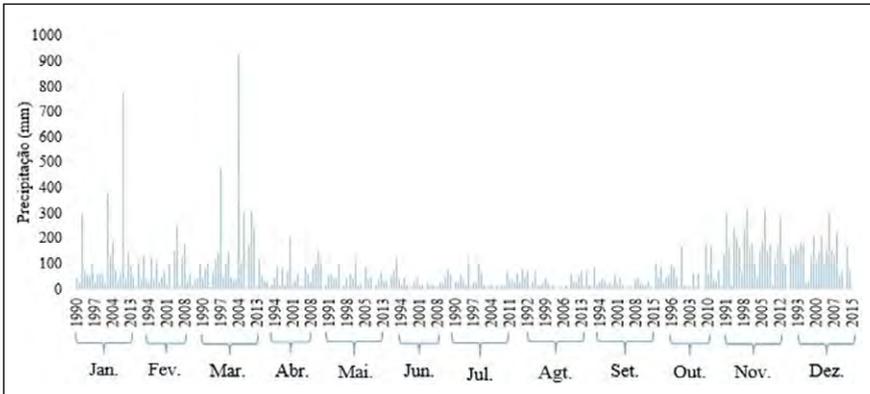


Figura 3 - Série histórica de 25 anos de precipitação (referentes ao período de 1990 a 2015) que ocorreu no município de Itapetinga-BA



RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIACÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Na Figura 4, estão apresentados os valores médios das sete variáveis limnológicas correspondentes aos três pontos de estudo (P1, P2 e P3), cujas coletas foram realizadas em cinco datas distintas, contemplando períodos chuvosos e secos (Figura 2). Os períodos mais chuvosos são característicos dos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. Estes dois últimos são marcados por

chuvas mais constantes (Figura 3). Foi possível observar que os meses de dezembro de 2015 e outubro de 2016 foram atípicos, sendo o primeiro marcado pela ausência de chuvas e o segundo pela presença de chuvas (Figura 2).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA –, em sua *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005), estabelece que águas doces, quando ainda não foram enquadradas, devem ser consideradas como de classe 2. Considerando que as águas do rio Catolé ainda não passaram pelo processo de enquadramento, a análise dos resultados terá como referência os padrões estabelecidos pela Resolução para águas de classe 2.

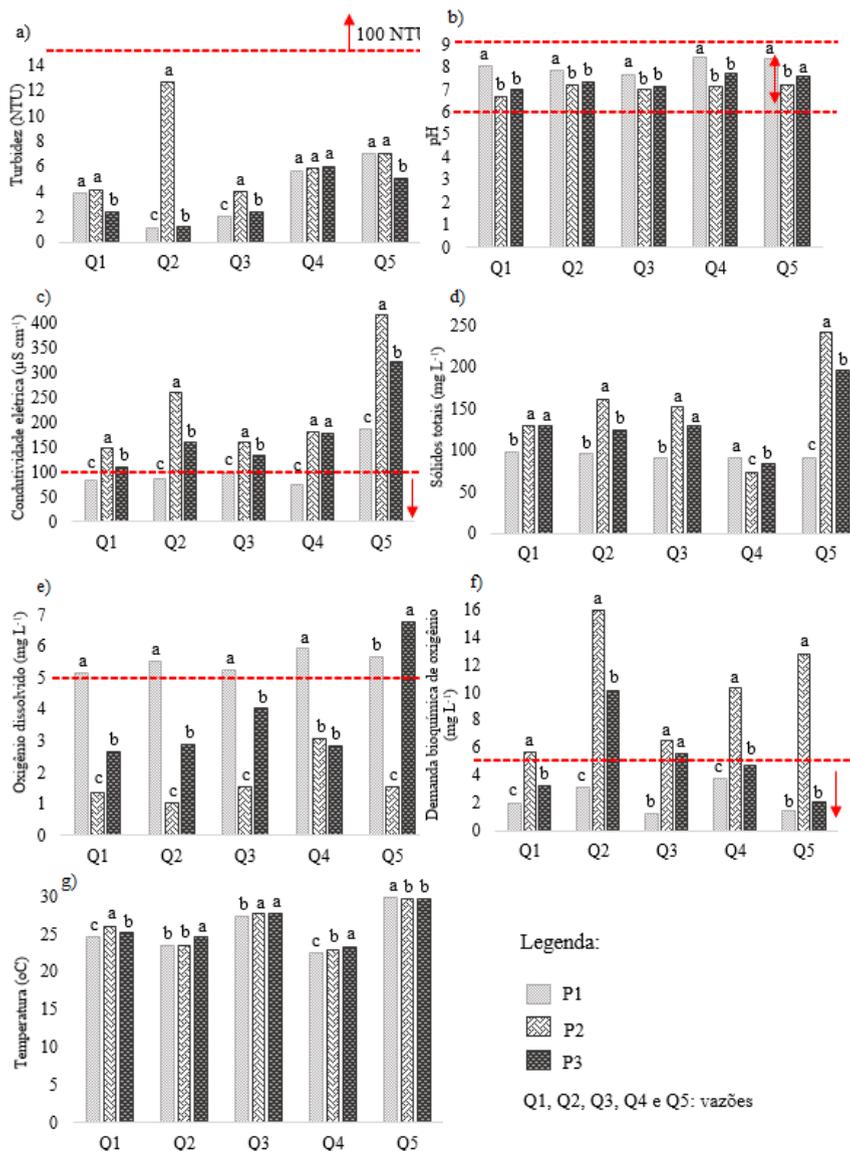
Sazonalmente, as variáveis limnológicas serão analisadas não somente pela ocorrência de precipitação, mas, também, pelas vazões de cada coleta. São, em ordem crescente: Q1=1,41 m³ s⁻¹ (12 maio 2016), Q2 = 2,18 m³ s⁻¹ (24 set. 2016), Q3 = 2,74 m³ s⁻¹ (29 nov. 2016), Q4 = 3,86 m³ s⁻¹ (02 jul. 2016) e Q5= 5,87 m³ s⁻¹ (12 fev. 2016).

Nas coletas referentes às vazões Q1 (1,41 m³ s⁻¹) e Q5 (5,87 m³ s⁻¹), os maiores valores de turbidez (Figura 4a) foram evidenciados nos pontos P1 e P2, que não tiveram diferença significativa entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Em Q4 (3,86 m³ s⁻¹), os três pontos de coleta (P1, P2 e P3) obtiveram valores de turbidez sem diferença significativa.

Em contrapartida, em relação às coletas referentes às vazões Q2 (2,18 m³ s⁻¹) e Q3 (2,74 m³ s⁻¹), todos os pontos em estudo obtiveram valores médios de turbidez estatisticamente diferentes, sendo o maior valor encontrado em P2. Entretanto, todos os valores estão dentro dos padrões que estabelecem valores máximos de 100 NTU para água doce de classe 2 (Figura 4a).

Os gráficos demonstram que, em relação à variação temporal, os valores de turbidez (Figura 4a) não apresentaram conformidade quanto à ocorrência de chuvas ou à inexistência desta. Nos períodos menos chuvosos, a água se encontra mais concentrada, portanto os valores de turbidez tendem a ser significativos, como foi observado no período de menor vazão Q1 (1,41 m³ s⁻¹). Em períodos com ocorrência de precipitações, o cenário seria de uma maior diluição do material particulado e, conseqüentemente, de menor turbidez. Os efeitos da chuva sobre o transporte de material do solo para os rios são amplificados pela diminuição dos mecanismos de retenção (baixa permeabilidade, compactidade do solo e desmatamento), aumentando a turbidez, como pode ser observado em Q4 (3,86 m³ s⁻¹) e Q5 (5,87 m³ s⁻¹). A coleta referente à vazão Q3 (2,74 m³ s⁻¹) foram antecedidas por chuvas (Figura 2), entretanto os valores de turbidez foram inferiores ao período de menor vazão Q1 (1,41 m³ s⁻¹). Em Q2 (2,18 m³ s⁻¹), foi observado maior valor de turbidez.

Figura 4 - Gráficos das variáveis limnológicas a) turbidez, b) pH, c) condutividade elétrica, d) sólidos totais, e) oxigênio dissolvido, f) demanda bioquímica de oxigênio e g) temperatura para as cinco diferentes vazões que estão dispostas em ordem crescente nos gráficos: Q1 (1,41 m³ s⁻¹), Q2 (2,18 m³ s⁻¹), Q3 (2,74 m³ s⁻¹), Q4 (3,86 m³ s⁻¹) e Q5 (5,87 m³ s⁻¹) nos três diferentes pontos de coleta (Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3)



Nota: Para cada variável limnológica, em uma mesma vazão, barras seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As linhas tracejadas vermelhas indicam os limites estabelecidos pela legislação.

Nas coletas referentes às vazões Q1 ($1,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Q4 ($3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Q2 ($2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e Q3 ($2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), os valores de pH não tiveram variação significativa pelo teste de Tukey a 5% probabilidade entre os pontos P2 e P3. Em todas as coletas, o maior valor de pH foi observado no ponto situado antes do perímetro urbano, P1. Ambientes alcalinos estão associados em geral à proliferação de macrófitas aquáticas, pois o aumento da fotossíntese acarreta um consumo de gás carbônico e, por conseguinte, a diminuição do ácido carbônico na água (VON SPERLING, 1996). Porém, este não foi o caso no presente estudo, visto que, no P1, não foi verificado macrófitas aquáticas em abundância.

Os padrões de classificação de água doce, estabelecidos pela *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005), estabelecem que os valores de pH para águas de classe 2 devem estar na faixa de 6,0 a 9,0. Portanto, todos os valores encontrados neste estudo estão dentro da faixa de normalidade (Figura 4b).

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) (Figura 4e) foi marcada por uma significativa variação espacial para as coletas correspondentes às vazões Q1 ($1,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Q2 ($2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), Q3 ($2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e Q5 ($5,87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A coleta Q4 ($3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) não apresentou variação espacial entre os pontos P2 e P3. A menor concentração de OD nos pontos P2 e P3, localizados após o perímetro urbano, é explicada pela oxidação da matéria orgânica (MO) advinda dos efluentes domésticos e agroindustriais do município de Itapetinga-BA, que gera consumo de OD. Em contrapartida, as maiores concentrações de OD foram observadas no ponto de coleta situado antes do perímetro urbano (P1), não sendo este ponto detentor dos efluentes do município.

Entretanto, foi possível observar que, no ponto P3, coleta Q5 ($5,87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), houve maior ocorrência de OD na água. A maior vazão pode ter ocasionado diluição de material orgânico e, conseqüente, neste caso, aumento da concentração de oxigênio dissolvido. O ponto de coleta P2, em decorrência da sua localização, apresentou menores valores de OD em todas as coletas realizadas.

Em relação à variação sazonal, foi observado que a concentração de OD foi maior em períodos de maior vazão. Assim, é possível que a maior velocidade das águas e, conseqüentemente, a maior turbulência ofereçam melhores condições de mistura, o que favorece a incorporação de oxigênio dissolvido na água, assim como descrito por Von Sperling (1996) e relatado por Pontes, Marques e Marques (2012). Estes últimos encontraram correlação direta entre os valores de OD e vazão, corroborando com os resultados do estudo.

A *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005) determina o limite mínimo de OD para águas de classe 2 de 5 mg/L . Nas cinco coletas, os valores para o

ponto P2 foi inferior aos limites estabelecidos pela resolução. Entretanto, ao analisar espacialmente os pontos, é possível afirmar que os valores de OD para o ponto P1 estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução nos três diferentes períodos analisados. Para o ponto P3, somente a coleta Q5 ($5,87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) apresentou valor em acordo com o padrão CONAMA.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Figura 4f) e OD possuem correlação inversa entre si, o que indica um consumo do OD no processo de degradação da MO e o aumento nos valores de DBO. Além disso, pode-se observar que a menor variação espacial da concentração de DBO na água ocorreu na coleta com menor valor de vazão (Q1 ($1,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)). Estudos realizados por Garcia e Tucci (2000) apontaram que, em condições de menores vazões, as variações de concentração de DBO são menores, corroborando com os resultados encontrados.

Em todas as coletas, o ponto P2 apresentou valores de DBO superiores (Figura 4 f); e o ponto P1, inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução, que define como limite máximo de 5 mg.L^{-1} para água doce de classe 2. O ponto P3 apresentou valores superiores e inferiores ao limite estabelecido pelo CONAMA.

Os valores de temperatura (Figura 4g) foram mais elevados nos períodos mais quentes do ano, correspondentes aos meses de fevereiro (Q5 ($5,87 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)) e novembro (Q2 ($2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)), demonstrando marca da sazonalidade.

48

3.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Na Tabela 1, estão apresentados os valores de IQA e suas respectivas classificações para o ponto P1 nas 5 diferentes datas de coleta.

Tabela 1 - Classificação do IQA do Rio Catolé Grande nas cinco diferentes datas do estudo para P1: ponto de coleta localizado antes do perímetro urbano

Datas	Ponto	IQA	Categoria
12 fev. 2016	P1	91,48	Ótima
12 maio 2016	P1	89,46	Ótima
02 jul. 2016	P1	86,87	Ótima
24 set. 2016	P1	90,06	Ótima
29 nov. 2016	P1	93,24	Ótima

Ao longo do tempo, as variações dos valores de IQA foram pequenas, o que resultou em uma categoria “Ótima” para todas as épocas analisadas. Antes de chegarem ao município de Itapetinga-BA, as águas do rio Catolé Grande percorrem uma distância de aproximadamente 72,8 km, saindo à jusante do

município de Caatiba-BA, última cidade banhada pelo rio, e que contribui com efluentes domésticos, até o ponto de coleta P1. Assim, a água chegou ao ponto de coleta (P1) com melhor qualidade, em decorrência de fatores naturais, como a autodepuração. Este fenômeno natural consiste no restabelecimento do equilíbrio no meio aquático após alterações induzidas por despejos efluentes (VON SPERLING, 1996). Portanto, os resultados encontrados então dentro da normalidade.

Além disso, a análise individual de cada parâmetro (Figura 4) permite afirmar que, independente da época de coleta, todos apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005), o que corrobora com a classificação encontrada para o ponto P1. Concomitantemente, foi possível observar que a variação da vazão não interferiu nos valores de IQA, sendo sua classificação como ótima para todas as vazões avaliadas.

O IQA é um indicador bastante sensível à contaminação das águas por esgotos domésticos, embora seja influenciado também por outras fontes de contaminação, além de outros fatores, como as variações sazonais (BRASIL, 2016).

Analisando a qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, inclusive em pontos de coleta localizados à montante do município de Itapetinga-BA, Silveira *et al.* (2014) encontraram classificação para a categoria do IQA variando entre ótima e boa. O Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) (BAHIA, 2011), em um estudo sobre a qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica do Rio Pardo, realizou uma análise do IQA na bacia do Rio Catolé Grande, em um ponto à montante do município de Itapetinga-BA e encontrou categoria “Boa” neste ponto.

3.3 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

Na Tabela 2, estão apresentados os valores do Índice de Estado Trófico (IET) para os valores médios da variável fósforo (IET(PT)) e suas respectivas classificações tróficas para 4 coletas realizadas em diferentes períodos. O IET foi determinado em três diferentes pontos amostrados (P1, P2 e P3) ao longo do Rio Catolé, além das vazões correspondentes a cada época.

Tabela 2 - Concentrações média de fósforo total, valores médios do Índice de Estado Trófico (IET) e classificação dos níveis de trofia em três diferentes pontos amostrados (P1, P2 e P3) ao longo do Rio Catolé Grande, em quatro diferentes épocas

Coletas	Pontos	Vazão (m ³ s ⁻¹)	PT (µg L ⁻¹)	IET (PT)	Classificação
1 (12 maio 2016)	P1		206,67	63,47 b	Supereutrófico
	P2	1,41	290	65,23 a	Supereutrófico
	P3		296,67	65,36 a	Supereutrófico
2 (02 jul. 2016)	P1		193,33	63,13 b	Supereutrófico
	P2	3,86	346,67	66,16 a	Supereutrófico
	P3		306,67	65,53 a	Supereutrófico
3 (24 set. 2016)	P1		170	62,45 c	Eutrófico
	P2	2,18	516,67	68,24 a	Hipereutrófico
	P3		376,67	66,60 b	Supereutrófico
4 (29 nov. 2016)	P1		173,33	62,54 c	Eutrófico
	P2	2,74	480	67,86 a	Hipereutrófico
	P3		340	66,06 b	Supereutrófico

Nota: Para cada vazão, linhas seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para cada data médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, todos os valores das concentrações médias de fósforo total obtidas, nos diferentes pontos e épocas, ultrapassaram o padrão estabelecido na *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005) para águas de classe 2, regime lótico, que é de 100 µg L⁻¹.

Foi possível observar a variação espacial nas concentrações de fósforo nos sentidos montante à jusante do rio. No período de menor vazão (1,41 m³ s⁻¹), foram crescentes as concentrações de PT entre os três pontos. Nas coletas 2 (3,86 m³ s⁻¹), 3 (2,18 m³ s⁻¹) e 4 (2,74 m³ s⁻¹), foram crescentes as concentrações de fósforo do ponto P1 a P2. Entretanto, este comportamento não se manteve, decrescendo no ponto P3. As coletas antecedidas por chuvas (Figura 2) foram marcadas por uma maior concentração de PT, principalmente no ponto P2, que é caracterizado como ponto de maior impacto antrópico entre os demais. A retirada de mata ciliar, que acarreta no aporte de nutrientes ao leito do rio, colabora com o aumento de PT, visto que as margens do rio, no ponto P2, em sua maioria, são compostas por pastagens degradadas, com ausência de mata ciliar. Além disso, o ponto P2 está situado imediatamente após o perímetro urbano, sendo este detentor de maior carga orgânica.

Por estar localizado antes do perímetro urbano, o ponto P1 se caracteriza como uma área de menor impacto antrópico e, conseqüentemente, de menor concentração de PT, como pode ser observado em todas as coletas.

O Índice de Estado Trófico foi classificado para a variável PT, considerando que este nutriente é, na maioria das vezes, o fator limitante para a produção primária. Nas coletas 1 e 2, a classificação trófica (supereutrófico) para todos os pontos foi a mesma, demonstrando a inexistência de variação espacial e temporal em relação ao grau de trofia. Entretanto, a análise estatística demonstra que ocorreu variação significativa dos pontos P2 e P3 em relação ao ponto P1, o que pode ser explicado pela localização do ponto P1. Este ponto está à montante do município de Itapetinga-BA, não sendo detentor de cargas orgânicas do município, como é característico dos pontos P2 e P3, que estão situados após o perímetro urbano.

A classificação trófica das coletas 3 e 4 foi semelhante. Foi observada variação espacial dos graus de trofia entre os pontos P1, P2 e P3 sendo esta, respectivamente, eutrófico (menor grau de trofia), hipereutrófico (maior grau de trofia) e supereutrófico (grau de trofia intermediário aos demais). Esta característica pode ser observada na análise estatística que apresentou diferença significativa entre os três pontos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ambientes aquáticos com maiores níveis de trofia, como foi observado no ponto de coleta P2, possuem altas concentrações do nutriente fósforo, decorrentes, principalmente, da ocupação urbana. Esgotos domésticos, efluentes liberados pelas agroindústrias e uso de fertilizantes em regiões rurais são fatores que ajudam a aumentar os níveis desse nutriente no meio aquático e podem, conseqüentemente, acelerar o processo de eutrofização das águas (LAMPARELLI, 2004).

4 CONCLUSÃO

Tendo por base os resultados obtidos e considerando-se as condições em que o estudo foi realizado, conclui-se o descrito a seguir.

As variáveis limnológicas oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, condutividade elétrica e sólidos totais apresentaram significativa variação espacial (entre os pontos de estudo) e sazonal (períodos de menor e maior vazão) na qualidade da água na bacia hidrográfica no Rio Catolé. A turbidez e a temperatura apresentaram variação sazonal. A interferência antrópica foi um dos principais agravantes no comprometimento da qualidade da água, princi-

palmente no período chuvoso. O ponto localizado imediatamente após o perímetro urbano se apresentou como ambiente mais antropizado em decorrência de um número considerável de variáveis limnológicas estar fora dos limites estabelecidos pela *Resolução CONAMA 357/2005* (BRASIL, 2005).

Ao longo do tempo, as variações dos valores de IQA não foram significativas, o que resultou em um conceito “Ótimo” para todas as épocas analisadas.

As maiores concentrações de PT foram observadas no ponto P2 em todas as épocas do estudo. Todos os valores das concentrações de fósforo total obtidas, nos diferentes pontos e épocas, ultrapassaram o padrão estabelecido pela Resolução. Não houve variabilidade espacial e sazonal para a classificação trófica nas épocas referentes a menor e maior vazão, obtendo classificação “Supereutrófica” em relação ao IET para PT em todos os pontos. Para as épocas referentes às vazões intermediárias, ocorreu variação espacial entre os três pontos de estudo, sendo o grau de trofia crescente (eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico) para os pontos os pontos, P1, P2 e P3, respectivamente, mas não ocorreu variação sazonal.

AGRADECIMENTOS

52

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa. À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia pela estrutura e bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Revista Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 115-124, mar. 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12614**: Águas - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método de incubação (20°C, cinco dias). Rio de Janeiro, 1992.

BAHIA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). **Relatório monitoramento da qualidade das águas região de planejamento e gestão das águas rio Pardo**. Secretaria do Meio Ambiente, Bahia, 2011.

BRASIL. Agência Nacional das Águas (ANA). **Resolução n.º 274, de 03 de Outubro de 2011**. Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação das amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no

âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

BRASIL. Agência Nacional das Águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos**: informe 2016. Brasília, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

SÃO PAULO. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - Apêndice C - Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2008.

CORDEIRO, G. G.; GUEDES, N. M.; KISAKA, T. B.; NARDOTO, G. B. Avaliação rápida da integridade ecológica em riachos urbanos na bacia do rio Corumbá no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 702-710, jul./set., 2016.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C.; MENEGON JUNIOR, N. Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005-2009). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 159-168, 2013.

CUNHA, D. G. F.; DODDS, W. K.; CALIJURI, M. C.; Defining nutrient and biochemical oxygen demand base-lines for tropical rivers and streams in São Paulo State (Brazil): a comparison between reference and impacted sites. **Environmental Management**, v. 48, n. 5, p. 945-956, 2011.

GARCIA, R. L.; TUCCI, C. E. M. Simulação da qualidade da água em rios em regime não-permanente: Rio dos Sinos. **Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 17-26, 2000.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 238f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, E. M., PINTO; J. E. S. Bacia do rio Catolé, Bahia - Brasil: bases geoambientais e socioeconômicas para a gestão da água e do solo. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1-16, 2011.

MATOS, A. T. **Práticas de qualidade do meio físico e ambiental**. Viçosa: AEAGRI, 2004.

OLIVEIRA, P. C. R.; NOGUEIRA, M. G.; SARTORI, L. P. Differential environmental impacts on small and medium size rivers from center of **São Paulo** State, Brazil, and regional man-

agement perspectives. **Revista Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 26, n. 4, p. 404-419, out./dez., 2014.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo – Contagem. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 733-742, 2008.

SILVEIRA, T.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B.; ARAÚJO, M. S. B. Qualidade da água e vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais na definição das fragilidades potencial e ambiental de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 642-652, 2014.

SPEROTTO, R. A. **Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana**. v. 1. Lajeado, RS: Editora da Univates, 2014.

VON SPERLING, M. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. v. 1. 2. ed. Belo Horizonte, MG: DESA-UFMG, 1996.

COEFICIENTES DE DESOXIGENAÇÃO E REAERAÇÃO E DINÂMICA DA AUTODEPURAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATOLÉ GRANDE - BA

NATÁLIA ANDRADE SILVÃO
FLAVIA MARIANI BARROS
DANILO PAULUCIO DA SILVA
FELIZARDO ADENILSON ROCHA
DANILO JUNQUEIRA LEÃO

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo obter os coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração (K_2) e comparar este último, obtido por meio da equação de Streeter-Phelps, com os obtidos por meio de equações que utilizam variáveis hidráulicas e verificar a capacidade de autodepuração em um trecho do Rio Catolé Grande. Os valores do coeficiente K_1 , determinados em quatro diferentes coletas, foram obtidos por meio de análises da quantificação de oxigênio consumido da amostra, com posterior análise de regressão de dados. Os valores dos coeficientes K_2 foram obtidos por meio da equação proposta por Streeter-Phelps, bem como a capacidade de autodepuração no Rio Catolé. Os valores dos coeficientes de desoxigenação e reaeração apresentaram relação direta com a vazão. As equações propostas por O'Connor e Dobbins (1956), Benett e Rathbum (1972) e Owens *et al.* (1964) apresentaram valores de coeficiente de reaeração superestimados, **não** sendo, portanto, adequadas a sua aplicação no presente estudo. A menor capacidade de autodepuração do Catolé Grande foi observada no período de maior vazão do rio. Entretanto, os resultados demonstraram o comprometimento da autodepuração do rio em decorrência de impactos ambientais causados pela liberação de matéria orgânica proveniente de efluentes agroindustriais e de efluentes domésticos.

Palavras-chave: poluição hídrica, oxigênio dissolvido, vazão.



ABSTRACT

56

The present study aimed to obtain the coefficients of deoxygenation (K_1) and reaeration (K_2), and to compare the K_2 , obtained through the Streeter-Phelps equation, with those obtained through equations that use hydraulic variables and verify the capacity of self-purification in a stretch of the Catolé Grande River. The values of coefficient K_1 , determined in four different samplings, were obtained from the quantitative analysis of the sample's consumed oxygen, with subsequent data regression analysis. The coefficients K_2 values were obtained by the equation proposed by Streeter-Phelps, as well as the capacity of self-purification in the Catolé Grande River. The values of the coefficients of deoxygenation and re-generation were causally related to the flow. The equations proposed by O'Connor and Dobbins (1956), Benett and Rathburn (1972), and Owens *et al.* (1964) presented overestimated values of reaeration coefficients and were, therefore, not suitable for their application in the present study. The lower capacity of the Catolé Grande was observed in the collection in which the river had the highest flow. However, the analysis of all the collections shows the commitment of the self-purification of the river due to the environmental impacts caused by the release of organic matter from agroindustry effluents and domestic effluents.

Keywords: water pollution, dissolved oxygen, flow rate.

1. INTRODUÇÃO

A poluição dos corpos de água é um problema mundial e seu controle é considerado um dos grandes desafios da gestão dos recursos hídricos. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela *Lei nº 9.433*, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), refere-se à bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento. Também estabelece que o processo de gerenciamento dos recursos hídricos e a implementação da política, por meio dos seus instrumentos de gestão, devem ocorrer no âmbito dessa unidade territorial.

Na gestão dos recursos hídricos, é proposta a adoção de medidas de planejamento e gerenciamento deste bem natural como alternativa viável para a solução do problema. Deve-se ocorrer de forma a regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos, sem acarretar entraves no desenvolvimento econômico de uma região (GASTALDINI; OPPA, 2011).

Para auxiliar na gestão, controle e proteção dos corpos hídricos, os modelos matemáticos são utilizados como ferramentas que possibilitam sua análise e prognóstico. Isso permite a simulação dos processos de autodepuração do rio e, conseqüentemente, auxilia na tomada de decisões referentes ao gerenciamento desses recursos tanto a longo prazo quanto a curto prazo (GONÇALVES *et al.*, 2012).

A autodepuração em corpos hídricos é um fenômeno complexo que envolve processos biológicos, físicos, químicos e permitem que o corpo hídrico possa recuperar o seu estado natural ao longo de certa distância de determinado trecho do rio (VON SPERLING, 2007; DEMARS; MANSON, 2013).

Uma das primeiras formulações matemáticas utilizadas para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido, após o lançamento de matéria orgânica no corpo hídrico, foi o modelo de Streeter-Phelps. Este foi precursor de modelos numéricos de qualidade de água ainda largamente utilizado, servindo de suporte a outros modelos atuais. É constituído genericamente por duas equações diferenciais ordinárias: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica (K_1); e outra, o fluxo de oxigênio proveniente da dinâmica da reaeração atmosférica (K_2) (BEZERRA; MENDONÇA; FRISCHKORN, 2008).

A estimativa dos coeficientes K_1 e K_2 é imprescindível para a seleção de uma curva de solução que melhor represente um sistema real. No entanto, não há um método disponível para determinar valores que se ajustam precisamente à realidade de um determinado corpo d'água. Métodos para estimar K_1 e K_2

podem fornecer aproximações razoáveis dentro de limites predefinidos. Entretanto, devido à natureza de não linearidade desses coeficientes, não há fórmula para casos genéricos (RAYMOND *et al.*, 2012; HAIDER; ALI; HAYDAR, 2013; BENSON *et al.*, 2014).

Embora o processo de mistura das substâncias se dê de forma tridimensional, os modelos de qualidade de água usualmente utilizados em rios, tais como o modelo de Streeter-Phelps, consideram apenas uma direção no espaço, ou seja, é unidimensional (GOMES; SIMÕES, 2014). É comum o uso desses tipos de modelo quando ocorre mistura instantânea de cargas poluidoras advindas de fontes pontuais, o que reforça ainda mais a utilização destas ferramentas (SOUZA, 2006).

O objetivo do presente trabalho foi obter os coeficientes de desoxigenação (K_1) e reaeração (K_2) e comparar este último, obtido por meio da equação de Streeter-Phelps, com os obtidos por meio de equações que utilizam variáveis hidráulicas e verificar a capacidade de autodepuração em um trecho do Rio Catolé Grande.

2. MATERIAL E MÉTODOS

58

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, que pertence à bacia hidrográfica do Rio Pardo no estado da Bahia. Esta sub-bacia se encontra entre os paralelos ($-14^{\circ}39'9''$ e $-15^{\circ}21'45''$) e os meridianos ($-40^{\circ}51'33''$ e $-40^{\circ}7'42''$), com área de 3.128 km^2 , composta pelos municípios de Vitória da Conquista, Itambé, Barra do Choça, Planalto, Caatiba, Nova Canaã e Itapetinga.

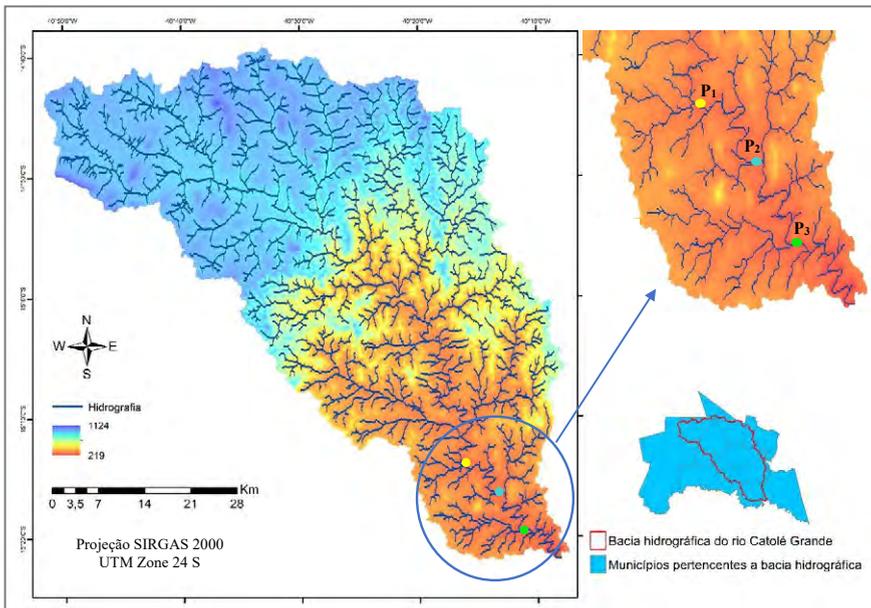
A diferença de altitude do rio principal varia entre 1124 m próximo à nascente, 219 m próximo à foz e comprimento curvilíneo de $174,319 \text{ km}$, com 207 canais tributários.

A bacia do Rio Catolé Grande sofre efeitos das atividades agrícolas que recobrem quase que 75% da bacia (LIMA; PINTO, 2011). Além disso, a rede coletora de esgoto do município de Itapetinga-BA despeja todo o efluente doméstico diretamente no rio, sem qualquer tratamento, o que aumenta a poluição dos recursos hídricos da região.

Foram selecionados três pontos de coleta distintos do Rio Catolé Grande, dentro do município de Itapetinga-BA (Figura 1), sendo levado em consideração a ocorrência ou não de fontes de poluição ao longo do rio para a escolha dos pontos.

O ponto P_1 está situado à montante do perímetro urbano ($-15^{\circ}14'6.14''$ e $-40^{\circ}16'18.63''$). O ponto P_2 está localizado logo após o perímetro urbano ($-15^{\circ}16'9.97''$ e $-40^{\circ}13'3.09''$) e compreende lançamentos de efluentes domésticos e agroindustriais (laticínios e frigoríficos) do município. O ponto P_3 está situado após o perímetro urbano ($-15^{\circ}19'30.43''$ e $-40^{\circ}10'34.14''$) em uma propriedade na zona rural do município. Os pontos P_2 e P_3 são distantes aproximadamente 16,9 e 34,8 km do ponto P_1 , respectivamente.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande-BA e pontos de amostragem



Foram coletadas manualmente, no centro do escoamento do rio, amostras simples de água com três repetições em cada ponto, em profundidade de 15-30 cm, a fim de se evitar contaminantes superficiais, conforme metodologia expressa pela Agência Nacional das Águas – ANA (BRASIL, 2011). Após a coleta, as amostras de água foram colocadas em recipientes de vidro, acondicionadas em caixas de isopor e transportadas imediatamente ao Laboratório de solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), onde foram realizadas análises da concentração de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As concentrações de OD na água foram determinadas de acordo com o método de Winkler modificado pela azida sódica. A determinação da DBO foi realizada pelo método descrito na *NBR 12614/1992* (BRASIL, 1992).

Para a obtenção do coeficiente de desoxigenação (K_1), foi selecionado o ponto que recebia toda a contribuição de efluentes da cidade, localizado imediatamente após o perímetro urbano de Itapetinga, ou seja, o ponto de mistura dos efluentes com a água do rio (Ponto P_2).

As amostras de água coletadas foram incubadas a temperatura de 20°C, utilizando-se o mesmo procedimento para obtenção da DBO (ABNT, 1992), durante períodos de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 e 21 dias. Aos dados obtidos, foram ajustadas equações de regressão não linear, de forma a se obter os parâmetros de K_1 e da demanda última de oxigênio (L_0), conforme Equação 1.

$$y = L_0(1 - e^{-K_1 \cdot T}) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: y = DBO exercida em um tempo t (mg L^{-1}); L_0 = demanda última de oxigênio que representa a DBO total ao final da estabilização (mg L^{-1}); K_1 = coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}); T = tempo (d).

O coeficiente de reaeração (K_2) foi obtido utilizando-se a equação desenvolvida por Streeter-Phelps (1925) (Equação 2), substituindo-se todos os valores e tendo apenas o K_2 como incógnita.

$$C_t = C_s \cdot \left[\frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \cdot (e^{-K_1 \cdot T} - e^{-K_2 \cdot T}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot T} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: C_t = concentração de oxigênio dissolvido, em um dado instante t (mg L^{-1}); C_s = concentração de saturação de oxigênio (mg L^{-1}); K_1 = coeficiente de desoxigenação (d^{-1}); K_2 = coeficiente reaeração (d^{-1}); L_0 = demanda última de oxigênio, logo após a mistura (mg L^{-1}); T = tempo (d); D_0 = concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg L^{-1}).

Os valores de K_2 também foram estimados por meio de equações formuladas por O'Connor e Dobbins (1956), Bennett e Rathbum (1972), Owens *et al.* (1964) (Tabela 1). Estes valores foram comparados aos obtidos por meio da estimativa do K_2 utilizando-se a equação desenvolvida por Streeter-Phelps (1925).

Tabela 1 - Valores do coeficiente K_2 segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (base e, 20°C)

Pesquisadores	Equação	Faixa de aplicação
O'Connor e Dobbins (1956)	$3,952 v^{0,5} H^{-1,5}$	$0,27 \leq H < 11,28 \text{ m}$ $0,06 \text{ m s}^{-1} \leq v < 1,28 \text{ m s}^{-1}$
Bennett e Rathbun (1972)	$5,5773 v^{0,607} H^{-1,689}$	$0,12 \leq H < 3,48 \text{ m}$ $0,04 \text{ m s}^{-1} \leq v < 1,52 \text{ m s}^{-1}$
Owens <i>et al.</i> (1964)	$5,3 v^{0,67} H^{-1,67}$	$0,1 \leq H < 0,6 \text{ m}$ $0,05 \text{ m s}^{-1} \leq v < 1,5 \text{ m s}^{-1}$

Fonte: EPA (1985).

Legenda: v= velocidade do curso d'água (m s-1); H= altura da lâmina d'água (m)

Neste estudo, foi aplicado o modelo matemático proposto por Streeter-Phelps (1925), considerando a real contribuição dos seus afluentes, padrões sazonais e dados quantitativos e qualitativos medidos no local. Foram consideradas condições estacionárias determinadas nesse modelo, que presume que todas as condições são permanentemente as mesmas. Também considera que toda a carga orgânica presente no trecho em estudo é uma fonte pontual de poluição.

O ponto P_2 foi considerado uma fonte de poluição, por ser localizado logo após o perímetro urbano e compreender os lançamentos de efluentes domésticos e agroindustriais (laticínios e frigoríficos) do município.

As curvas de autodepuração, concentração de OD em função da distância, foram determinadas de acordo com a Equação 2. Para tanto, os tempos (t) da equação foram determinados dividindo as distâncias ao longo do Rio Catolé pela velocidade média de escoamento.

A concentração de saturação (C_s) foi determinada em função da temperatura (Equação 3) e o efeito mais importante na concentração de oxigênio dissolvido se deve à temperatura (SANTOS, 2001).

$$C_s = 14,652 - 0,041022T + (0,007991 \cdot T^2) \cdot (7,7774 \cdot 10^{-5}) \cdot T^3 \text{ (Equação 3)}$$

Em que: C_s = concentração de saturação do oxigênio (mg L^{-1}); T= temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

A fim de se observar as condições do rio antes do recebimento de toda carga orgânica proveniente do município de Itapetinga, foram determinados os valores das concentrações de oxigênio dissolvido no ponto (P_1), ponto situado antes do perímetro urbano, em todas as épocas do estudo.

As vazões foram obtidas a partir dos dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para os coeficientes de desoxigenação (K_1), nas quatro coletas realizadas, variaram de maneira geral de forma temporal, com coeficientes maiores em períodos de maior vazão. O maior valor de K_1 ($0,47 \text{ d}^{-1}$) na coleta 2 pode ser explicado pela maior quantidade de sedimentos transportados para o leito do rio em decorrência do escoamento superficial nos períodos chuvosos (Tabela 2). Além disso, a maior velocidade das águas em períodos chuvosos pode provocar aumento da matéria orgânica dissolvida e particulada originada pela própria ressuspensão do sedimento.

Tabela 2 - Valores de vazão (Q), velocidade média (V), profundidade média (H), demanda última de oxigênio (Lo), coeficiente de desoxigenação (K1) e coeficiente de reaeração (K2) para quatro coletas realizadas no Rio Catolé Grande na seção localizada imediatamente após o perímetro urbano (P2)

Coletas	Q ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	V (m s^{-1})	H (m)	Lo (mg L^{-1})	K_1 (d^{-1})	K_2 (d^{-1})
1 (12 maio 2016)	1,41	0,23	0,35	17,42	0,28	0,95
2 (02 jul. 2016)	3,86	0,36	0,58	51,59	0,47	3,8
3 (24 set. 2016)	2,18	0,30	0,41	36,57	0,39	2,36
4 (29 nov. 2016)	2,74	0,29	0,50	22,92	0,35	2,26

A falta de manejo gera baixa permeabilidade, alta compactação e erosão do solo que amplifica o carreamento de sedimentos para o corpo hídrico em períodos chuvosos. Somado a isto, a retirada de trechos de matas ciliares facilita a entrada de sedimentos no rio. Esses fatores podem ter contribuído para o aumento da quantidade de sedimentos na bacia onde a pesquisa foi realizada, em Itapetinga-BA.

Foram observados maiores valores do coeficiente K_1 em períodos de maior vazão. Isso confirma essa relação direta de K_1 com períodos sazonais (BRANDE- LERO; SIQUEIRA; LIMA, 2010; ALMEIDA, 2013). O menor valor apresentado para K_1 ($0,28 \text{ d}^{-1}$) se encaixa entre os valores admitidos para um efluente secundário ($0,12$ a $0,24 \text{ d}^{-1}$) e para efluentes primários ($0,30$ a $0,40 \text{ d}^{-1}$). Para os valores de K_1 intermediários ($0,35$ e $0,39 \text{ d}^{-1}$), a classificação seria a máxima estabelecida por Von Sperling para águas residuárias de elevada concentração, cujo K_1 deve estar entre $0,30$ e $0,45 \text{ d}^{-1}$.

Existem categorias variadas para a classificação do Rio Catolé Grande. O maior valor de K_1 encontrado ($0,47 \text{ d}^{-1}$) é proporcional a uma água residuária com alta carga orgânica e não se encaixa entre os valores apresentados por Von Sperling (1996).

Observou-se uma relação direta entre os valores de K_1 e os valores de L_0 . Isso indica que, mesmo em períodos em que a concentração de material orgânico bruto ao longo do corpo hídrico é elevada, a velocidade de assimilação deste material também é maior, como pode ser observado em período de maior vazão. A maior velocidade aumenta a incorporação de oxigênio dissolvido nas águas, que é fator limitante no processo de decomposição de matéria orgânica. Além disso, o principal tipo de efluente lançado no Rio Catolé Grande é de natureza orgânica, que se caracteriza como efluente de mais rápida assimilação quando comparado a efluentes industriais.

A variação temporal foi o principal fator responsável pela variação nos valores do coeficiente de desoxigenação (K_2). Maiores valores de vazão e velocidade da água estão associados a maiores valores de K_2 , em decorrência da maior facilidade de mistura ao longo da profundidade e da criação de maiores turbulências na superfície. Valores de K_2 mais altos estão relacionados diretamente à menor lâmina de água, também associados com a maior velocidade. O oposto também já foi observado, ou seja, para uma maior lâmina com menor velocidade, obteve-se o menor K_2 (QUEIROZ; MATOS; VON SPERLING, 2015), assim como verificado no presente trabalho.

Para as coletas 3 e 4, que apresentaram valores de vazão ($2,18$ e $2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e velocidade ($0,30$ e $0,29 \text{ m s}^{-1}$) mais próximos, o fator que mais influenciou os valores de K_2 ($2,36$ e $2,26 \text{ d}^{-1}$) foi a altura da lâmina d'água, sendo esta relação inversamente proporcional. Esse fato foi corroborado por Von Sperling (1996), que afirma que corpos d'água mais rasos tendem a apresentar maior coeficiente de reaeração, devido à facilidade de mistura ao longo do perfil de profundidade e maior turbulência superficial. Da mesma forma que no presente trabalho, avaliando a capacidade de autodepuração do Rio Ribeirão Vermelho, Menezes *et al.* (2015) observaram que as condições hidrodinâmicas do rio foi o fator que mais influenciou nos valores de K_2 encontrados.

Para a coleta 1 ($K_2=0,95 \text{ d}^{-1}$), o Rio Catolé Grande é enquadrado como rios rápidos ($0,69 < K_2 < 1,15 \text{ d}^{-1}$). Para as demais coletas, 2, 3 e 4, é enquadrado como um corpo d'água com corredeiras e quedas d'água ($K_2 > 1,15 \text{ d}^{-1}$). Isso indica que o rio tem alta capacidade de autodepuração (VON SPERLING, 1996). Isso ocorre, pois, em certas condições de rios não profundos, os valores tabelados podem

resultar em melhores ajustes a dados medidos de OD do que os valores obtidos por fórmulas hidráulicas (VON SPERLING, 1996).

Os valores de K_2 obtidos para as três referências apresentadas variaram entre todas as coletas realizadas (Tabela 3). Além disso, observou-se que, para as três referências, todos os resultados de K_2 foram superestimados, quando comparado aos valores calculados usando a equação proposta por Streeter-Phelps (1925). No entanto, as equações ajustadas pelos referidos autores não se mostraram adequadas para a estimativa de K_2 no trecho do rio estudado.

Tabela 3 - Valores de coeficiente de reaeração (K_2) obtidos utilizando-se equações propostas por diferentes autores em função das variáveis hidráulicas velocidade (V) e profundidade (H), em quatro coletas

Coletas	Referência	V (m s ⁻¹)	H (m)	K_2 (d ⁻¹)
1 (12 maio 2016)	O'Connor e Dobbins (1956)	0,23	0,35	9,09
	Benett e Rathburn (1972)			13,34
	Owens <i>et al.</i> (1964)			11,32
2 (02 jul. 2016)	O'Connor e Dobbins (1956)	0,36	0,58	5,42
	Benett e Rathburn (1972)			7,62
	Owens <i>et al.</i> (1964)			6,72
3 (24 set. 2016)	O'Connor e Dobbins (1956)	0,30	0,41	8,17
	Benett e Rathburn (1972)			11,98
	Owens <i>et al.</i> (1964)			10,37
4 (29 nov. 2016)	O'Connor e Dobbins (1956)	0,29	0,50	6,12
	Benett e Rathburn (1972)			8,65
	Owens <i>et al.</i> (1964)			7,51

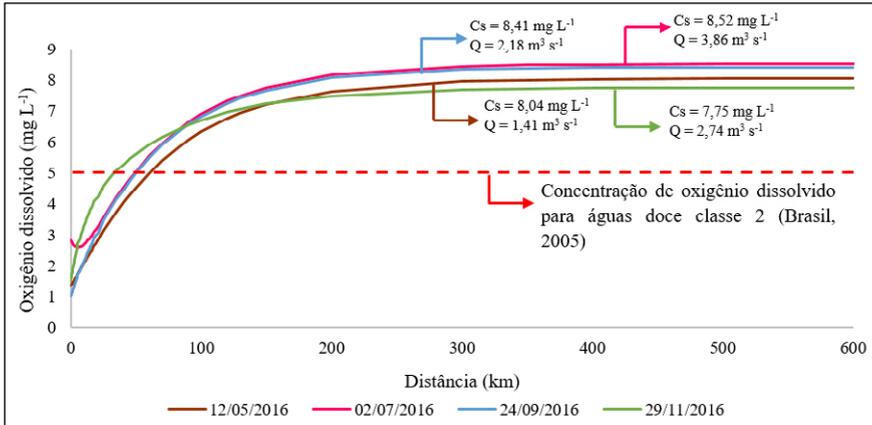
A análise da Tabela 3 permite inferir que os valores de K_2 obtidos para as três referências apresentadas variaram entre todas as coletas realizadas. Além disso, observou-se que, para as três referências, todos os resultados de K_2 foram superestimados quando comparado aos valores calculados usando a equação proposta por Streeter-Phelps (1925). As equações ajustadas pelos referidos autores não se mostraram adequadas para a estimativa de K_2 no trecho do rio estudado. Este fato também foi observado por Barros (2008) no Rio Turvo Sujo; por Formentini (2010) no Rio Vacacaí-Mirim; e por Almeida (2006) no Rio Pomba.

3.1 CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO

Na Figura 2, estão apresentadas as curvas de depleção de oxigênio dissolvido em função da distância, que foram geradas pela equação proposta por Streeter-Phelps (Equação 2). A utilização do modelo proposto por Streeter-Phelps

para simulação da concentração de OD, em função do comprimento do rio, foi compatível com as amostras experimentais feitas no Rio Catolé Grande.

Figura 2 - Variação temporal da concentração de oxigênio dissolvido em função da distância no Rio Catolé para as quatro coletas



Nota: Cs= concentração de saturação; Q= vazão.

Foi observado variação no comportamento das curvas para as quatro coletas realizadas no estudo. No período de maior vazão ($3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), caracterizado por maior profundidade média ($0,58 \text{ m}$) e velocidade de escoamento ($0,36 \text{ m s}^{-1}$) no Rio Catolé Grande, ocorreu maior prolongamento na curva de autodepuração ($Q = 3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 02 jul. 2016), diferente do observado para as coletas com menores vazões ($Q = 1,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 12 maio 2016; $Q = 2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 24 set. 2016; $Q = 2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 29 nov. 2016). Analisando a autodepuração do Córrego São Simão nos períodos de seca e chuva, Gonçalves *et al.* (2012) também encontraram resultados que corroboram com os resultados do presente estudo.

O maior valor de concentração de saturação (Cs) foi determinado para a curva correspondendo à vazão de $3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Ou seja, no período de inverno, quando as temperaturas foram mais baixas. Segundo Von Sperling (1996), a Cs varia diretamente em função da temperatura, sendo que, em períodos mais frios, a saturação de OD na água é maior. A menor agitação das moléculas na água faz com que os gases dissolvidos permaneçam em maior quantidade na fase líquida. Isso aumenta os valores de Cs.

A relação que define o comportamento do tempo crítico (Tc) na curva de depleção de OD foi positiva apenas para a curva referente à coleta de 02 de julho de 2016 ($Q = 3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Ou seja, a partir do ponto de lançamento, há

uma queda na concentração de OD, que inicialmente era de 2,82 mg L⁻¹. Nessa condição, a menor concentração de oxigênio (2,59 mg L⁻¹) será atingida em um tempo (Tc) de 0,19 dia na distância de 6,29 km, após o lançamento de efluentes. Para as demais curvas, a relação Tc foi negativa, o que indica que os menores valores de OD ocorrem no ponto de mistura, tendendo a se elevar.

Ao longo do tempo e considerando o perfil longitudinal dos cursos de água, existem estágios de sucessões ecológicas associadas a zonas fisicamente identificáveis nos rios, conhecidas como zonas de autodepuração. Neste estudo, não foi identificado o trecho correspondente à zona de águas limpas, pois o levantamento de dados referente à curva de autodepuração do Rio Catolé Grande, assim como os coeficientes de desoxigenação e reaeração, foi limitado apenas ao trecho correspondente ao município de Itapetinga-BA, não abrangendo o estudo aos outros municípios.

Conforme suas águas escoam no sentido da área urbana da cidade de Itapetinga, o grande aporte de efluentes domésticos e industriais ao longo do trecho alteram a qualidade da água, dando início à zona de degradação. O local do presente estudo que apresenta esta característica é o P₂, região na qual a qualidade da água se apresenta em seu estado mais deteriorado, provavelmente devido à grande atividade microbiana responsável pela decomposição da matéria orgânica. Nesta região, observou-se que as águas do Rio Catolé possuem odor desagradável e presença de matéria em suspensão (óleos, espumas e larvas de insetos).

Na Figura 2, verifica-se uma recuperação gradativa ao longo do trecho simulado na concentração de OD. O curso d'água para a coleta de 02 de julho de 2016 (Q = 3,86 m³ s⁻¹), condição de maior prolongamento da curva de autodepuração, somente apresentará OD mínimo de 5 mg/L (Figura 1), exigido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), a uma distância de aproximadamente 50 km do ponto de lançamento, isto se não houver nenhuma contribuição de efluentes e/ou afluentes ao longo do curso d'água. Para a coleta de 29 de novembro de 2016 (Q = 2,74 m³ s⁻¹), condição de menor prolongamento da curva, esta concentração será alcançada a uma distância de 35 km do ponto inicial.

As concentrações médias de OD, em ponto localizado antes do perímetro urbano (zona de águas limpas), nas coletas 12 maio 2016, 02 jul. 2016, 24 set. 2016 e 29 nov. 2016, foram respectivamente: 5,13 mg L⁻¹, 5,95 mg L⁻¹, 5,51 mg L⁻¹ e 5,24 mg L⁻¹. Todos os valores mencionados foram superiores aos determinados no ponto P₂ (Figura 2) e ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que determina um limite mínimo de OD de 5 mg L⁻¹

para águas de classe 2. Considerando estes valores de OD em zona de águas limpas, o Rio Catolé Grande entra novamente nesta zona a aproximadamente 100 km após o lançamento dos efluentes para a coleta de 12 de maio de 2016 ($Q = 1,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); 70 km para a coleta de 02 de julho de 2016 ($Q = 3,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); 142 km para a coleta de 24 de setembro de 2016 ($Q = 2,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); e 40 km para a coleta de 29 de novembro de 2016 ($Q = 2,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Considerando que a distância de P_2 até o encontro das águas do Rio Catolé Grande com o Rio Pardo são de aproximadamente 36,2 km, pode-se afirmar que a distância necessária para a autodepuração, independente da época analisada, é maior que a distância do trecho em estudo. É necessário, pelo menos, mais 3,8 km após a sua foz para que suas águas voltem a possuir uma concentração de oxigênio dissolvido acima dos valores obtidos no ponto P_1 .

CONCLUSÕES

Os coeficientes de desoxigenação (K_1) possuem variação sazonal, com maiores valores de K_1 , em geral, em períodos de maior vazão. O coeficiente de reaeração (K_2) varia de forma direta com os valores de vazão e velocidade da água, o que indica significativa variação sazonal.

O Rio Catolé Grande apresenta menor capacidade de autodepuração durante o período de maior vazão. O impacto ambiental causado pela liberação de matéria orgânica proveniente de efluentes agroindustriais e de efluentes domésticos compromete a autodepuração do Rio Catolé.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa. À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) pela estrutura física e bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. V. D. Índice de qualidade da água e coeficientes de autodepuração de trechos do rio Pomba. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

ALMEIDA, J. S. M. **Condições de oxigenação e desoxigenação de um trecho do rio Uberabinha no município de Uberlândia.** 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em En-

genharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12614**: Águas - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método de incubação (20°C, cinco dias). Rio de Janeiro, 1992.

BARROS, F. M. **Dinâmica do nitrogênio e do fósforo e estado trófico nas águas do rio Turvo Sujo**. 2008. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008.

BENNETT, J. P.; RATHBURN, R. E. **Reaeration in open-channel flow**. Professional paper 737. Washington DC: UFGS, 1972.

BENSON, A.; ZANE, M.; BECKER, T. E.; VISSER, A.; URIOSTEGUI, S. H.; DERUBEIS, E. Quantifying reaeration rates in alpine streams using deliberate gas tracer experiments. **Water**, v. 6, p. 1013-1027, 2014.

BEZERRA, I. S. O.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H. Autodepuração de cursos d'água: **um programa de modelagem** Streeter Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 2, 2008.

BRANDELERO, S. M.; SIQUEIRA, E. Q.; LIMA, A. C. B. Desoxigenação em água superficial de ambiente lótico. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 1, p. 163-171, 2010.

68 ... BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

BRASIL. Agência Nacional das Águas (ANA). **Resolução n. 274, de 03 de outubro de 2011**. Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação das amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

DEMARS, B. O. L.; MANSON, J. R. Temperature dependence of stream aeration coefficients and the effect of water turbulence: a critical review. **Water Research**, v. 47, p. 1-15, 2013.

EPA – United States Environmental Protection Agency, Athens. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling**. 2. ed. Geórgia: NSCEP, 1985

FORMENTINI, T. A. **Coeficientes de desoxigenação e de reaeração superficial em trechos do rio Vacacaí Mirim**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Recursos hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2010.

GASTALDINI M. C. C.; OPPA, L. F. Análise de alternativas de enquadramento do Rio Vacacaí Mirim utilizando modelo matemático de qualidade da água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.

GOMES, F. C.; SIMÕES, S. J. C. Simulação de Modelagem Qualitativa para Avaliação Preliminar da Qualidade da Água na Bacia do Ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/SP, como subsídio ao enquadramento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 309-326, 2014.

GONÇALVES, J. C. S. I.; SARDINHA, D. S.; SOUZA, A. D. G.; DIBIAZI, A. L. B.; GODOY, L. H.; CONCEIÇÃO, F. T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. **Revista Ambiente Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 141-154, 2012.

HAIDER, H.; ALI, W.; HAYDAR, S. Evaluation of various relationships of reaeration rate coefficient for modeling dissolved oxygen in a river with extreme flow variations in Pakistan. **Hydrological Processes**, v. 27, p. 3949-3963, 2013.

LIMA, E. M., PINTO; J. E. S. Bacia do rio Catolé, Bahia - Brasil: bases geoambientais e socioeconômicas para a gestão da água e do solo. *Revista Geográfica de América Central*, v. 2, n. 47E, p. 1-16, 2011.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FIA, R. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. **Revista Ambiente Água**, v. 10, n. 4, 2015.

O'CONNOR, D. J.; DOBBINS, W. E. Mechanism of the reaeration in natural streams. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**. v. 123. p. 641-684, 1958.

OWENS, M.; EDWARDS, R.W.; GIBBS, J.W. Some reaeration studies in stream. **International Journal Air Water Pollution**, v. 8/9, n. 8, p. 469-486, 1964

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; VON SPERLING, M. Estimativa do coeficiente de reaeração da água em canal raso de fundo deslizante. **Revista Engenharia Sanitária & Ambiental**, v. 20, n. 1, 2015.

RAYMOND, P. A.; ZAPPA, C. J.; BUTMAN, D.; BOTT, T. L.; POTTER, J.; MULHOLLAND, P. Scaling the gas transfer velocity and hydraulic geometry in streams and small rivers. **Limnology and Oceanography**, Fluids and Environments, v. 2, p. 41-53, 2012.

SANTOS, A. R. dos. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da Bacia Hidrográfica do RioTurvo Sujo, micro-região de Viçosa-MG**. 2001. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: 2001.

SOUZA, R. S. **Simulação Hidrodinâmica da Qualidade da Água. Estudo de Caso: Ajuste do Modelo CE-QUAL-WE à Sub Bacia do Arroio Demétrio, Bacia Hidrográfica do**

Rio Gravataí/RS. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

STREETER, H. W., PHELPS, E. B. **A study of the natural purification of the Ohio River.** Public Health Bulletin 146, U.S. Washington: Public Health Service, 1925.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 2007.

VON SPERLING, M. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias:** Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3. ed. Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 1996.

MODELAGEM DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS DO RIO CATOLÉ GRANDE, BAHIA, BRASIL

JHONES DA SILVA AMORIM
DANILO PAULÚCIO DA SILVA
FELIZARDO ADENÍLSON ROCHA
FLÁVIA MARIANI BARROS

RESUMO

Devido à grande importância do Rio Catolé Grande para a região sudoeste da Bahia, são necessários estudos que auxiliem na gestão de sua bacia hidrográfica. Uma excelente ferramenta para tal finalidade é o modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT), uma vez que se trata de um modelo consolidado no meio científico e com grande aplicação sob diferentes condições de solo, clima e manejo agrícola. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de aplicação do modelo hidrológico SWAT na estimativa mensal da vazão da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande. Foram utilizados dados climáticos, modelo digital de elevação, mapas de tipo e de uso e ocupação do solo e dados fluviométricos para o período compreendido entre 1997 e 2005. Foram realizadas análise de sensibilidade, calibração (2003-2005) e validação (1997-2000) do modelo utilizando os coeficientes estatísticos Nash-Sutcliffe (NSE), Percentual de Viés (Pbias) e Erro Padrão Médio Normalizado (RSR) para avaliação do modelo. Os parâmetros com maior índice de sensibilidade foram Curva Número, Coeficiente de compensação evaporativa da água do solo e limite de água do aquífero raso para que haja fluxo de base. Os coeficientes obtidos para simulação da vazão NSE, Pbias e RSR foram, respectivamente, 0,54, 5,13% e 0,68, obtidos na calibração, e 0,53, 6,24% e 0,69, na etapa de validação. O SWAT pode ser aplicado na simulação da vazão na bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande e, assim, contribuir para uma melhor gestão de recursos hídricos na bacia.

Palavras-chave: modelagem hidrológica, gestão de recursos hídricos, análise de sensibilidade.



ABSTRACT

Given the importance of Catolé Grande River for the southwest region of Bahia, it is necessary studies to assist in the management of the watershed. An excellent tool for this purpose is the hydrologic model Soil and Water Assessment Tool (SWAT), being a consolidated model in the scientific community, and with great application under different soil conditions, climate and agricultural management. This study aimed to evaluate the potential application of hydrologic model SWAT in estimating monthly the streamflow of the river watershed Catolé Grande. Were used Climatic data, digital elevation model, maps of type and use, and occupation land and streamflow data for the period between 1997 and 2005. Were carried out sensitivity analysis, calibration (2003-2005), and validation (1997-2000) of model Using the Nash-Sutcliffe (NSE) statistical coefficients, the Bias Percentage (Pbias), and the Standardized Mean Standard Error (RSR) to evaluate the model. The parameters with greater sensitivity index were Curve Number, compensation coefficient evaporative, and aquifer limit so there is base flow. The coefficients for simulation NSE flow, Pbias, and RSR were respectively 0.54, 5.13%, and 0.68 obtained in the calibration, and 0.53, 6.24%, and 0.69 in the validation stage. SWAT can be applied to simulate the streamflow in the river basin Catolé Grande, thus, allow for better management of water resources in the basin.

Keywords: Hydrological Modeling, Water Resources Management, Sensitivity Analysis.

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência do aumento da demanda hídrica em função do crescimento populacional, fica evidenciada a importância do desenvolvimento de estratégias econômicas, sociais e políticas que promovam o uso sustentável da água em bacias hidrográficas ao redor do mundo (FUKUNAGA *et al.*, 2015). Estas estratégias devem compor a gestão dos recursos hídricos e devem estar alicerçadas no gerenciamento preditivo e integrado em nível de bacia hidrográfica.

Para a gestão adequada dos recursos hídricos, são necessárias bases de dados confiáveis, que, por vezes, são insuficientes ou inexistentes, refletindo apenas informações inerentes ao local de medição e não abrangendo toda a bacia hidrográfica (BRESSIANI *et al.*, 2015). Para obtenção de informações bem desenvolvidas referentes aos recursos hídricos, é necessária a utilização de ferramentas eficientes e confiáveis.

Os modelos hidrológicos são ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos, pois permitem a obtenção de informações a tempo de prever impactos oriundos da mudança do uso do solo na hidrologia de uma bacia (PEREIRA, 2014; FUKUNAGA *et al.*, 2015). Devido ao aspecto interativo do seu uso e da capacidade de realizar simulações a longo prazo, tais ferramentas apresentam grande potencial para gerar economia de tempo e recursos (MORIASI *et al.*, 2007).

O modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) tem sido utilizado por órgãos governamentais, empresas privadas e pesquisadores para auxiliar na tomada de decisões sobre recursos hídricos em diversas regiões do mundo, como no nordeste do Brasil (BRESSIANI *et al.*, 2015), sudeste (PEREIRA, 2014) e demais regiões do país (LIMA *et al.*, 2014). O modelo permite a realização de simulações de vazão, produção de sedimentos, qualidade de água, entre outras aplicações.

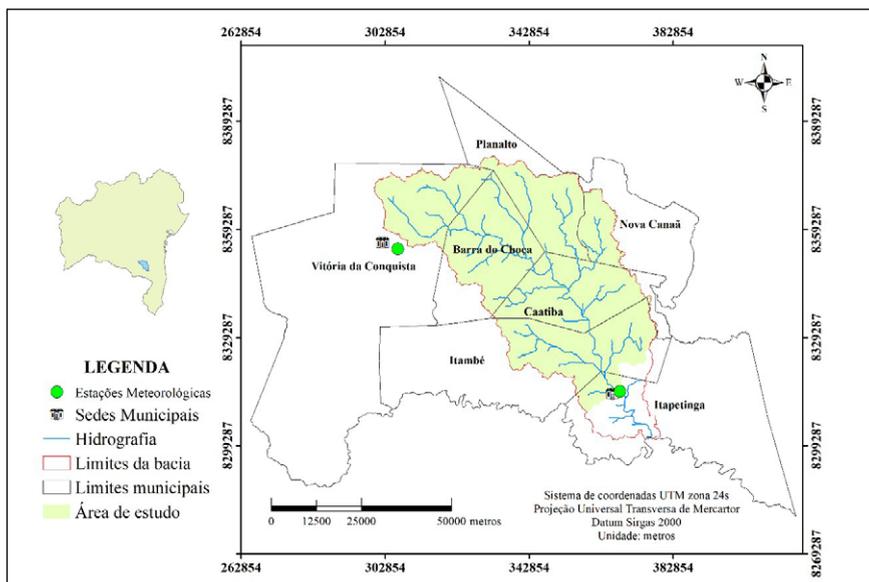
Na bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, são desenvolvidas atividades econômicas fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico do sudoeste da Bahia, tais como pecuária e agricultura. Apesar da importância, ainda carece de estudos que auxiliem no gerenciamento e tomada de decisões na gestão da bacia hidrográfica.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de aplicação do modelo hidrológico SWAT na estimativa da vazão, em escala de tempo mensal, da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, na região sudoeste da Bahia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande (77782) é uma sub-bacia do rio Pardo. Pertencente à região hidrográfica do Atlântico Leste, está inserida entre os meridianos 299594 e 379492 m e paralelos 8300891 e 8379536 m na projeção UTM, zona 24 e referencial geodésico sirgas 2000 (Figura 1). O rio Catolé está localizado no nordeste brasileiro, na região sudoeste do estado da Bahia, cuja nascente está situada na região do Planalto da Conquista.

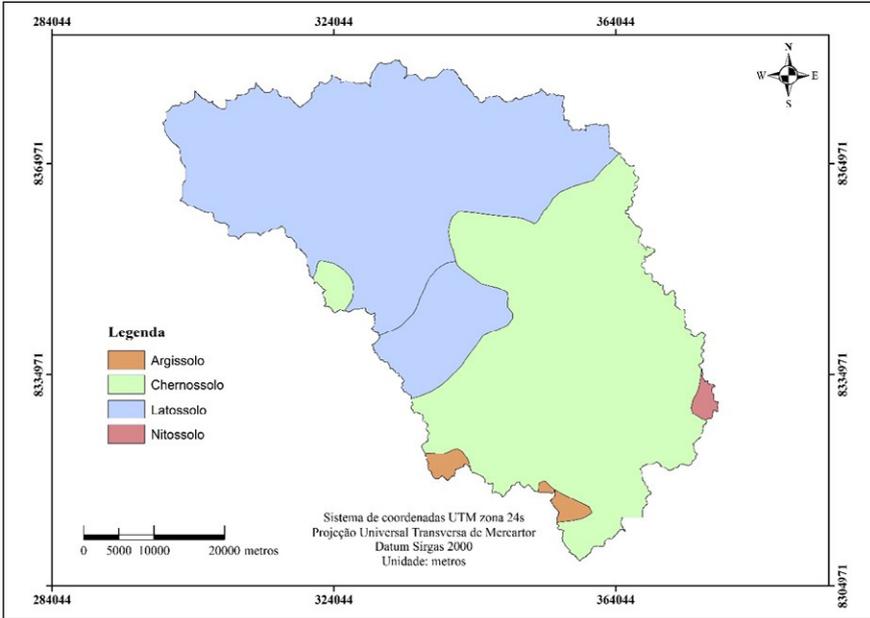
Figura 1 - Localização da área de estudo, rio Catolé Grande, sub-bacia do rio Pardo, Bahia, Brasil



Com 2.884,14 km², a área de estudo não abrangeu a totalidade da bacia hidrográfica do Catolé devido à localização da estação de monitoramento de vazão não coincidir com o exultório. Assim, a área de estudo drena cerca de 91,7% da bacia hidrográfica do Catolé (Figura 1).

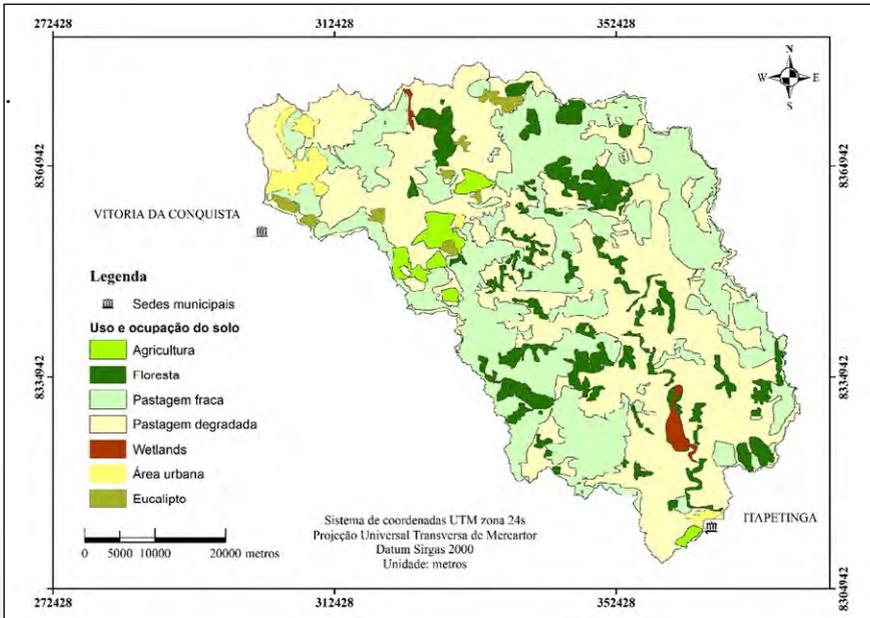
A partir do levantamento dos solos realizado pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), Landau, Resende e Novaes (2003) apresentam a ocorrência de 51,52% de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, 46,76% de Chernossolo Argilúvico Órtico, 1,22% de Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Abrupto e 0,50% de Nitossolo Háplico Eutrófico Férrico Saprolítico (Figura 2) O uso e a ocupação do solo na área de estudo (Figura 3) são caracterizados pela predominância de pastagem com a presença de áreas agrícolas e remanescentes de Mata Atlântica.

Figura 2 - Mapa de tipo de solos da área da bacia do Rio Catolé Grande



Fonte: Adaptado de Landau, Resende e Novaes (2003).

Figura 3 - Mapa de uso do solo da bacia do rio Catolé Grande



2.1 MODELO SWAT

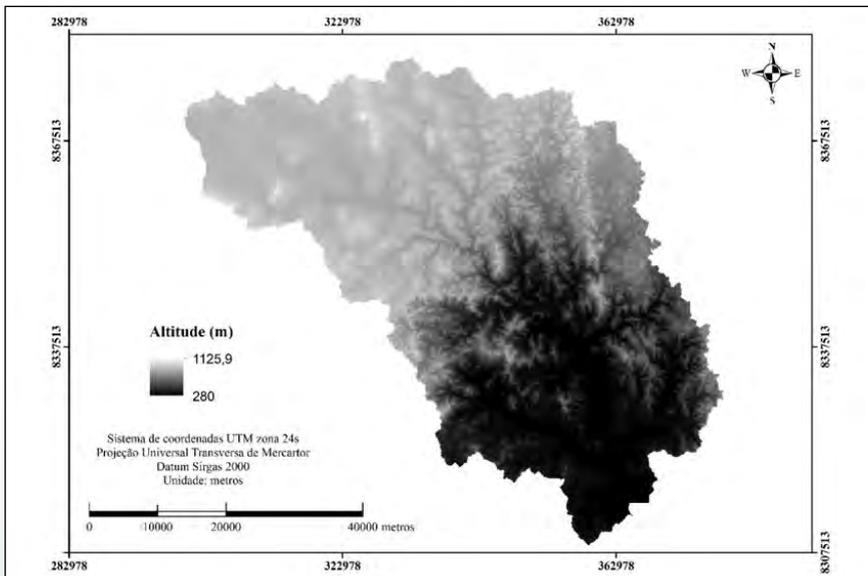
Trata-se de um modelo semiconceitual, contínuo no tempo e que permite análise dos processos hidrológicos em escala diária, subdiária e mensal em bacias hidrográficas por meio de parâmetros espacialmente distribuídos. Entre as diversas aplicações do modelo, pode-se citar simulação de vazão, escoamento superficial, escoamento subsuperficial, escoamento de base, produção de sedimentos, movimento de nutrientes e qualidade de água (GASSMAN *et al.*, 2007; CIBIN; SUDHEER; CHAUBEY, 2010).

A base da modelagem realizada por meio do SWAT está fundamentada na Equação 1 do balanço hídrico (NEITSCH *et al.*, 2004):

$$sw_t - sw_{(0)} + \sum_{i=0}^t (R_{dia(i)} - Q_{sup(i)} - E_{a(i)} - W_{solo(i)} - Q_{sub(i)}) \quad (Eq. 1)$$

Em que: sw_t = Lâmina final de água no solo, mm; sw_0 = Lâmina inicial de água no solo no dia i , mm; t = Tempo, dias; $R_{(i)}$ = Lâmina de chuva no dia i , mm; $Q_{sup(i)}$ = Lâmina de escoamento superficial para o dia i , mm; $E_{a(i)}$ = Lâmina de água evapotranspirada para o dia i , mm; $W_{solo(i)}$ = Lâmina de água entrando nas zonas insaturada do solo no dia i , mm; e $Q_{sub(i)}$ = Parcela da vazão no canal oriunda do escoamento subterrâneo para o dia i , mm.

Figura 4 - Mapa de elevação, pelo Modelo Digital de Elevação (MDE), da bacia do rio Catolé Grande



A simulação utilizando o SWAT é realizada de forma integrada com programas de SIG, sendo o ArcGIS 9.1 utilizado neste trabalho para tal finalidade. Os dados de entrada requeridos pelo SWAT são as informações referentes ao relevo, tipo de solo e vegetação, na forma de mapas temáticos (Figuras 2, 3 e 4) e dados climáticos (CIBIN; SUDHEER; CHAUBEY, 2010; DURÃES; MELLO; NAGHETTINI, 2011).

O mapa com a distribuição espacial das classes de solo (Figura 2) foi recortado para a bacia em estudo a partir da classificação realizada pela CEPLAC e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (EMBRAPA, 2006). O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 3) foi gerado no ArcGIS 10.0 a partir de imagens de satélite Landsat 5, datadas de 26 de setembro de 2007, com resolução de 30m, utilizando a técnica da classificação supervisionada com o auxílio do ArcMap. Os dados físico-hídricos dos solos e inerentes à vegetação foram obtidos a partir de levantamento bibliográfico e levantamentos realizados em campo.

As informações do relevo foram fornecidas ao SWAT por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 4) com resolução espacial de 30m produzido a partir de imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que foram disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2015). A partir do MDE, utilizando como critério a área de drenagem, a área de estudo foi subdividida em 7 sub-bacias.

Para cada sub-bacia, as informações de declividade, tipo, uso e ocupação do solo foram utilizadas para criação das Unidades de Resposta Hidrológica (HRU). Como critério para criação das HRU, foram consideradas apenas classes de declividade, tipo, uso e ocupação do solo que ocorressem em, no mínimo, 7% da área da sub-bacia.

Os dados climáticos utilizados no SWAT são a precipitação pluvial (mm), radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), velocidade do vento (m.s^{-1}), umidade relativa do ar e temperaturas máximas e mínimas do ar ($^{\circ}\text{C}$). Esses dados foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015) (OMM 83344) e pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2015) (1540016) para o período compreendido entre janeiro de 1997 a dezembro de 2005 em escala diária. As estações meteorológicas das quais os dados foram extraídos estão localizadas nas cidades de Itapetinga e Vitória da Conquista, ambas no estado da Bahia.

Conforme Neitsch *et al.* (2004), a evapotranspiração pode ser computada no SWAT utilizando os métodos de Priestley e Taylor ou Hargreaves, enquanto que a estimativa do escoamento superficial foi performada utilizando o método da

Curva Número SCS ou Green-Ampt. Devido à disponibilidade de dados, optou-se pela utilização do método proposto por Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) e a Curva Número SCS para estimar a evapotranspiração e o escoamento superficial, respectivamente.

2.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, CALIBRAÇÃO, VALIDAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO EM ESCALA MENSAL

Devido à complexidade e à grande quantidade de parâmetros calibráveis envolvidos na modelagem utilizando o SWAT, é necessário realizar a análise de sensibilidade para definir os parâmetros de maior influência na simulação da vazão. Para tal procedimento, foi utilizado o algoritmo LH-OAT disponível no próprio SWAT, versão 2005.

A hierarquização dos parâmetros foi realizada a partir do resultado do índice de sensibilidade, utilizando os critérios apresentados por Lenhart *et al.* (2002). As classes e respectivas faixas de sensibilidade estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação de sensibilidade dos parâmetros

Classe	Índice de sensibilidade (Si)	Sensibilidade
I	$0,00 \leq Si < 0,05$	Baixa ou Desprezível
II	$0,05 \leq Si < 0,20$	Média
III	$0,20 \leq Si < 1,00$	Alta
IV	$1,00 \leq Si$	Muito Alta

Neste trabalho, a calibração do modelo foi realizada de forma automática, utilizando a técnica Parasol, a qual combina o algoritmo SCE-UA com a função objetivo Soma do Quadrado do Resíduo (SQR). O período utilizado na calibração do modelo abrange de janeiro de 2003 a dezembro de 2005. Para redução de incertezas e instabilidades do modelo, no início da modelagem, os dados do ano de 2002 não foram considerados para cálculo dos coeficientes, sendo este período denominado de aquecimento do modelo (NEITSCH *et al.*, 2004). Para validar o modelo, foi utilizado o período de janeiro de 1997 a dezembro de 2000. Tanto a calibração quanto a validação do modelo foram realizadas em escala mensal.

A série histórica de dados diários de vazão observada, que foi utilizada neste trabalho, refere-se à estação n° 53.780.000, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA) e está localizada no município de Itapetinga-BA.

A avaliação da eficiência do modelo foi realizada utilizando valores da vazão observada (Q_o), simulada (Q_s) e média da observada (Q_m) para cálculo do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliff (NASH; SUTCLIFF, 1970) (NSE), percentual de viés (Pbias) e erro padrão médio normalizado (RSR), conforme equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_m)^2} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Pbias = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_s)}{\sum_{i=1}^n Q_o} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$RSR = \frac{RMSE}{DV_o} = \frac{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2} \right]}{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2} \right]} \quad (\text{Eq. 4})$$

Para avaliar o desempenho do modelo, foram adotados os critérios propostos por Moriasi *et al.* (2007) (Tabela 2). Estes critérios também foram utilizados por diversos autores (ARAGÃO *et al.*, 2013; FUKUNAGA *et al.*, 2015).

Tabela 2 - Classificação do modelo conforme valores dos coeficientes estatísticos

Desempenho	NSE	Pbias (%)	RSR
Muito bom	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$ Pbias \leq \pm 10$	$0,00 \leq RSR \leq 0,50$
Bom	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 < Pbias \leq \pm 15$	$0,50 < RSR \leq 0,60$
Satisfatório	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$\pm 15 < Pbias \leq \pm 25$	$0,60 < RSR \leq 0,70$
Insatisfatório	$NSE \leq 0,50$	$ Pbias \leq \pm 25$	$RSR \leq 0,70$

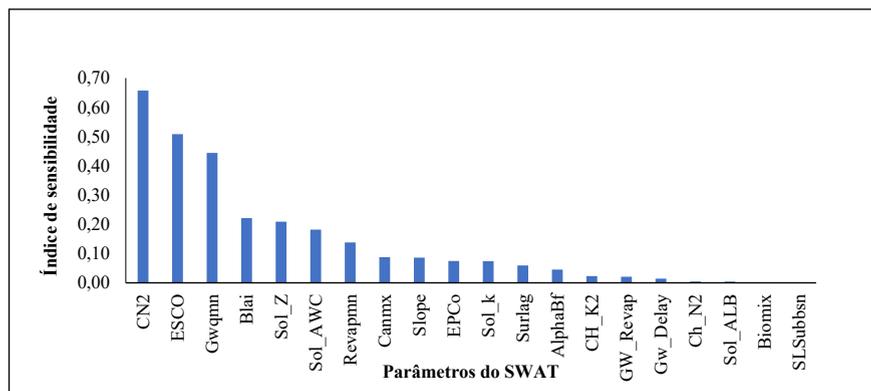
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os valores médios dos índices de sensibilidade dos parâmetros estão apresentados na Figura 5. Os parâmetros Curva número para a condição de umidade antecedente II (CN2), fator de compensação da evaporação da água do solo (Esco), nível limite de água no aquífero raso para ocorrer fluxo de base (Gw-qmn), Índice de área foliar máximo (Blai) e Profundidade da camada do solo

(Sol_z) apresentaram alta sensibilidade ($0,20 \leq S_i \leq 1,00$) na modelagem da vazão, de acordo com os critérios propostos por Lenhart *et al.* (2002).

Figura 5 - Resultado da análise de sensibilidade para os parâmetros do SWAT



O CN2 foi o parâmetro de maior influência na modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, assim como encontrado nos trabalhos realizados por Lelis *et al.* (2012) e Aragão *et al.* (2013), no Ribeirão São Bartolomeu e no Rio Japarutuba Mirim, respectivamente. A maior sensibilidade CN2 pode estar associada à variabilidade sazonal na cobertura do solo na bacia hidrográfica do Catolé Grande, principalmente nas áreas com ocorrência de pastagem. Segundo Pruski, Rodrigues e Silva (2001), esta variação afeta diretamente o escoamento superficial devido às alterações no nível de interceptação das gotas de chuva e rugosidade da superfície do solo, fatores que influenciam a estimativa desta variável pelo método da curva número.

Ao longo do ano, o nível de cobertura da pastagem pode variar em decorrência das características climáticas da região, podendo alternar maior cobertura do solo e índice de área foliar em épocas com maiores índices pluviométricos e menor cobertura do solo, com perda de folhas e, em situações mais extremas, morte das plantas em períodos secos (ZANCHI *et al.*, 2009).

O parâmetro Esco é responsável por ajustar a demanda evaporativa da água do solo. Sua sensibilidade foi resultante da influência da variabilidade climática da região. De acordo com Li *et al.* (2009), regiões com variação climática bastante ampla, confrontando períodos chuvosos com períodos bastante secos, ao mesmo tempo em que possuem elevado fotoperíodo, apresentam alta variação na evapotranspiração potencial durante os meses do ano. Desta forma, a variabilidade das taxas evapotranspirométricas, ao longo do ano, pode justificar a

elevada sensibilidade do Esco na simulação performada na bacia hidrográfica do Catolé Grande, uma vez que o modelo tende a utilizar estes parâmetros para aumentar a retirada de água do perfil do solo como forma de compensação da lâmina hídrica evapotranspirada.

O Gwqmn foi o terceiro parâmetro com maior influência na variável de saída do modelo, com índice de sensibilidade de 0,44. Este parâmetro representa o nível mínimo de água no aquífero para que ocorra a contribuição do fluxo de base na vazão do canal principal.

A sensibilidade do SWAT com relação ao Gwqmn pode ser atribuída às diferenças climáticas e geológicas entre as regiões da cabeceira e aquelas próximas à seção de controle. A área mais à montante, na qual há predominância de Latossolos e relevo plano, favorece o processo de infiltração e, consequentemente, uma maior contribuição do escoamento subterrâneo no fluxo total do canal. Por sua vez, as sub-bacias próximas à seção de controle são ocupadas principalmente por solos mais rasos e com condutividade hidráulica inferior aos Latossolos, o que reduz a influência do escoamento subterrâneo no canal.

Além desses aspectos, tem-se a ocorrência de maiores declividades e o efeito orográfico que afeta a precipitação na região central da bacia (Figura 4). Essa heterogeneidade da bacia acarreta principalmente na profundidade do lençol freático. A contribuição do escoamento subterrâneo é o principal fator para a sensibilidade do Gwqmn. Outros estudos, como o de Aragão *et al.* (2013), associaram a sensibilidade do Gwqmn à variabilidade geológica e climática na bacia hidrográfica do Japarutuba Mirim, o que afetava fortemente o aporte da água subterrânea no fluxo do canal.

O Blai representa o índice de área foliar máximo das plantas, sendo que, quanto maior seu valor, maior a lâmina precipitada que ficará retida no dossel e maior a evapotranspiração. Uma vez que este parâmetro afeta as abstrações iniciais consideradas no método da Curva Número e na evapotranspiração, esperava-se que a vazão simulada pelo modelo fosse influenciada pelo Blai.

Por sua vez, o Sol_z é a profundidade do perfil do solo e afeta a quantidade de água armazenada e o tempo de redistribuição, sendo importante para o abastecimento do lençol freático e a evapotranspiração. Assim como afirmam Aragão *et al.* (2013), a sensibilidade do modelo a este parâmetro evidencia a importância de dados relativos ao solo com elevada confiabilidade.

Os demais parâmetros aos quais o modelo apresentou sensibilidade foram: Sol_awc, Revapmn, Canmx, Slope, Epc, Sol_K, Surlag, Alpha_bf, CH_k2, GW_

revap, Gw_delay, CH_N2, Sol_alb e Biomix. A ordem foi a de maior para menor índice médio de sensibilidade.

3.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

Após a realização da análise de sensibilidade, optou-se por calibrar os 20 parâmetros, haja vista que o modelo apresentou média ou alta sensibilidade a 80% destes. Esta opção foi possível devido à eficiência da calibração automática. Os valores para os parâmetros calibrados estão apresentados na Tabela 3.

Entre os valores calibrados (Tabela 3), destaca-se a redução de aproximadamente 24% no valor do CN2. Este resultado destaca a tentativa do ajuste dos parâmetros em aumentar a infiltração da água no solo e reduzir as vazões de pico. Parâmetros relacionados com a declividade e o comprimento de rampa da sub-bacia, tais como Slope e Slsbsbn, apontam para a tentativa do modelo em representar o gradiente topográfico da área de estudo.

Outro aspecto importante é o MDE obtido por imagens SRTM, as quais não estão isentas de ruídos e podem não ser tão precisas quanto o levantamento topográfico *in situ*. A variação percentual nos valores dos parâmetros de solo (Sol_k, Sol_awc e Sol_z) pode ser explicada a partir da variabilidade espacial dessas características do solo. Assim, a calibração automática performada busca obter a configuração que melhor representa a bacia. O uso da variação percentual no valor do parâmetro garante diferenças edáficas entre as diferentes classes de solo, uma vez que a variação foi aplicada sobre os valores absolutos.

Os valores das vazões médias mensais simuladas e observadas para o período de calibração foram, respectivamente, 12,13 e 12,78 m³ s⁻¹. Para a validação, temos as vazões médias simuladas e observadas respectivamente, 11,59 e 12,36 m³ s⁻¹. Em média, o modelo subestimou a vazão tanto para o período de calibração quanto para a validação em torno de 5 e 6%, respectivamente. Estes valores apontam que o ajuste do modelo permite estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande.

Os coeficientes NSE, Pbias e RSR obtidos para a simulação da vazão foram, respectivamente, 0,54, 5,13% e 0,68, na calibração, e 0,53, 6,24% e 0,69, na etapa de validação. O único coeficiente que não apresentou melhora foi o NSE, o que pode ser explicado pela maior quantidade de picos de vazão no período de validação, uma vez que o NSE acaba sendo mais sensível aos picos por utilizar a vazão observada média.

A partir dos coeficientes estatísticos NSE e RSR, pode-se classificar o ajuste como satisfatório, enquanto que, para o Pbias, o ajuste é considerado muito bom para os períodos de calibração e validação, de acordo com os critérios apresentados por Moriasi *et al.* (2007).

Tabela 3 - Valores limites e calibrados para os respectivos parâmetros

Parâmetro	valor ajustado	limite mínimo	limite máximo	Parâmetro	valor ajustado	limite mínimo	limite máximo
Alpha_bf	0,01	0,00	0,05	CN2*	-24,21%	35,00	98,00
Biomix	0,57	0,00	1,00	Sol_alb*	-12,08%	-	-
Blai	0,48	0,00	8,00	Sol_awc*	16,73%	-	-
Canmx	0,54	0,00	10,00	Sol_k*	-13,31%	-	-
Ch_k2	0,35	0,00	25,00	Slope*	-22,98%	-	-
Ch_N2	0,02	0,01	0,06	Ssubbsn*	-7,32%	-	-
Epc0	0,73	0,01	1,00	Sol_z*	-13,19%	-	-
Surlag	9,45	0,05	24,00	Revapmn	-80,30	0,00	500,00
Esco	0,27	0,01	1,00	Gw_delay	2,35	10,00	120,00
Gw_Revap	0,03	0,02	0,20	Gwqmn	924,57	0,00	5000,00

Nota: (*) o resultado obtido representa o aumento ou redução percentual dos valores padrões na base de dados.

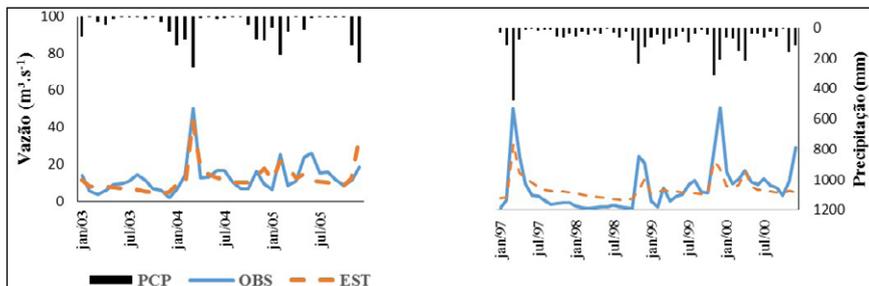
Analisando a vazão na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, localizado em Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais, em uma área de clima tropical e com a maior cobertura do solo representada por pastagem, Lelis *et al.* (2012) encontraram um NSE de 0,97, considerando-o satisfatório. Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013) obtiveram NSE de 0,82 para simulações de vazões mensais na bacia do Ribeirão Concórdia, atribuindo como satisfatório o ajuste do modelo.

Avaliando o impacto da aplicação de práticas agrícolas sustentáveis na bacia de Vouga, em Portugal, os pesquisadores Rocha, Roeveling e Rial-Rivas (2015) obtiveram um Pbias médio de 17,1% para as cinco estações utilizadas na calibração da vazão em escala diária, considerando o resultado como satisfatório. Li *et al.* (2009) avaliaram os impactos da mudança do uso do solo e da variabilidade climática na hidrologia superficial em uma bacia do planalto de Loess, na China, obtendo, para o Percentual de viés, 4,0 e 2,5%, na calibração e na validação da vazão, respectivamente, e 0,36 para RSR na calibração e validação.

Os resultados apenas satisfatórios para NSE e RSR podem ser explicados pela limitação do modelo em simular bacias hidrográficas com as características climáticas do Rio Catolé Grande, que se caracteriza pela variabilidade temporal das chuvas (CIRILO, 2008). A simulação da vazão em regiões semiáridas tende a ser mais sensível que em áreas úmidas, reduzindo a capacidade do modelo em representar tal variação.

Por meio dos hidrogramas mensais apresentados nas Figuras 6A e 6B, observa-se que, de forma geral, o modelo tende a superestimar a vazão em períodos com chuvas de baixa intensidade e a subestimar quando ocorrem picos de precipitação.

Figura 6 - Hidrograma e hietograma para período de Calibração (A) Hidrograma e hietograma para período de Validação (B)



Na bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, o ano hidrológico tem início em julho e termina em junho do ano seguinte, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mês mais seco. O ano hidrológico 97/98 foi atípico, caracterizado por baixa lâmina precipitada em todos os meses, dificultando o ajuste do modelo para simular a vazão nessa bacia. Resultou em valores superestimado e em coeficientes estatísticos satisfatórios.

Durante os períodos de calibração e validação, o maior pico de vazão observado foi registrado no mês de dezembro de 1999, com magnitude de $56,36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto o simulado subestimou este evento em 60%. Por sua vez, a mínima vazão observada foi de $0,79 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a simulada foi de $7,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para o mês de março de 1998.

4 CONCLUSÕES

1. O modelo SWAT apresenta maior sensibilidade aos parâmetros CN2, Esco e Gwqmn para a simulação da vazão na bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande.
2. O ajuste do modelo para simulação da vazão na bacia do Rio Catolé Grande pode ser considerado satisfatório com base nos coeficientes estatísticos utilizados.
3. O SWAT se apresentou como ferramenta capaz de auxiliar na gestão da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, podendo ser utilizado para outras aplicações a partir da calibração e validação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **HIDROWEB**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 1 março de 2015.
- ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 37, p. 1091-1102, 2013.
- BRESSIANI, D. A.; GASSMÁN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, p. 1-27, 2015.
- CIBIN, R.; SUDHEER, K. P.; CHAUBEY, I. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. **Hydrologic Process**, v. 24, p. 1133-1148, 2010.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, v. 63, p. 61-81, 2008.
- DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.; NAGHETTINI, M. Applicability of the SWAT model for hydrologic simulation in Paraopeba river basin, MG. **Cerne**, v. 17, p. 481-488, 2011.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos da região Sudeste da Bahia**: atualização da legenda de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2006.
- FUKUNAGA, D. C.; CECLÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **Catena**, v. 125, p. 206-213, 2015.
- GASSMAN, P. W.; REYES, M. R., GREEN, C. H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment tool: historical development, applications and future research directions. **American Society of Agricultural Biological Engineers**, v. 50, p. 1211-1250, 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS (BDMEP)**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 1 março de 2015.
- LANDAU, E. C.; RESENDE, N. A. T.; NOVAES, L. A. D. Pedologia do Sudeste da Bahia, Brasil (mapa em formato digital, adaptado a partir de CEPLAC & IICA, 1975), escala 1:750.000. In: PRADO, P. I.; LANDAU, E. C.; MOURA, R. T.; PINTO, L. P. S.; FONSECA, G. A. B.; ALGER, K. (Orgs.). **Corredor de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Ilhéus: IESB/CI/CABS/UFMG/UNICAMP, 2003. CD-ROM.
- LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; LIMAS, D. C.; ROCHA, E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 36, p. 623-634, 2012.

LENHART, T.; ECKHARDT, K.; FOHRER, N.; FREDE, H. G. Comparisons of two approaches of sensitivity analysis. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, p. 645-654, 2002.

LI, Z.; LIU, W.; ZHANG, X.; ZHENG, F. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1-2, p. 35-42, out. 2009.

LIMA, J. E. F. W.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A. KOIDE, S. Revista Brasileira de Geografia Física Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, p. 1187-1195, 2014.

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symposium of the Society for Experimental Biology**, London, v.19, p.205-234, 1965.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the Asabe**, v. 50, p. 885-900, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970. NASH; SUTCLIFF, 1970

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool**. Input/output file documentation: Version 2005. Temple, Texas: Blackland Research Center; Agricultural Experiment Station, 2004.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia-SC. **Revista Árvore**, v. 37, p. 859-869, 2013.

PEREIRA, D. R.; MARTINEZ, M. A.; ALMEIRA, A. Q.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ZONTA, J. H. Hydrological simulation using SWAT model in headwater basin in Southeast Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 789-799, 2014.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

ROCHA, J.; ROEVELING, P.; RIAL-RIVAS, M. E. Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. **Science of the Total Environment**, v. 536, p. 48-58, 2015.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 1 março de 2015.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. J. G.; RANDOW, C. V.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335-347, 2009.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PELA LARVA DA MOSCA SOLDADO NEGRA

THAINÁ R. CRUZ
KRIZIA C. ANDRADE
JOAN S. MATOS
EMANOELLE W. S. LIMA,
JOSÉ A. ALMEIDA NETO

RESUMO

A gestão de resíduos orgânicos no Brasil enfrenta desafios relacionados ao manejo desses materiais, bem como quanto ao potencial de geração de impactos ambientais negativos. Dentre as práticas de gestão, as que buscam a valorização dos resíduos orgânicos se apresentam como vantajosas, sob o ponto de vista econômico e ambiental, oferecendo duplo benefício: eliminando a carga orgânica destinada aos aterros sanitários e recuperando seu potencial nutricional e energético para outros usos. Nesse contexto, o uso da larva da mosca soldado negra (LMSN) (*Hermetia illucens*) tem despertado interesse como um método promissor de valorização, devido a sua capacidade de reaproveitamento dos resíduos orgânicos como matéria-prima para a geração de coprodutos relacionados à produção de energia, nutrição animal e vegetal e de substâncias bioativas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão de literatura sobre a geração de resíduos orgânicos, a bioconversão de resíduos usando a LMSN e a avaliação ambiental do processo. Essa revisão trouxe uma visão geral sobre a problemática dos resíduos no Brasil, mostrando como a geração desses resíduos aumentou nos últimos anos e como seu manejo adequado se encontra de forma precária, sendo, em boa parte, dispostos em lixões e aterros controlados. De acordo com a literatura estudada, foi possível identificar várias vantagens do processo de bioconversão, que incluem a alta capacidade e eficiência de degradar uma variedade de resíduos, além de produzir uma biomassa de larvas, rica em proteína e gordura, utilizada na produção de ração animal e biodiesel e o resíduo tratado, rico em nutrientes, utilizado como biofertilizante. Já com relação à avaliação ambiental do processo, os estudos refletiram o bom desempenho ambiental da bioconversão e como a Avaliação do Ciclo de Vida é importante para proporcionar uma visão geral do perfil ambiental e a identificação de oportunidades de melhoria do processo.

Palavras-chave: Mosca soldado negra, Impactos ambientais, ACV, bio-produtos



ABSTRACT

The management of organic waste in Brazil faces challenges related to the handling of these materials, and its potential to generate environmental impacts. Among the management practices, from the point of view of the economy and environmental, those who seek the valorization of waste are presented as beneficial and offers a double benefit: eliminating the load destined to landfills and recovering its potential nutritional and potential energy for other uses. In this context, the use of the black soldier fly larva (LMSN) (*Hermetia illucens*) has aroused interest as a valorization method, due to its ability to reuse waste as a raw material for the generation of the coproducts related to energy production, animal and plant nutrition and bioactive substances. The purpose of this work is to present a literature review on the generation of organic waste, bioconversion process using LMSN and the environmental assessment of the process. This review brought an overview of the problem of waste in Brazil, showing how the generation of this waste has increased in recent years and how waste management is precarious, where most of them are disposed of in dumps and controlled landfills. According to the studied literature, it was possible to identify several advantages of the bioconversion process, which include the high capacity and efficiency to degrade a variety of waste, and produce a larvae biomass, rich in protein and fat, used in the production of animal feed and biodiesel and the treated waste, rich in nutrients, used as a biofertilizer. Regarding the environmental assessment of the process, the studies reflected the good environmental performance of the bioconversion, and how the Life Cycle Assessment is important to provide an overview of the environmental profile and identifying opportunities to improve the process.

Keywords: Black soldier fly, environmental impact, LCA, bioproducts

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos consistem em uma das maiores preocupações ambientais da atualidade. A procura por soluções para essa problemática configura um dos principais desafios encontrados por diversos segmentos do mercado, sendo necessário buscar medidas economicamente viáveis que minimizem os impactos ambientais negativos causados pelos métodos lineares atuais de produção (EMF, 2019).

A alta taxa de crescimento populacional acarreta maior demanda na produção de alimentos. Como consequência do sistema de produção adotado, ocorre uma maior geração de resíduos orgânicos. Aliado a práticas inadequadas de destinação final, esses resíduos podem conduzir a problemas ambientais (EMF, 2019).

Soluções sistêmicas ao longo da cadeia produtiva vêm sendo utilizadas com o objetivo de reduzir os impactos ambientais negativos. Com base nos princípios da economia circular, a valorização dos resíduos tem como objetivo minimizar perdas, preservar recursos naturais e manter os produtos em uso com sua total utilidade e valor durante todas as etapas do ciclo de vida (EMF, 2017).

Na busca por medidas de valorização dos resíduos orgânicos, um método promissor tem despertado interesse científico e comercial: o uso de larvas de insetos na bioconversão desses resíduos. A bioconversão pode ser entendida como um processo de transformação da matéria orgânica, através da participação de larvas de insetos, em produtos de valor agregado (ambiental e econômico) (VAN HUIS, 2020).

Nesse contexto, a valorização de resíduos usando a Larva da Mosca Soldado Negra (LMSN) (*Hermetia illucens*) tem despertado interesse como alternativa ao tratamento biológico de resíduos orgânicos de origens vegetal e animal.

O interesse na LMSN está associado a algumas características próprias desta espécie: apetite voraz, elevada eficiência na redução de resíduos orgânicos de diferentes origens (REHMAN *et al.*, 2017; GOLD *et al.*, 2018; LALANDER *et al.*, 2019), resistência às condições ambientais extremas e aceleração da redução de bactérias nocivas, como *Salmonella spp.* (LALANDER *et al.*, 2013). O processo gera dois produtos: (1) a biomassa larval, rica em proteína e gordura, utilizada na produção de ração animal e biocombustível e (2) o resíduo tratado, rico em nutrientes e estabilizado para uso como biofertilizante (SURENDRA *et al.*, 2016; SOMROO *et al.*, 2019; SETTI *et al.*, 2019).

Portanto, este estudo teve como objetivo apresentar uma revisão de literatura com as principais publicações dos últimos 10 anos sobre a bioconversão

larval de resíduos orgânicos usando a LMSN para identificar as principais vantagens e potencialidades do processo, considerando a geração e a gestão de resíduos no Brasil e a avaliação ambiental do processo.

2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Em países com alto grau de desenvolvimento, conforme há um avanço da tecnologia, surgem novas mudanças de hábitos e costumes da população. Tal cenário leva a um aumento de consumo, de geração e de diversificação das características dos resíduos orgânicos, que podem ser influenciados por diversos motivos, tais como: número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, condições climáticas e sazonais e mudanças na política econômica do país (EMF, 2019).

Em 2018, estima-se que houve a geração total de 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, equivalente ao montante de 216.629 toneladas por dia, representando um aumento de 0,82% em relação ao ano de 2017. Esse índice foi superior à taxa de crescimento populacional, de 0,40% (ABRELPE, 2019). Ainda segundo a mesma fonte, a geração *per capita* média, em 2018, foi de 1,039 kg/habitante/dia, justificada pelo aumento no consumo e consequente geração de resíduos.

Por outro lado, a gestão de resíduos orgânicos no Brasil vem enfrentando sérios problemas. Além das altas taxas de geração, o manejo adequado se encontra de forma precária. Segundo a Abrelpe (2019), 59,5% dos resíduos coletados em 2018 foram encaminhados para aterro sanitário. Em contrapartida, a disposição final inadequada, como lixão e aterro controlado, ainda tiveram participação significativa, com 23% para lixões a céu aberto e 17,5% para aterros controlados. Essa disposição inadequada acarreta em altas cargas de resíduos lançadas inadequadamente no ambiente e eleva o potencial de poluição.

A geração e a disposição final de resíduos trazem, como consequência, uma série de impactos ambientais associados. Quando dispostos no solo, sem medidas de proteção, podem causar contaminação e alteração das características físico-químicas do solo e a perda de sua biodiversidade (EMF, 2019). Durante o armazenamento e a disposição final dos resíduos, são liberados gases que podem causar odores desagradáveis e poluição atmosférica, com destaque para o metano, com impactos no clima. O descarte inadequado dos resíduos pode causar também acúmulo de matéria orgânica no solo, com proliferação de vetores e poluição visual (CÂNDIDO *et al.*, 2017; DAÍ-PRÁ *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, fica evidente a necessidade de um olhar diferenciado sobre a problemática dos resíduos orgânicos, no qual os resíduos sejam reaproveitados, gerando novos produtos, melhorando a eficiência da gestão e minimizando os impactos ambientais.

3. PROCESSO DE BIOCONVERSÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS USANDO A LARVA DA MOSCA SOLDADO NEGRA

3.1 A MOSCA SOLDADO NEGRA

A mosca da espécie *Hermetia illucens*, mais conhecida como Mosca Soldado Negra (MSN), tem sua espécie distribuída originalmente nas zonas quentes das Américas e generalizou-se no mundo por meio do transporte de mercadorias. A MSN é encontrada em ambientes que concentram resíduos em decomposição. Esses espaços funcionam como atrativo para sua oviposição e reprodução (LOHRI *et al.*, 2017).

Seu ciclo de vida é composto por 5 etapas: ovo, larva, pré-pupa, pupa e mosca adulta. Após o acasalamento, passados 2 a 4 dias, a fêmea chega a depositar cerca de 600 a 1200 ovos perto de locais que contenha resíduos em decomposição. Os ovos ficam incubando durante 4 dias antes da eclosão. Após esse período, as larvas eclodem e se desenvolvem. A pupação ocorre na sua última pele larval, pronta para o desenvolvimento da mosca, podendo esse processo durar de uma a cinco semanas (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

3.2 TECNOLOGIA DO PROCESSO

De acordo com Dortmans *et al.* (2017), o processo de bioconversão por meio da LMSN pode ser compreendido por cinco fases principais: (i) Unidade de pré-processamento de resíduos; (ii) Unidade de produção de ovos e larvas; (iii) Unidade de bioconversão/tratamento do resíduo; (iv) Unidade de separação das larvas e do resíduo tratado; (v) Unidade de pós-tratamento das larvas e do resíduo digerido.

A primeira fase, Unidade de pré-processamento de resíduos, é de fundamental importância para dar início ao processo, pois é necessário que a qualidade dos resíduos seja adequada para as larvas. Os resíduos devem ser orgânicos e biodegradáveis, sem a presença de materiais perigosos, e substâncias inorgânicas. É desejável fazer uma triagem para que todo material intruso (plástico, madeira, metais, ácidos etc.) seja descartado.

A Unidade de produção de ovos e larvas é o local onde as moscas acasalam, põem ovos, que eclodem e se transformam em larvas. Por sua vez, as larvas são alimentadas até chegarem ao estágio de pré-pupa e, depois, pupa. A partir daí, as moscas emergem novamente, dando continuidade ao ciclo de produção.

A terceira etapa, Unidade de bioconversão/tratamento do resíduo, é o processo de alimentar as larvas vindas da unidade de criação com os resíduos pré-processados.

Por sua vez, a quarta etapa é a Unidade de separação das larvas e do resíduo tratado. Passados os dias da bioconversão, as larvas param de se alimentar e procuram um lugar seguro, longe da área de deposição de resíduos. Nessa fase, as larvas atingem seu máximo peso e valor nutricional, prontas para serem colhidas e separadas do resíduo digerido.

Por fim, a Unidade de pós-tratamento das larvas e do resíduo digerido é uma unidade opcional. Nela, os dois produtos resultantes do processo de bioconversão, as larvas e o resíduo tratado, recebem um tratamento adicional. As larvas, no caso de serem usadas como fonte de alimentação animal, precisam ser higienizadas para posterior comercialização. Para tornar o resíduo digerido um composto estável e maduro, é necessário um processo adicional de estabilização, que pode ser a compostagem, a vermicompostagem ou mesmo a decomposição anaeróbia.

A bioconversão de resíduos por meio da LMSN apresenta algumas vantagens em comparação a outras alternativas de tratamento de resíduos orgânicos e, por isso, vem sendo estudada ao longo dos anos. Um dos estudos mais antigos data de 1959. Furman, Young, Catts (1959) estudaram sobre o comportamento das larvas cultivadas em esterco de aves, avaliando a eficiência das larvas em reduzir o esterco, o desenvolvimento e o crescimento das larvas. Além de obter resultados favoráveis a essa nova técnica de tratamento, observaram que, a medida que a quantidade de larvas ia aumentando, o desenvolvimento de moscas domésticas ia diminuindo, tendo como resultado adicional o controle natural da mosca doméstica (*Musca domestica*).

Como citado anteriormente, a LMSN tem alta capacidade de degradar uma variedade de resíduos orgânicos que incluem: resíduo orgânico municipal, resíduos agroindustriais, resíduos de restaurante, frutas e vegetais, lodo fecal, fezes humanas, lodo de esgoto, esterco animal. Neste ponto, apresenta vantagens com relação à compostagem, à vermicompostagem e à biodigestão, que são mais seletivas com relação aos resíduos (LOHRI *et al.*, 2017).

De acordo com a literatura estudada (Quadro 1), esses resíduos são adequados para o bom crescimento e desenvolvimento das larvas. Proporcionam maior eficiência de acordo com os parâmetros analisados e quantidades adequadas de nutrientes, além de proporcionarem altos teores de proteínas e gorduras na biomassa larval.

Quadro 1 - Relação de estudos recentes sobre bioconversão por meio da LMSN

Artigo	Tipo de resíduo	Eficiência de redução	Observações	Referências
1	Resíduo orgânico municipal	70%	O fornecimento regular e gradativo garantiu um processo eficiente de degradação pelas larvas.	Bosch et al. (2019); Lalander et al. (2019); Ewald et al. (2020)
2	Resíduos agroindustriais	60% a 75%	Resultados apontam benefícios econômicos e ambientais; O controle da umidade, aeração e tipo de substrato são necessários para maximizar o processo.	Meneguz et al. (2018); Palma et al. (2018); Bava et al. (2019); Gao et al. (2019); Parodi et al. (2020)
3	Resíduos de restaurante	60% a 70%	Controle da taxa de alimentação e da densidade larval aumentaram a eficiência do processo; Substratos com energia mais densa proporcionam larvas com maiores teores de gordura.	Bosch et al. (2019); Lalander et al. (2019); Ewald et al. (2020)
4	Resíduos de frutas e vegetais	80%	O estudo sugere avaliar os potenciais problemas relacionados à segurança alimentar.	Bosch et al. (2019); Lalander et al. (2019); Belghit et al. (2019)
5	Lodo fecal	75%	As larvas aceleraram a redução de Salmonella spp.; O estudo indica tratamento adicional ao composto.	Lalander et al. (2013); Lalander et al. (2019)
6	Fezes humanas	54%	O estudo propõe avaliar os riscos de contaminação por metais e patógenos das larvas e do composto.	Banks, Gibson, Cameron (2014); Lalander et al. (2019)
7	Lodo de esgoto	58%	As larvas apresentaram forte tolerância aos metais presentes no lodo, absorvendo grande parte em seus corpos; O estudo sugere extração de óleo das larvas para uso industrial.	Cai et al. (2018); Lalander et al. (2019)
8	Esterco animal	46% a 56%	Os resultados reforçam benefícios econômicos e ambientais no uso das larvas para produzir biodiesel e proteína; O tempo mínimo de degradação foi determinante para a redução de patógenos.	Bosch et al. (2019); Lalander et al. (2019); Rehman et al. (2017)

3.3 PRODUTOS DO PROCESSO DE BIOCONVERSÃO LARVAL

Com base na literatura até aqui abordada, o processo de tratamento de resíduos por meio da LMSN se apresenta como um meio favorável para solucionar a problemática dos resíduos orgânicos. Além disso, as larvas resultantes do processo possuem benefícios em vários aspectos, uma vez que elas degradam uma variedade de resíduos orgânicos e transformam-se em larvas ricas em proteína e gordura.

Entre os produtos gerados, a partir do processo, estão: o óleo gerado a partir da prensagem das larvas, a farinha das larvas e um biofertilizante.

O primeiro dos produtos gerados é o óleo, a partir da prensagem das larvas. O óleo contido no corpo das larvas pode ser usado como matéria-prima na produção de biodiesel. Substitui matérias-primas convencionais, reduzindo impactos no consumo de recursos naturais (NGUYEN *et al.*, 2018).

Uma aplicação mais recente para o óleo extraído da LMSN é a produção de biodiesel. De acordo com Kamarulzaman, Abdullah e Mamat (2019), com a prensagem de 100g de larvas, é possível produzir cerca de 20g de óleo. Os ácidos graxos mais dominantes foram o ácido láurico, palmítico e oleico, fazendo com que o óleo das larvas seja ideal para a produção de biodiesel de alta qualidade.

A segunda produção é a de farinha das larvas. As larvas também são ricas em proteína, servindo como ingrediente parcial ou total na alimentação de animais, como peixes e aves. Esse ingrediente pode substituir a ração animal convencional, cuja produção está associada a altos impactos ambientais (MOULA *et al.*, 2018).

De acordo com diversas pesquisas, as larvas podem ser incluídas, em várias porcentagens, nas dietas dos peixes (ZARANTONIELLO *et al.*, 2019), porcos (YU *et al.*, 2019), patos (GARIGLIO *et al.*, 2019) e codornas (ZOTTE *et al.*, 2019) sem causar malefícios no crescimento dos animais.

O biofertilizante é obtido a partir do composto degradado pelas larvas. É rico em nutrientes e pode ser utilizado para adubação e correção do solo (SETTI *et al.*, 2019).

Além das aplicações relatadas acima, o processo gera também, como co-produto, um composto resultante da degradação das larvas. Setti *et al.* (2019) avaliaram a utilização do composto final como fertilizante orgânico para o crescimento de alface e manjeriço. No geral, em uma proporção de até 20% na mistura do solo, o composto utilizado proporcionou aumento do crescimento das culturas e bom desempenho dos parâmetros foliares.

Dada à relevante eficiência e ao crescente interesse nesse processo no gerenciamento de resíduos orgânicos, faz-se necessário identificar e avaliar os aspectos e impactos ambientais do processo e sua interação com o meio ambiente. Para avaliar o desempenho ambiental, existem metodologias que proporcionam o detalhamento de cada etapa do sistema, mostrando uma visão geral do perfil ambiental do processo estudado.

Uma dessas metodologias que vem ganhando destaque nos últimos anos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Trata-se de uma técnica de gestão ambiental que avalia os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais de um produto ou processo, levando em consideração todo seu ciclo de vida (ABNT, 2009a).

De acordo com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR ISO 14.040:2009 (ABNT, 2009a) e a NBR ISO 14.044:2009 (ABNT, 2009b), a ACV pode ajudar na identificação de oportunidades de melhoria no desempenho ambiental de processos, na tomada de decisão da indústria e do governo para melhoria dos planejamentos, na seleção de indicadores ambientais relevantes, no marketing e nas rotulagens ambientais.

Um estudo de ACV pode ser realizado em quatro fases, que são interdependentes entre si, podendo uma servir para a outra. As fases são: (i) definição de objetivo e escopo, que determina a que se pretende a ACV; (ii) análise de inventário do ciclo de vida, na qual os fluxos de entradas (matéria e energia) e saídas (coprodutos, resíduos, emissões) são coletados; (iii) avaliação de impacto do ciclo de vida, que avalia a significância e a magnitude dos potenciais impactos ambientais; e, por fim, (iv) interpretação de resultados, que resulta na análise, nas conclusões e nas recomendações ao público-alvo e tomadores de decisão (ABNT, 2009).

4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS USANDO INSETOS

O método Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser facilmente usado para avaliar o desempenho ambiental do tratamento de resíduos orgânicos usando a LMSN ou mesmo para outras espécies de insetos. O Quadro 2 apresenta estudos recentes que utilizaram a ACV para avaliar a sustentabilidade do processo de bioconversão de resíduos pela LMSN e resume as principais características dos estudos de ACV.

Quadro 2 - Relação de estudos de ACV de bioconversão de resíduos orgânicos por meio de larva de insetos

Artigo	Unidade funcional	Método de avaliação de impacto	Categorias de impacto avaliadas	Referência
1	1 kg de larvas frescas e 1 kg de proteína comestível	IPCC 2007 GWP; fatores de caracterização da literatura	Potencial de aquecimento global, uso de energia fóssil, uso da terra	Ooninx e De Boer (2012)
2	1 tonelada de larvas (matéria seca)	Fatores de caracterização da literatura	Mudanças climáticas, uso de energia e da terra	Van Zanten <i>et al.</i> (2015)
3	Redução de 1 kg de esterco (matéria seca)	ReCiPe	Ocupação de terras agrícolas, uso de água e depleção de recursos fósseis	Roffeis <i>et al.</i> (2015)
4	1 kg de larva	ReCiPe IMPACT 2002 + Anal. sensibilidade	17 categorias de impacto ponto médio e 3 categorias de impacto ponto final; 15 categorias ponto médio e 4 categorias ponto final	Smetana <i>et al.</i> (2015)
5	1 tonelada de resíduos biodegradáveis	Fatores de caracterização da literatura para CML 2002	Aquecimento global, uso de energia e eutrofização	Komakech <i>et al.</i> (2015)
6	1 kg de farinha de larvas desengorduradas e secas; 1 kg de larva fresca pronta para consumo	ReCiPe IMPACT 2002 +	17 categorias de impacto ponto médio; 15 categorias ponto médio	Smetana <i>et al.</i> (2016)
7	1 tonelada de resíduo biodigerido	CML 2000 baseline; IPCC 2007 GWP	Depleção abiótica, acidificação, eutrofização, depleção do ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, oxidação fotoquímica; Potencial de aquecimento global	Salomone <i>et al.</i> (2017)
8	1 tonelada de resíduo a ser tratado	CML 2 baseline 2000	Depleção abiótica, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção do ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce, marinha e terrestre, oxidação fotoquímica	Mondello <i>et al.</i> (2017)
9	1 kg de larvas secas	-	O estudo realizou apenas a análise de inventário	Roffeis <i>et al.</i> (2017)
10	1 kg de farinha de larvas com 65% de proteína, 13% de gordura e 8% umidade	Demanda Acumulada de Energia; CML IA 2001 baseline	Demanda acumulada de energia; Mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, uso da terra	Thevenot <i>et al.</i> (2018)

(continuação – final)

Artigo	Unidade funcional	Método de avaliação de impacto	Categorias de impacto avaliadas	Referência
11	1 tonelada de resíduos orgânicos	IPCC 2013 100 a. GWP	Potencial de aquecimento global	Mertenat, Diener, Zurbrugg (2019)
12	1 kg de truta	CML 2 baseline 2000	Eutrofização, acidificação, aquecimento global, uso do solo, demanda de energia	Féon <i>et al.</i> (2019)
13	1 kg de larvas secas, 1 kg de proteína, 1 kg de gordura	ILCD 2011 Midpoint v. 03	16 categorias de ponto médio	Bava <i>et al.</i> (2019)
14	1 kg de larvas frescas	–	Aquecimento global, uso do solo, uso de energia	Bosch <i>et al.</i> (2019)
15	1 kg de fertilizante seco, 1 kg de larvas frescas, 1 kg de farelo de proteína, 1 kg de gordura da LMSN	IMPACT 2002+	15 categorias de impactos	Smetana, Schmitt, Mathys (2019)

Um dos primeiros estudos relacionados à ACV, aplicado na produção de insetos como fonte de proteína, foi publicado em 2012 por Ooninx e De Boer (2012). Os autores usaram a ACV para avaliar os impactos ambientais da produção de farinha de larvas de duas espécies de insetos, a saber: *Tenebrio molitor* e *Zophobas morioe*. Compararam os resultados obtidos com outras fontes de proteína convencional (leite, frango, porco e carne bovina). A partir desses resultados, observaram que o uso de larvas de insetos, quando comparado com fontes convencionais, produz menos emissões de gases do efeito estufa (GEE) e requer menos uso da terra. No entanto, o uso de energia foi semelhante às outras fontes, pois foi necessário aquecimento para seu desenvolvimento.

Os estudos que utilizam a abordagem da ACV estão mesclados em: avaliar a sustentabilidade do processo que usam outras espécies de insetos (VAN ZANTEN *et al.*, 2015; THEVENOT *et al.*, 2018; FÉON *et al.*, 2019); avaliar cenários de dietas das larvas (SMETANA *et al.*, 2016; BAVA *et al.*, 2019; BOSCH *et al.*, 2019); avaliar o uso das larvas para alimentação animal (SMETANA, SCHMITT, MATHYS, 2019); ou mesmo comparar proteína das larvas e proteínas convencionais (SALOMONE *et al.*, 2017); e comparar outras alternativas de tratamento de resíduos a emissões diretas do processo (ERMOLAEV, LALANDER, VINNERAS, 2019; MERTENAT, DIENER, ZURBRUGG, 2019).

Por exemplo, Van Zanten *et al.* (2015), Roffeis *et al.* (2015), Roffeis *et al.* (2017), Thevenot *et al.* (2018) e Féon *et al.* (2019) avaliaram o impacto ambiental quando larvas de moscas de várias espécies são usadas no tratamento de resíduos orgânicos. No geral, a ACV indicou que a maior parte dos impactos ambientais foi gerada pelas seguintes categorias: aquecimento global, uso do solo e uso de energia; também indicou que está relacionado principalmente pelas demandas de energia, água, infraestrutura e pela fase de degradação dos resíduos pelas larvas.

Além disso, apesar dos resultados mostrarem que houve redução de impactos na categoria uso do solo, ocorreu também um aumento nas categorias uso de energia e aquecimento global. Ainda de acordo com esses autores, a dieta de engorda das larvas foi a fase que mais contribuiu para a maioria das categorias de impacto estudadas, devido à dieta ser baseada em farinha de cereais e milho. Já a fase de extração da farinha e do óleo das larvas contribuiu mais para a categoria uso de energia, devido ao consumo de eletricidade nas etapas do processo.

Nesse mesmo contexto, Salomone *et al.* (2017), Mertenat, Diener, Zurbrugg (2019), Bava *et al.* (2019) e Bosch *et al.* (2019) empregaram a ACV na produção de LMSN para bioconversão de resíduos alimentares com o objetivo de avaliar os impactos ambientais do processo. Os autores concluíram que os maiores impactos estão relacionados às categorias de impacto uso do solo, uso de energia, depleção do ozônio, acidificação, eutrofização e aquecimento global, causados pela fase de degradação do resíduo e a fase de produção de larvas, devido ao consumo de eletricidade, seguido da fase de transporte.

Com relação ao uso de energia, os maiores impactos foram relacionados ao processo de secagem das larvas. Já com relação ao aquecimento global, a principal contribuição é a necessidade de fonte de eletricidade. As fases de criação e separação de larvas e composto foram as que mais consumiram energia. A dieta base para engorda das larvas (farelo de trigo) foi associado à maior transferência de impactos para a maioria das categorias avaliadas, devido aos impactos da produção do farelo de trigo.

Por outro lado, apesar dos impactos ambientais serem maiores em determinadas categorias, o processo pode apresentar melhor desempenho ambiental a partir de seus coprodutos e melhorias no processo.

Smetana *et al.* (2015) realizaram uma análise comparativa do desempenho ambiental de substitutos da carne de frango. Os resultados mostraram que, para todas as categorias de impactos estudadas, o menor impacto ambiental

foi para os substitutos baseado em insetos. Além disso, a produção de ração a base de larvas de insetos é 2 a 5 vezes mais sustentável quando comparada à produção de ração convencional (SMETANA *et al.*, 2016; SMETANA, SCHMITT, MATHYS, 2019). Ao comparar diferentes estratégias de tratamento de resíduos (bioconversão, compostagem, vermicompostagem, incineração, digestão anaeróbia e aterro), Komakech *et al.* (2015) e Mondello *et al.* (2017) constataram que a bioconversão usando a LMSN representa a melhor solução em termos de menores impactos ambientais em todas as categorias analisadas.

De acordo com Ermoalev, Lalander, Vinneras (2019) e Mertenat, Diener, Zurbrugg (2019), as emissões de GEE do tratamento com as larvas são 47 vezes menores que a compostagem e o potencial de aquecimento global da compostagem é o dobro do tratamento com as larvas. Além disso, a substituição da produção de farinha de peixe por farinha de larvas diminuiu o potencial de aquecimento global em aproximadamente 30%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bioconversão de resíduos orgânicos usando a LMSN possui várias vantagens. Por um lado, pode ser aplicada para minimizar a problemática da geração de resíduos orgânicos. Por outro lado, pode solucionar a crescente demanda por ração animal, substituindo-a por larvas de grande valor nutricional, promovendo a economia circular.

A presente revisão bibliográfica oferece informações sobre a geração e a gestão dos resíduos no Brasil. A gestão de resíduos orgânicos no Brasil vem enfrentando sérios problemas. Além das altas taxas de geração, o manejo adequado se encontra de forma precária. Boa parte dos resíduos coletados ainda é encaminhada para lixões e aterros controlados, acarretando em altas cargas de resíduos para esses serviços e proporcionando uma série de impactos ambientais associados.

Quando dispostos no solo, sem medidas de proteção, podem causar contaminação do solo e perda da biodiversidade, também podem tornar o solo frágil e desestruturado (EMF, 2019). Durante a decomposição dos resíduos, são liberados gases que podem causar poluição atmosférica. Consequentemente, também podem causar alteração no clima. O descarte inadequado dos resíduos pode causar também excesso de matéria orgânica no solo, além da proliferação de vetores e poluição visual (CÂNDIDO *et al.*, 2017; DAÍ-PRÁ *et al.*, 2018).

A bioconversão de resíduos orgânicos usando a LMSN possui várias vantagens. Por ser uma tecnologia simples, pode ser desenvolvida em diferentes escalas. Também pode transformar os resíduos em coprodutos com valor agregado, como biofertilizantes, gordura e proteína.

Todos os estudos que utilizam a abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida refletiram o bom desempenho ambiental do processo, a vantagem do uso das larvas como ração animal e a importância da ACV para proporcionar uma visão geral do perfil ambiental e a identificação de oportunidades de melhoria dos processos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019.

BANKS, I. J.; GIBSON, W. T.; CAMERON, M. M. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faces and their implication for improving sanitation. **Tropical Medicine and International Health**, v. 19, p. 14-22, 2014.

BAVA, L.; JUCKER, C.; GISLON, G.; LUPI, D.; SAVOLDELLI, S.; ZUCALI, M.; COLOMBINI, S. Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: influence on growth, waste reduction and environmental impact. **Animals**, v. 9, n. 6, p. 1-16, 2019.

BELGHIT, I.; LILAND, N. S.; GJESDAL, P.; BIANCAROSA, I.; MENCHETTI, E.; LI, Y.; WAAGBØ, R.; KROGDAHL, A.; LOCK, E. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 503, p. 609-619, 2019.

BOSCH, G.; VAN ZANTEN, H. H. E.; ZAMPROGNA, A.; VEENENBOS, M.; MEIJER, N. P.; VAN DER FELS-KLERX, H. J.; VAN LOON, J. J. A. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact. **Journal of Cleaner Production**, v. 222, p. 355-363, 2019.

CAI, M.; HU, R.; ZHANG, K.; MA, S.; ZHENG, L.; YU, Z.; ZHANG, J. Resistance of black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 1559-1567, 2018.

CÂNDIDO, J. B.; SOUZA, P. A.; NERES, N. G. C.; GONÇALVES, D. S.; SOUZA, P. B. Diagnóstico ambiental e análise temporal dos impactos ambientais causados por um depósito de

resíduos sólidos no município de cariri do Tocantins-TO. **Nucleus**, v. 14, n. 1, p. 125-141, 2017.

DAI-PRA, L. B.; MORAES, C. A. M.; GOMES, L. P.; MARQUES, V. M. Avaliação de ciclo de vida (ACV) aplicada à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros: uma revisão. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 7, n. 3, p. 353-364, 2018.

DORTMANS, B.; DIENER, S.; VERSTAPPEN, B.; ZURBRÜGG, C. **Black soldier fly biowaste processing: a step-by-step guide**. Dübendorf, Switzerland: Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2017, 88p.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Cidades e economia circular dos alimentos**, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**, 2017.

ERMOLAEV, E.; LALANDER, C.; VINNERAS, B. Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*. **Waste Management**, v. 96, p. 65-74, 2019.

EWALD, N.; VIDA KOVIC, A.; LANGELAND, M.; KIESSLING, A.; SAMPELS, S.; LALANDER, C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. **Waste Management**, v. 102, p. 40-47, 2020.

FÉON, S. L.; THÉVENOT, A.; MAILLARD, F.; MACOMBE, C.; FORTEAU, L.; AUBIN, J. Life Cycle Assessment of fish fed with insect meal: Case study of mealworm inclusion in trout feed, in France. **Aquaculture**, v. 500, p. 82-91, 2019.

FURMAN, D. P.; YOUNG, R. D.; CATTS, P. E. *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a factor in the natural control of *musca domestica* Linnaeus. **Journal of Economic Entomology**, v. 52, n. 4, p. 917-921, 1959.

GAO, Z.; WANG, W.; LU, X.; ZHU, F.; LIU, W.; WANG, X.; LEI, C. Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 974-980, 2019.

GARIGLIO, M.; DABBOU, S.; BIASATO, I.; CAPUCCHIO, M. T.; COLOMBINO, E.; HERNÁNDEZ, F.; MADRID, J.; MARTÍNEZ, S.; GAI, F.; CAIMI, C.; ODDON, S. B.; MENEGUZ, M.; TROCINO, A.; VINCENZI, R.; GASCO, L.; SCHIAVONE, A. Nutritional effects of the dietary inclusion of partially defatted *Hermetia illucens* larva meal in Muscovy duck. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 37, 2019.

GOLD, M.; TOMBERLIN, J. K.; DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; MATHYS, A. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: a review. **Waste Management**, v. 82, p. 302-318, 2018.

KAMARULZAMAN, M. K.; ABDULLAH, A.; MAMAT, R. Combustion, performances, and emissions characteristics of *Hermetia illucens* larvae oil in a direct injection compression ignition engine. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 41, p. 1483-1496, 2019.

KOMAKECH, A. J.; SUNDBERG, C.; JÖNSSON, H.; VINNERÅS, B. Life cycle assessment of biodegradable waste treatment systems for sub-Saharan African cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 99, p. 100-110, 2015.

LALANDER, C.; DIENER, S.; MAGRI, M. E.; ZURBRÜGG, C.; LINDSTRÖM, A.; VINNERÅS, B. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) - From a hygiene aspect. **Science of the Environment**, v. 458-460, p. 312-318, 2013.

LALANDER, C.; DIENER, S.; ZURBRUGG, C.; VINNERAS, B. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 211-219, 2019.

LOHRI, C. R.; DIENER, S.; ZABALETA, I.; MERTENAT, A.; ZURBRÜGG, C. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, p. 81-130, 2017.

MENEGUZ, M.; SCHIAVONE, A.; GAI, F.; DAMA, A.; LUSSIANA, C.; RENNA, M.; GASCO, L. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 15, p. 5776-5784, 2018.

MERTENAT, A.; DIENER, S.; ZURBRUGG, C. Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. **Waste Management**, v. 84, p. 173-181, 2019.

MONDELLO, G.; SALOMONE, R.; IOPPOLO, G.; SAIJA, G.; SPARACIA, S.; LUCCHETTI, M. C. Comparative LCA of alternative scenarios for waste treatment: the case of food waste production by the mass-retail sector. **Sustainability**, v. 9, n. 827, p. 1-18, 2017.

MOULA, N.; SCIPPO, M.; DOUNY, C.; DEGAND, G.; DAWANS, E.; CABARAUX, J.; HORNICK, J.; MEDIGO, R. C.; LEROY, P.; FRANCIS, F.; DETILLEUX, J. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 73-78, 2018.

NGUYEN, H. C.; LIANG, S.; LI, S.; SU, C.; CHIEN, C.; CHEN, Y.; HUONG, D. T. M. Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 85, p. 165-169, 2018.

OLIVEIRA, F.; DOELLE, K.; LIST, R.; O'REILLY, J. R. Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 3, n. 5, p. 147-152, 2015.

OONINCX, D. G. A. B.; DE BOER, I. J. M. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment. **PLoS ONE**, v. 7, n. 12, p. 1-5, 2012.

PALMA, L.; CEBALLOS, S. J.; JOHNSON, P. C.; NIEMEIER, D.; PITESKY, M.; VANDERGHEYNST, J. S. Cultivation of black soldier fly larvae on almond by-products: impacts of aeration and moisture on larvae growth and composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 15, p. 5893-5900, 2018.

PARODI, A.; DE BOER, I. J. M.; GERRITS, W. J. J.; VAN LOON, J. J. A.; HEETKAMP, M. J. W.; VAN SCHELT, J.; BOLHUIS, J. E.; VAN ZANTEN, H. H. E. Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing e A mass balance approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 1-9, 2020.

REHMAN, K. U.; REHMAN, A.; CAI, M.; ZHENG, L.; XIAO, X.; SOMROO, A. A.; WANG, H.; LI, W.; YU, Z.; ZHANG, J. Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 366-373, 2017.

ROFFEIS, M.; ALMEIDA, J.; WAKEFIELD, M. E.; VALADA, T. R. A.; DEVIC, E.; KONÉ, N.; KENIS, M.; NACAMBO, S.; FITCHES, E. C.; KOKO, G. K. D.; MATHIJS, E.; ACHTEN, W. M. J.; MUYS, B. Life Cycle Inventory Analysis of Prospective Insect Based Feed Production in West Africa. **Sustainability**, v. 9, p. 1-27, 2017.

ROFFEIS, M.; MUYS, B.; ALMEIDA, J.; MATHIJS, E.; ACHTEN, W. M. J.; PASTOR, B.; VELÁSQUEZ, Y.; MARTINEZ-SANCHEZ, A. I.; ROJO, S. Pig manure treatment with housefly (*Musca domestica*) rearing – an environmental life cycle assessment. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 1, n. 3, p. 195-214, 2015.

SALOMONE, R.; SAIJA, G.; MONDELLO, G.; GIANNETTO, A.; FASULO, S.; SAVASTANO, D. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 890-905, 2017.

SOMROO, A. A.; REHMAN, K. U.; ZHENG, L.; CAI, M.; XIAO, X.; HU, S.; MATHYS, A.; GOLD, M.; YU, Z.; ZHANG, J. Influence of *Lactobacillus buchneri* on soybean curd residue co-conversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for food and feedstock production. **Waste Management**, v. 86, p. 114-122, 2019.

SETTI, L.; FRANCIA, E.; PULVIRENTI, A.; GIGLIANO, S.; ZACCARDELLI, M.; PANE, C.; CARADONIA, F.; BORTOLINI, S.; MAISTRELLO, L.; RONGA, D. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), *Diptera: Stratiomyidae*) larvae processing residue in peat-based growing media. **Waste Management**, v. 95, p. 278-288, 2019.

SMETANA, S.; PALANISAMY, M.; MATHYS, A.; HEINZ, V. Sustainability of insect use for feed and food: Life cycle assessment perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 741-751, 2016.

SMETANA, S.; MATHYS, A.; KNOCH, A.; HEINZ, V. Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 1254-1267, 2015.

SMETANA, S.; SCHMITT, E.; MATHYS, A. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 144, p. 285-296, 2019.

SURENDRA, K. C.; OLIVIER, R.; TOMBERLIN, J. K.; JHA, R.; KHANAL, S. K. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. **Renewable Energy**, v. 98, p. 197-202, 2016.

THÉVENOT, A.; RIVERA, J. L.; WILFART, A.; MAILLARD, F.; HASSOUNA, M.; SENGA-KIESSE, T.; LE FÉON, S.; AUBIN, J. Mealworm meal for animal feed: Environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1260-1267, 2018.

VAN HUIS, A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 1, p. 27-44, 2020.

VAN ZANTEN, H. H. E.; MOLLENHORST, H.; OONINCX, D. G. A. B.; BIKKER, P.; MEERBURG, B. G.; DE BOER, I. J. M. From environmental nuisance to environmental opportunity: house-fly larvae convert waste to livestock feed. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 362-369, 2015.

YU, M.; LI, Z.; CHEN, W.; RONG, T.; WANG, G.; LI, J.; MA, X. Use of *Hermetia illucens* larvae as a dietary protein source: effects on growth performance, carcass traits, and meat quality in finishing pigs. **Meat Science**, v. 158, 107837, 2019.

ZARANTONIELLO, M.; RANDAZZO, B.; TRUZZI, C.; GIORGINI, E.; MARCELLUCCI, C.; VARGAS-ABÜNDEZ, J. A.; ZIMBELLI, A.; ANNIBALDI, A.; PARISI, G.; TULLI, F.; RIOLO, P.; OLIVOTTO, I. A six-months study on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) based diets in zebrafish. **Scientific Reports**, v. 9, p. 85-98, 2019.

ZOTTE, A. D.; SINGH, Y.; MICHIELS, J.; CULLERE, M. Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) as dietary source for laying quails: live performance, and egg physico-chemical quality, sensory profile and storage stability. *Animals (Basel)*, v. 9, n. 115, 2019. doi: 10.3390/ani9030115.

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA DOS BLOCOS CERÂMICOS

ALINA SILVA DE CARVALHO
HENRIQUE LEONARDO MARANDUBA
LAÍS SAMPAIO MACHADO
KELLY FÉLIX OLEGÁRIO
JOSÉ ADOLFO DE ALMEIDA NETO

RESUMO

Frente aos crescentes desafios ambientais que a sociedade vem enfrentando, a construção civil destaca-se pelo impacto associado à elevada demanda de recursos naturais, alto consumo de energia, pela geração de resíduos e emissão de gases de efeito estufa. Diante da necessidade de preservar o meio ambiente e administrar de forma mais consciente o uso de recursos naturais para as gerações futuras, tem havido uma busca por novas estratégias de gestão que visam a prevenir, minimizar e compensar os impactos ambientais negativos relacionados às atividades do setor de construção. Para que o setor desenvolva ações que resultem em uma melhoria efetiva, faz-se necessário que estas sejam subsidiadas por informações relativas ao desempenho ambiental do produto, que sejam objetivas e verificáveis. Nessa perspectiva, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) destaca-se como uma ferramenta para quantificar os impactos de produtos e identificar alternativas para melhoria do seu desempenho ambiental, contribuindo para a gestão ambiental da construção civil. No Brasil, a indústria da cerâmica vermelha, que compreende a confecção de telhas, tijolos e blocos estruturais e de vedação, representa cerca de 4,8% da indústria da construção civil e, no Nordeste, o setor é responsável por 23% da produção nacional, com uma geração de 12,2 milhões de peças em 2013. Com o objetivo de apresentar os estudos mais recentes de ACV, foi realizado um levantamento bibliográfico, o qual apontou as mais diversas formas de emissão de impactos e os processos que mais contribuiriam para cada categoria de impacto específica, sendo significativo ressaltar a eficiência dos fornos e renovação tecnológica das empresas para uma maior eficiência do consumo de recursos. Importante também destacar a necessidade de se estabelecer um banco de dados nacional mais completo para uma melhor eficácia da análise. Dessa forma, este trabalho permitiu avaliar a relevância dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos de vedação a partir da ACV.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Bloco cerâmico; Indústria Cerâmica.



ABSTRACT

In the face of growing environmental challenges that society is encountering, civil construction stands out due to the impact associated with the high demand for natural resources and energy, as well as the generation of waste and emission of greenhouse gases. In view of the need to preserve the environment and more consciously manage the use of natural resources for future generations, there has been a search for new management strategies that aim to prevent, minimize and compensate the negative environmental impacts related to the activities of the construction sector. For the sector to develop actions that result in an effective improvement, it is necessary that they are subsidized by information related to the environmental performance of the product, which is objective and verifiable. In this perspective, the Life Cycle Assessment (LCA) stands out as a tool to quantify the environmental impacts of products and to identify alternatives to improve its environmental performance, contributing to the environmental management of civil construction. In Brazil, the red ceramic industry, which comprises the making of tiles, bricks and structural and sealing blocks, represents about 4.8% of the construction industry and, in the Northeast, the sector is responsible for 23% of production national, with a production of 12.2 million pieces in 2013. In order to present the most recent LCA studies, a bibliographic survey was carried out, which pointed out as the most diverse forms of impact emission and processes that contributed the most to each specific impact category, with significant emphasis on the efficiency of the furnaces and renovation technological innovation for more efficient consumption of resources. It is also important to highlight the need to establish a more complete national database for a better analysis efficiency. In this way, this work allowed to evaluate the relevance of the environmental impacts of the production of ceramic sealing blocks from the LCA.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); Ceramic block; Ceramics Industry.

1. INTRODUÇÃO

A exaustão dos recursos naturais e as emissões de poluentes têm se tornado uma problemática cada vez mais relevante, tornando-se pauta importante nas discussões que envolvem as principais nações do mundo. Como consequência, tem-se buscado estabelecer estratégias que visem a relações comerciais que incluam não somente os aspectos econômicos e financeiros, mas também os ambientais e sociais.

O setor da construção é o maior consumidor final de energia no mundo. Somente no Brasil, esse setor é responsável por 48,5% do consumo de energia elétrica (CBCS, 2014). Além dessa problemática, com aumentos mundiais no custo de energia e o eventual esgotamento dos combustíveis fósseis, a Agência Internacional de Energia (IEA) alerta que será necessário reduzir as emissões de CO₂ provenientes do setor em 77% até o ano de 2050, para que uma mudança climática catastrófica seja evitada e o aquecimento global se mantenha abaixo de 2°C (IEA, 2014).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) identificou a construção civil como uma das áreas com maior potencial para oferecer uma redução de gases de efeito estufa (GEE) a longo prazo, podendo oferecer boa relação custo-benefício (NASSÉN *et al.*, 2012).

No Brasil, o setor da cerâmica vermelha se destaca por representar cerca de 4,8% da indústria da construção civil e 90% das alvenarias e coberturas, exibindo um quadro de 6.903 empresas, com faturamento anual superior a R\$ 18 bilhões. Este segmento é o responsável por fornecer cerca de 4 bilhões de blocos e 1,3 bilhão de telhas ao mercado consumidor (ANICER, 2014).

Segundo a *NBR 15270-3* (ABNT, 2005c), que dispõe sobre os *Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio*, os blocos cerâmicos são classificados em blocos estruturais e blocos de vedação. Os blocos estruturais são componentes de alvenaria estrutural com furos na vertical e resistência mínima de 3 Mpa. Os blocos de vedação são componentes de alvenaria de vedação com furos na horizontal e resistência mínima de 1,5 MPa, podendo compor as alvenarias externas ou internas, mas sem função de resistir outra carga além do peso próprio.

O processo de fabricação dos blocos estruturais e de vedação é descrito de forma igualitária nas *NBR 15270-1 – Componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos* (ABNT, 2005a) e *NBR*

15270-2 – *Componentes cerâmicos parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos* (ABNT, 2005b) como um produto de conformação plástica de matéria-prima argilosa, contendo ou não aditivos, e queimados em elevadas temperaturas.

O relatório do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae (2008) descreve as etapas da fabricação da cerâmica vermelha da seguinte maneira: preparação da massa (homogeneização da argila), caixão alimentador (quantifica a entrada de matéria-prima), desintegradores, misturador, laminador, extrusora ou maromba, cortador, secagem, queima, estocagem e expedição.

De acordo com Nunes e Resende (2013), pode-se verificar os seguintes impactos ambientais no sistema produtivo do setor da cerâmica vermelha: degradação das jazidas (extração de argila), consumo de energia, geração de resíduos sólidos (perdas ou falhas na qualidade dos produtos), emissões de poluentes atmosféricos e de GEE.

Diante de tal cenário, acentuou-se a preocupação em relação à necessidade de melhorar o desempenho ambiental do setor. Para isso, um método vem ganhando espaço na quantificação dos impactos ambientais das edificações, materiais e processos relacionados ao setor: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Por meio dessa ferramenta, é possível avaliar de forma holística os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um material (BASBAGILL *et al.*, 2013). De acordo com a *NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura* (ABNT, 2009), a ACV compila e avalia os fluxos mássicos e energéticos de entrada e saída, gerando uma avaliação sistemática dos impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Em outras palavras, desde a extração das matérias-primas (berço) até o destino final dos resíduos pós-uso (túmulo).

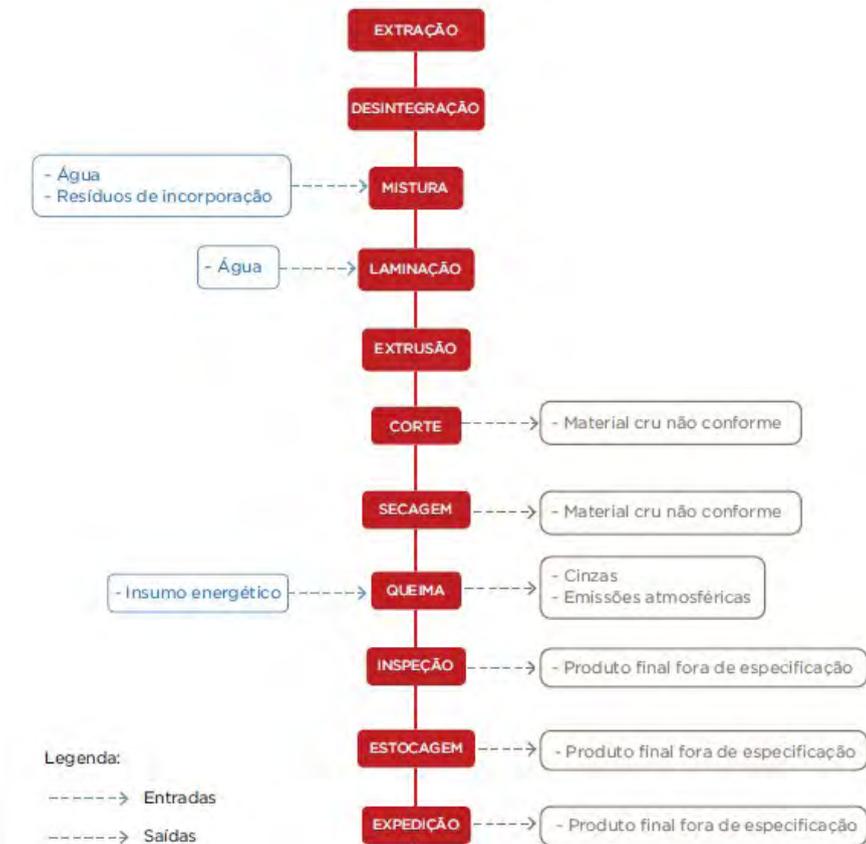
Sendo assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre os aspectos e impactos ambientais do ciclo de vida dos blocos cerâmicos, evidenciando os aspectos da fase de produção nos contextos brasileiro e internacional.

2. PROCESSO PRODUTIVO DE BLOCOS CERÂMICOS

2.1 SISTEMA DE PRODUTO

O processo produtivo dos blocos cerâmicos busca a fabricação de peças em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos pela *NBR 15270-3 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio* (ABNT, 2005c). A Figura 1 apresenta um exemplo das etapas de um processo bastante comum a empresas, havendo poucas variações.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo dos blocos cerâmicos



Fonte: Nunes e Resende (2013).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

A principal matéria-prima da produção de blocos cerâmicos é a argila. Suas qualidades estão intimamente ligadas às propriedades da argila utilizada, tais como: granulometria, plasticidade e composição mineralógica (PETRUCCI, 1979). Quando misturada com água, a argila adquire plasticidade, podendo ser manipulada e tomar a forma desejada, característica de um material terroso e fino (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006).

No Quadro 1, encontram-se as etapas relacionadas ao processo produtivo de blocos cerâmicos e sua descrição.

2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

De acordo com a norma *NBR 14001 – Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos de Gestão Ambiental* (ABNT, 2015), o conceito de aspecto ambiental está ligado aos elementos das atividades de produtos ou serviços de uma organização que podem vir a interagir com o meio ambiente. Entre os aspectos ambientais relacionados à indústria da cerâmica vermelha, os destaques são: consumo de água, degradação das áreas de extração de argila, consumo de energia, geração de resíduos sólidos, emissões de poluentes atmosféricos (NUNES; RESENDE, 2013).

2.3.1 Aspectos ambientais da extração da argila

A nível nacional, estudos mostram que existem grandes depósitos de argila para o uso na cerâmica vermelha, porém, devido à competição entre as empresas que exploram as jazidas e as restrições impostas por entidades ambientais governamentais, o acesso a essas áreas é cada vez mais restrito, podendo comprometer, a médio e longo prazos, o abastecimento de matéria-prima (TANNO; MOTTA, 2000). O estudo de Kuzma *et al.* (2016) já aponta para o processo de conscientização socioambiental quanto à temática da exploração das jazidas, tornando o consumidor mais exigente quanto à redução de impactos ambientais e à melhoria da qualidade de vida da população onde as empresas exploradoras estão envolvidas.

A extração da argila gera diversos tipos de impactos ambientais classificados principalmente como físicos, bióticos e antrópicos, tais como: poluição do ar, erosão do solo, assoreamento dos cursos d'água, emissões de ruídos, supres-

são da camada vegetal e impacto visual devido à alteração da topografia (NUNES; RESENDE, 2013).

Quadro 1 - Descrição das etapas de produção do bloco cerâmico

Etapa	Descrição
Extração	A argila é retirada a céu aberto utilizando-se de equipamentos como escavadeiras, retroescavadeiras, entre outros. De preferência, a extração não deve acontecer nos meses de forte precipitação, pois afeta as qualidades mecânicas da argila (NUNES; RESENDE, 2013; BACCELLI JUNIOR, 2010).
Preparação e Mistura	A preparação de uma massa de qualidade é essencial para a redução de perdas e melhoria do desempenho ambiental do processo. Essa etapa compreende os processos de depuração, divisão, homogeneização e obtenção da umidade adequada para a matéria-prima (NUNES; RESENDE, 2013; PETRUCCI, 1979). A argila é homogeneizada por pás carregadeiras ou retroescavadeiras. Posteriormente, é transportada para o desintegrador, onde é destorroada para que sejam quebrados os torrões de argila. Em seguida, vai para o caixão alimentador, para a realização da dosagem da quantidade necessária para a produção dos blocos (BACCELLI JUNIOR, 2010).
Laminação	A argila passa por um laminador responsável pelo direcionamento das suas partículas, sendo fundamental que o maquinário passe por uma regulagem periódica. Recomenda-se que o distanciamento das placas do último laminador seja de 2 a 3 mm. A qualidade desse laminador determina também a qualidade do produto, evitando perdas e podendo reduzir o consumo de energia na queima dos blocos (NUNES; RESENDE, 2013).
Extrusão e Corte	É na extrusora, ou maromba, que a argila é moldada, sendo compactada e forçada a passar através de um bocal com medidas pré-definidas. Cada vez mais, as tecnologias mais desenvolvidas buscam o uso de pastas mais secas, sem que haja perda de elasticidade (OLIVEIRA; MAGANHA, 2006; PETRUCCI, 1979). Realizado de forma manual ou automática, o corte proporciona as dimensões desejadas ao produto. Geralmente, as máquinas extrusoras possuem um sistema de corte automático das peças. O que confere o tamanho à peça são as boquilhas que são encaixadas na saída da extrusora (GRIGOLETTI, 2001).
Secagem	Os tipos de secagem se dividem em natural e artificial. A secagem natural é mais lenta e acontece com a exposição das peças ao ar livre, sofrendo fortes interferências das condições do ambiente, tais como: umidade do ar, temperatura ambiente, velocidade e direção dos ventos (BACCELLI JUNIOR, 2010). A secagem artificial pode ser realizada por meio de ventiladores e ar quente vindo da inserção de calor de fornos em câmaras fechadas. Esta pode ser reaproveitada do processo de queima dos blocos (SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA, 2009; BACCELLI JUNIOR, 2010).
Queima	Nesse processo, também conhecido como sinterização, muda-se a estrutura do material, transformando-o de argila plástica em cerâmica, adquirindo características de dureza, resistência mecânica, inércia química e física (PALMONARI; CARANI, 2005; OLIVEIRA; MAGANHA, 2006). Nessa etapa, ocorre a redução de porosidade e aumento da integridade mecânica do material devido à aderência das partículas de pó entre si formando uma massa mais densa. Inicialmente, a aderência ocorre entre as partículas adjacentes, acarretando a formação de poros nos interstícios que adquirem formato esférico e, conseqüentemente, reduzem a área total de superfície das partículas (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2007).

A formalização da atividade de extração é de fundamental importância, haja vista que parte dos empreendimentos opera de maneira informal, o que coloca em risco o controle e a recuperação das áreas exploradas, assim como pode, também, comprometer o próprio abastecimento das empresas de cerâmica (COELHO, 2009).

O estudo realizado por Grigoletti e Sattler (2003) mostra que empresas licenciadas para a exploração das jazidas de argila têm buscado garantir fiscalização pelos órgãos ambientais responsáveis. O órgão municipal apontou que o potencial poluidor é considerado como médio devido ao fato de a extração não atingir grandes áreas, por ser feita fora dos recursos hídricos, sem uso de explosivos e por não requerer tratamento que libere substâncias tóxicas ao meio ambiente e ao ser humano.

2.3.2 Consumo de água

O consumo de água se faz presente na etapa de preparação da massa, momento no qual a argila recebe a umidade necessária para a moldagem e a extrusão. Para Grigoletti (2001), a indústria da cerâmica vermelha usa água em pequenas quantidades, com a finalidade de hidratação da matéria-prima que, posteriormente, será evaporada na etapa de queima. Há geração de efluentes líquidos na limpeza de máquinas, porém não representa impacto expressivo.

Soares, Pereira e Breitenbach (2002) afirmam que a quantidade de água utilizada é de acordo com a função da umidade natural das argilas e sua exposição a condições ambientais de umidade (chuva). Assim, necessita de mais ou menos adição de água durante a mistura.

Nunes e Resende (2013) apontam que não há geração de efluentes líquidos no processo industrial da produção de blocos cerâmicos. Ocorre apenas os que possuem origem da lavagem de peças e máquinas, efluentes sanitários e de aspersão de vias e pátios. Segundo os autores, esses efluentes não se configuram em um grande problema.

Em contrapartida, Sarquis *et al.* (2018) indica que o consumo de água no processo produtivo é elevado (cerca de 1,0 m³/dia) e que a fonte de captação é o próprio poço da empresa.

Na Espanha, a indústria da cerâmica desenvolveu técnicas que permitem a utilização de águas residuais no processo de fabricação, o que se tornou essencial nos períodos de seca, reduzindo o consumo de água doce em 50% (ENRIQUE *et al.*, 2000).

2.3.3 Consumo energético

Para que um produto cerâmico adquira as propriedades desejadas, é necessário a aplicação de calor. Dessa forma, a indústria cerâmica faz uso de grandes quantidades de energia e de altas temperaturas em fornos e fornalhas. O custo dessa energia representa um percentual significativo do total dos custos de produção (AGRAFIOTIS; TSOUTSOS, 2001).

Sendo grande consumidor de energia, o setor da cerâmica vermelha também é responsável por forte impacto ambiental decorrente do uso intensivo de lenha. Os insumos mais utilizados são: gás natural, lenha, óleo combustível e eletricidade. No entanto, a lenha é responsável por quase 50% de todo o consumo energético do setor. Esse fator é relevante quando se leva em consideração os problemas ambientais causados por sua exploração, produção e queima, associados ao fato de que a lenha apresenta baixo rendimento energético, podendo afetar a qualidade e os padrões técnicos do produto (SEBRAE, 2008).

Conforme o *Balço Energético Nacional 2017*, divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EMPRESA..., 2017), do ano base 2016, o setor cerâmico foi responsável pelo consumo de $3,84 \times 10^3$ tep/ano de energia. Já no ano de 2016, apresentou um consumo de $4,27 \times 10^3$ tep/ano. Isso mostra um crescimento de aproximadamente 10% no consumo de energia, tendo como principal fonte energética a lenha.

O estudo de Manfredini e Sattler (2005), que avaliou o consumo energético de 18 empresas produtoras de tijolos e blocos cerâmicos, aponta que 94% da energia utilizada é referente à biomassa (lenha, serragem, cavaco, retalhos de móveis e sabugo de milho), 2,62% à energia elétrica e 3,38% ao óleo diesel.

No Nordeste brasileiro, o consumo da lenha como insumo energético está associado à degradação ambiental. Isso ocorre devido ao fato de empresas produtoras de cerâmica estarem localizadas próximas às jazidas de argila, que, geralmente, se encontram em regiões da Zona da Mata e do Semiárido e utilizam lenha da vegetação nativa. Dessa forma, a demanda por essa lenha contribui para a degradação desses ecossistemas (REINALDO FILHO; BEZERRA, 2010).

2.3.4 Geração de resíduos sólidos

O principal resíduo da produção da cerâmica é decorrente da perda de produto acabado. Ainda na fase de moldagem, o resíduo pode ser reincorporado ao processo, sem causar dano ao meio ambiente. Porém, após a queima, o material está impossibilitado de retornar ao sistema como matéria-prima. As indústrias costumam usar o resíduo como aterro dentro da própria empresa, podendo reduzir as perdas através de um controle de qualidade. Esta estratégia já vem sendo utilizada pelo setor (GRIGOLETTI, 2001; GRIGOLETTI; SATTLER, 2003).

Fica sob responsabilidade do próprio gerador o acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos. Cinzas são geradas durante a queima da biomassa (lenha, pó de serra, cavaco, entre outros) nos fornos e pode ser disposta diretamente sob o solo, pois não possui toxicidade e nem especificação de armazenagem. No caso de cinzas provenientes de carvão mineral ou outro combustível fóssil, as cinzas devem ser armazenadas em caçambas e não expostas diretamente ao solo, devido ao risco de apresentar elevado teor de enxofre e ferro (NUNES; RESENDE, 2013).

Mesmo podendo ser reinserido no processo, o material cru ainda não conformado gera custos adicionais, pois reduz a produtividade e aumenta a perda energética. Já os produtos não conformes e quebrados podem ser moídos e reutilizados no processo de assentamento do pátio da fábrica em vias de acesso, fabricação de agregados graúdos ou mesmo em conformação de quadras de saibro (NUNES; RESENDE, 2013).

2.3.5 Emissões de poluentes atmosféricos

A indústria da cerâmica vermelha utiliza-se da lenha advinda de árvores de reflorestamento ou nativas e dos resíduos de madeira (pó de serra, cavaco, entre outros) como insumos básicos para a queima de blocos. As principais emissões atreladas a essa atividade são referentes aos gases CO₂, vapor d'água e particulados como fuligens e cinzas (COELHO, 2009). Essas emissões atmosféricas ocorrem como consequência das atividades de transporte, manuseio e mistura das matérias-primas e insumos e ao uso energético para a queima. As emissões relacionadas ao transporte estão diretamente associadas às distâncias percorridas para a entrega destes insumos, uma vez que são utilizados combustíveis fósseis nos veículos de grande porte (NUNES; RESENDE, 2013).

Diversos fatores são responsáveis pelas taxas de emissão, como o tipo de combustível utilizado, o nível de controle operacional e o tipo de forno utilizado na produção da cerâmica, que interferem diretamente na eficiência energética do processo. Também existem diversas medidas a serem tomadas que podem mitigar a liberação desses poluentes. Em especial, estão relacionadas aos particulados, como adoção de cerca viva e aspersão por água (NUNES; RESENDE, 2013).

Ainda segundo Nunes e Resende (2013), é necessário que haja o monitoramento dos gases e materiais particulados liberados durante todo o processo da produção de cerâmica vermelha e todos os outros tipos de cerâmica para que seja possível avaliar a qualidade da queima, o nível de emissão e se estes estão de acordo com o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), em sua *Deliberação Normativa COPAM n. 187/2013* (COPAM, 2013), que estabelece as condições e os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, além de dar outras providências.

3. ACV DA PRODUÇÃO DE BLOCO CERÂMICO

3.1 ESTUDOS NACIONAIS

Desde o início dos anos 2000, têm surgido trabalhos nacionais voltados para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do processo de produção dos blocos cerâmicos, levando-se em consideração o fato de que há algum tipo de impacto ambiental em todas as fases da fabricação. Essa atenção aponta a relevância que os impactos ambientais gerados pela construção civil apresentam em uma sociedade que se mostra cada vez mais sensível aos aspectos ambientais de um produto, tornando-se mais necessário o cálculo e a minimização dos impactos ambientais. A seguir, serão apresentados estudos realizados no Brasil sobre a ACV de produtos da cerâmica vermelha, mais especificamente de tijolos e blocos cerâmicos.

Grigoletti (2001) apresenta um dos primeiros estudos nacionais que avalia os impactos ambientais da produção de tijolos, blocos e telhas cerâmicas. Analisando 8 indústrias do estado do Rio Grande do Sul, tem o objetivo de apontar estratégias ambientais viáveis e que já estavam sendo utilizadas pelo setor para melhorar o desempenho ambiental da indústria. Além disso, indica que o uso de lenha é positivo, pois pode ser produzida localmente, e neutro do ponto de vista da produção de gases de efeito estufa. Porém, conclui que há uma necessidade de maior controle da qualidade dos blocos a fim de evitar grandes perdas.

Com o foco em realizar um estudo comparativo dos processos produtivos de bloco cerâmico e blocos de concreto para alvenaria estrutural, considerando a metodologia do balanço de massa, Mastella (2002) apresenta um estudo limitado à fronteira da fábrica, portão a portão (*gate-to-gate*). Neste, considera como entrada dos processos o consumo de matéria-prima, água e energia e considera como saída as emissões para o ar, para o solo e para a água. No entanto, o estudo não considera as emissões provenientes da queima de biomassa. Dessa forma, não há informações acerca das emissões na secagem e queima dos blocos.

Trazendo dados experimentais sobre o inventário do ciclo de vida (ICV), Soares e Pereira (2004) coletaram dados em 4 empresas do estado de Santa Catarina (duas empresas produtoras de pisos e duas produtoras de blocos), com o intuito de fornecer informações sobre o fluxo de matéria-prima, de produto e de resíduos relacionados a pisos e blocos. O estudo concluiu que a empresa com melhor automação e uso de forno mais moderno apresenta uso da quantidade de insumos um pouco superior, porém, apresenta um consumo de energia elétrica muito inferior à empresa que utiliza forno menos eficiente e maquinário menos automatizado.

Gomes, Salgado e Hotza (2012) tiveram como objetivo principal de seu estudo identificar oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental do bloco cerâmico, considerando a perspectiva de ciclo de vida, a fim de oferecer informações aos tomadores de decisões na indústria, incluindo técnicas de *marketing* (rotulagem ambiental). Foram coletados dados primários de duas empresas produtoras de blocos cerâmicos no estado de Santa Catarina. A partir da sua caracterização, concluiu-se que a queima da serragem resultou em maior impacto negativo nas categorias analisadas.

Por meio de relatórios da produção de uma olaria de pequeno porte na cidade de Japurá- PR, Barbosa *et al.* (2012) realizaram um estudo com o objetivo de identificar as emissões dos poluentes atmosféricos e avaliar indicadores ambientais relacionados à fabricação de blocos cerâmicos. Observou-se que o uso de óleo diesel foi o que mais contribuiu nas categorias de impacto, consequência das grandes distâncias percorridas por caminhões nos transportes de argila e blocos cerâmicos prontos.

Haddad *et al.* (2013) apontaram a limitação que o Brasil apresenta acerca da base de dados de ACV, levando-se em consideração a realidade nacional. Dessa forma, os autores compararam diferentes estudos de ACV que abordam blocos cerâmicos, buscando identificar as possíveis diferenças nos processos de modelagem e em suas entradas e saídas. Concluíram que há uma certa maturidade das ACV no que diz respeito à caracterização do processo. Porém, o estudo apontou

um problema na correspondência de entradas e saídas com a unidade funcional, o que afeta o progresso do monitoramento de processos na indústria.

Bueno (2014) fez um comparativo entre sistemas externos de vedação, com o intuito de avaliar a sensibilidade dos resultados frente à elaboração do escopo do estudo, tomando como fontes os dados de inventário e diferentes metodologias de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). O estudo chama a atenção para a importância de se desenvolver pesquisas com foco em coletas e tratamento de dados primários brasileiros de forma a estabelecer um banco de dados nacional completo, com baixo índice de incerteza e que transmita maior confiança.

Condeixa, Haddad e Boer (2014) realizaram uma ACV que permitiu determinar os impactos ambientais de paredes internas de alvenaria, considerando como estudo de caso uma residência tradicional no Brasil. Considerando essas paredes constituídas por argamassa, blocos e reboco, o material constituinte que apresenta maior contribuição para os impactos ambientais foi a cal. Além disso, foi apresentada uma metodologia para estimar a demanda de materiais, geração de resíduos e distância percorrida no frete de materiais e resíduos como uma ferramenta para avaliações ambientais, planejamento e gestão de resíduos.

Os trabalhos realizados por Quantis (2012) e Souza *et al.* (2016) tiveram o mesmo objetivo de comparar o desempenho ambiental de 1,0 m² de parede de blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado *in loco*. Os resultados apontaram que os blocos cerâmicos, comparado aos outros dois materiais, apresentaram menor impacto ambiental em todas as categorias estudadas. Porém, a diferença relacionada às categorias de toxicidade humana e à qualidade dos ecossistemas foi pouco relevante. Os estudos indicam duas limitações: primeiro, uma possível imprecisão dos dados pelo fato de se considerar os parâmetros constantes em todo o território brasileiro; segundo, que os dados não representam necessariamente as práticas brasileiras, pois apresenta dados de ICV referentes a processos europeus do banco internacional de dados Ecoinvent v2.2.

Vinhal (2016) apresenta um estudo com o objetivo de avaliar indicadores ambientais de blocos cerâmicos estruturais com base na ACV e aponta a importância da elaboração de um ICV com características locais. O estudo indicou a importância da realização da ACV frente a acordos setoriais que possam gerar políticas públicas de redução de impactos ambientais, como a confecção de uma Regra de Categoria de Produto (RCP) para a elaboração da Declaração Ambiental de Produto (DAP).

Com o foco direcionado ao nordeste brasileiro, Abrahao e Carvalho (2017) realizaram um estudo cujo objetivo foi analisar a pegada de carbono associada

ao processo produtivo de uma fábrica de blocos cerâmicos. Foram calculadas as pegadas de carbono do uso de energia elétrica e gás natural como alternativas à queima de madeira, concluindo que os dois primeiros possuem uma pegada de carbono cerca de 280% maior que a utilização de lenha.

No Quadro 2, estão apresentadas as principais características dos trabalhos citados.

Quadro 2 - Artigos científicos de ACV de blocos cerâmicos nacionais

Autor	Estado	Unidade Funcional	Fronteira	Categoria de Impacto	Método de Avaliação
Grigoletti (2001)	RJ	Abordagem Qualitativa	<i>Cradle-to-gate</i>	-	-
Mastella (2002)	SC	113,36 kg/m ² (6Mpa – 29x19x14cm)	<i>Gate-to-gate</i>	-	-
Soares e Pereira (2004)	RS	1 m ²	<i>Gate-to-gate</i>	-	-
Quantis (2012)	-	1 m ²	<i>Cradle-to-grave</i>	AG, TH, QE, DA, ER	Impact 2002+
Gomes, Salgado e Hotza (2012)	-	1 m ²	<i>Cradle-to-gate</i>	CAR, OR, IR, AG, R, DO, EC, AC, EU, UT, M	Eco-indicator 99
Barbosa et al. (2012)	PR	1 kg	<i>Cradle-to-gate</i>	AG, OF, MP, AC, ET, EA, DM, DF	IPCC 2007, CED, ReCiPe
Bueno (2014)	-	1 m ²	<i>Cradle-to-grave</i>	AG, DO, OF, AC, EU, EC, TH	Edip 97/2003, CML 2001, Impact + 2002, ReCiPe 2008 e ILCD
Condeixa, Hadad e Boer (2014)	RJ	115 m ²	<i>Cradle-to-grave</i>	AC, AG, EU, EA, ET, TH, R, UT, OR, EMA, OF, DAC, DO, ET	CML 2001
Souza et al. (2016)	-	-	<i>Cradle-to-grave</i>	TH, QE, ER, AG, DA	Impact 2002 + e ReCiPe
Vinhal (2016)	SP	1 kg	<i>Cradle-to-gate</i>	DR, DAC, DO, EU, AC, OF, RM, RP, RR, CR, EC, TH, AG	CML 2002, Edip 97, Usetox e IPCC 2013
Abrahamo e Carvalho (2017)	PB	1 kg	<i>Cradle-to-gate</i>	AG	IPCC 2013

Legenda: AC = Acidificação, AG = Aquecimento Global, CAR = Carcinogênicos, DA = Depleção da água, DAC = Depleção abiótica de combustíveis fósseis, DF = Depleção fóssil, DM = Depleção de metais, DO = Depleção do ozônio, DR = Depleção de recursos, EA = Ecotoxicidade aquática, EC = Ecotoxicidade, EMA = Ecotoxicidade marinha, ER = Esgotamento de recursos, ET = Ecotoxicidade terrestre, EU = Eutrofização, IR = Inorgânicos respiratórios, M = Mineral, MP = Material particulado, OF = Oxidação fotoquímica, OR = Orgânicos respiratórios, QE = Qualidade dos ecossistemas, R = Radiação, RM = Resíduos em massa, RP = Resíduos perigosos, RR = Resíduos radioativos, TH = Toxicidade humana, UT = Uso da terra.

3.2 ESTUDOS INTERNACIONAIS

Diferentes países têm realizados estudos de ACV sobre a cerâmica vermelha. Aqui, serão apresentados trabalhos relacionados à produção de blocos cerâmicos, com os estudos feitos por: Bovea *et al.* (2007), Koroneos e Drompos (2007), Kus, Edis e Okzan (2008), Almeida *et al.* (2010), Bribián, Capilla e Usón (2011), Kumbhar *et al.* (2014), Almeida *et al.* (2015) e Talang, Pizzol e Sirivithayapakorn (2017).

Com uma proposta que abrange apenas a fronteira da mineração, o tratamento e a comercialização da argila, sem se estender à etapa de fabricação de produtos, Bovea *et al.* (2007) realizaram um trabalho com o objetivo de identificar as etapas e os processos unitários que apresentam os maiores impactos ambientais. O estudo concluiu que os processos com maior contribuição para os impactos ambientais foram aqueles que estão diretamente relacionados ao consumo de combustível, sendo esses processos: a escavação, o carregamento e o transporte de material.

Koroneos e Drompos (2007) fizeram uma análise das diferentes etapas da produção de tijolos, levando-se em consideração as entradas de matéria e de energia utilizadas em cada etapa. O seu objetivo foi identificar os “hotspots”, ou seja, as etapas do ciclo de vida de produção dos tijolos que mais influenciam no impacto ambiental total. O estudo apontou que os maiores impactos da produção de tijolos estão ligados ao uso de energia, diretamente, no local, com a combustão de coque de petróleo e diesel, e, indiretamente, com o uso de energia elétrica. Também salientou as emissões de CO₂ como a maior porcentagem de todos os lançamentos atmosféricos.

O objetivo do trabalho apresentado por Kus, Edis e Okzan (2008) foi levantar dados de inventário de três tipologias de alvenaria de vedação diferentes, a saber: blocos de concreto celular autoclavados, blocos de concreto vazados com adição de pedra pomes e blocos cerâmicos. Teve o propósito de desenvolver um módulo comparativo local que destacasse as diferentes características ambientais de cada produto. O estudo mostrou que os blocos cerâmicos, apesar do uso intenso de energia no forno, reduzem significativamente a demanda específica de energia relativa, em decorrência da sua baixa densidade aparente (blocos vazados).

Almeida *et al.* (2010) realizaram uma ACV para identificar e avaliar os impactos da produção de blocos cerâmicos com o intuito de subsidiar uma Declaração Ambiental de Produto (DAP). Para os autores, em um futuro próximo, a indústria da construção será focada no desenvolvimento dessa ferramenta para

diferentes materiais de construção. Concluiu-se que a queima de gás natural na secagem e na queima de blocos é o maior contribuinte para as categorias de impacto: aquecimento global, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização. A emissão da combustão de diesel no transporte foi o que mais influenciou na depleção da camada de ozônio.

Bribián, Capilla e Usón (2011) avaliaram o impacto energético e ambiental de diferentes materiais de construção mais utilizados no setor da construção civil. Propuseram e avaliaram medidas específicas que visassem à redução dos impactos, fazendo um comparativo desses materiais, tais como: tijolo comum, de barro leve e de silício-calcário, telhas cerâmica, de pedreira, de concreto, de ardósia e fibrocimento. Foi constatado que os materiais estudados apresentam impactos ambientais maiores do que o obtido em outros estudos. Os autores creditaram esse resultado ao fato de os outros estudos negligenciarem alguns estágios e processos. Por fim, chamaram a atenção para o ajuste e a harmonização do banco de dados existente de materiais de construção.

Através de estudos que comprovam que, quanto maior a eficiência do processo, menor seria o custo com a energia, Kumbhar *et al.* (2014) selecionaram um tijolo tradicional da Índia que apresenta a vantagem de ter menor custo, flexibilidade quanto à disposição de matéria-prima e menor dependência da mecanização para quantificar seus impactos ambientais através da ACV. Além dos resultados comumente encontrados por outros estudos, como a emissão de CO₂ e maior porcentagem de emissões atmosféricas, o estudo mostra que há uma necessidade de modernizar a tecnologia dos fornos para aumentar a eficiência do consumo do carvão e reduzir o problema das emissões através da combustão completa do carvão.

Almeida *et al.* (2015) realizaram um estudo da produção de tijolos cerâmicos com o intuito de contribuir para o desenvolvimento de uma Regra de Categoria de Produto (RCP) que permitisse uma comparação dos desempenhos ambientais de 1,0 m² de alvenaria desse produto. A motivação foi o fato de se analisar vários estudos com diferentes fronteiras de sistemas, fontes de dados, indicadores de impactos e metodologias de avaliação de impactos que dificultam a comparação dos trabalhos. Assim, a ideia foi formular uma RCP coerente, através de análise de sensibilidade, a fim de avaliar o efeito da utilização de diferentes critérios de corte e regras de alocação. O estudo apontou que as fases de extração da argila, o transporte de materiais e a fabricação de blocos foram as mais relevantes em todas as categorias de impacto avaliadas, exceto aquecimento global, que foi vinculado à produção da argamassa.

Talang, Pizzol e Sirivithayapakorn (2017) tiveram como objetivos principais quantificar e comparar a carga ambiental da produção de tijolos tailandeses a partir de diferentes resíduos de biomassa, comparar o uso da ACV atribucional e consequential com diferentes abordagens de modelagem e, por fim, analisar o uso da base de dados Ecoinvent v.3 e a TH-LCI. Foi observado que o Ecoinvent v.3 é a melhor opção da base de dados, por conta da sua representatividade geográfica, o que permite uma modelagem mais detalhada e completa. Os pesquisadores concluíram o estudo chamando a atenção para as variáveis nas fontes de incertezas na modelagem de uma ACV, principalmente aquelas relacionadas à geografia em países em desenvolvimento.

O Quadro 3 consta das principais características dos trabalhos internacionais apresentados.

Quadro 3 - Artigos científicos de ACV de blocos cerâmicos internacionais

Autor	País	Unidade Funcional	Fronteira	Categoria de Impacto	Método de Avaliação
Bovea <i>et al.</i> (2007)	Espanha	1 ton	Cradle-to-gate	AG, DO, OF, AC, EU	CML 2000
Koroneos e Drompos (2007)	Grécia	1 ton	<i>Cradle-to-grave</i>	AG, AC, EU, RS	Eco-indicator 95
Kus, Edis e Okzan (2008)	Turquia	Módulo de parede	<i>Cradle-to-gate</i>	AG, UT, EU, ER	-
Almeida <i>et al.</i> (2010)	Portugal	1 kg	<i>Cradle-to-gate</i>	AG, DO, OF, AC, EU	CML
Bribián, Capilla e Usón (2011)	Espanha	1 kg	<i>Cradle-to-grave</i>	AG, EU, DA	IPCC 2007, CED
Kumbhar <i>et al.</i> (2014)	Índia	1000 unidades	<i>Cradle-to-gate</i>	CAR, OR, IR, AG, DO, AC, EU, EC, UT, M	Eco-Indicator 99
Almeida <i>et al.</i> (2015)	Portugal	1 m ² / 1 kg	<i>Cradle-to-grave</i>	FNR, AC, EU, AG, DO, OF, DAC, IR, DA, PA	Eco-Indicator 95
Talang, Pizzol e Sirivithayapakorn (2017)	Tailândia	1 m ²	<i>Cradle-to-gate</i>	AG, OR, IR, M, EAD, ON	Stepwise 2006 e ReCiPe.

Legenda: AC = Acidificação, AG = Aquecimento Global, CAR = Carcinogênicos, DA = Depleção da água, DAC = Depleção abiótica de combustíveis fósseis, DF = Depleção fóssil, DO = Depleção do ozônio, EAD = Eutrofização da água doce, EC = Ecotoxicidade, ER = Esgotamento de recursos, EU = Eutrofização, FNR = Fóssil não renovável, IR = Inorgânicos respiratórios, M = Mineral, OF = Oxidação fotoquímica, ON = Ocupação Natural, OR = Orgânicos respiratórios, PA = Partículas para o ar, RS = Resíduos sólidos, UT = Uso da terra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou, através de uma revisão bibliográfica, a identificação de aspectos e impactos ambientais relevantes à produção de blocos cerâmicos nacionais e internacionais. Considerando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) uma temática importante e ainda emergente na pesquisa científica, este trabalho viabilizou as seguintes considerações:

- Os aspectos ambientais da produção de blocos cerâmicos trazem como fatores de maior relevância: consumo energético associado à degradação ambiental, devido ao consumo de lenha para a queima dos blocos; emissões de fuligem, cinzas e CO₂ decorrentes de atividades de transporte, manuseio e mistura das matérias-primas e uso energético para queima de blocos;
- Os estudos nacionais da ACV de blocos cerâmicos concluíram: o interesse pela ferramenta ACV está intimamente ligado à busca por estratégias ambientais viáveis que melhorem o desempenho ambiental da indústria, considerando a necessidade do estabelecimento de bancos de dados nacionais com características locais, aumentando a confiabilidade dos resultados e possibilitando a geração de políticas públicas de redução de impactos ambientais;
- Pode-se concluir dos estudos internacionais relacionados à ACV de blocos cerâmicos: há a necessidade de modernização tecnológica da indústria com a finalidade de melhoria da eficiência no consumo de carvão e de diminuição da emissão de gases poluentes; também aponta a necessidade de uma base de dados com representatividade geográfica que permita uma modelagem mais completa e fiel à realidade local do estudo.

A partir da visão sistêmica da ACV na produção do bloco cerâmico, pode-se buscar novas alternativas que objetivem melhorias para as indústrias de cerâmica e que influenciem na confecção de novas políticas públicas, que busquem minimizar os principais impactos ambientais relacionados ao setor.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14001**: Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Parte I: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Parte II: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos – Parte III: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005c.
- ABRAHAO, R.; CARVALHO, M. Environmental impacts of the red ceramics industry in Northeast Brazil. **International Journal of Emerging Research Management Technology**, v. 6, p. 310-317, 2017.
- AGRAFIOTIS, C.; TSOUTSOS, T. Energy saving technologies in the European ceramic sector: a systematic review. **Applied thermal engineering**, v. 21, n. 12, p. 1231-1249, 2001.
- ALMEIDA, M. I.; DIAS, A. C.; DEMERTZI, M.; ARROJA, L. Contribution to the development of product category rules for ceramic bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 206-215, 2015.
- ALMEIDA, M. I.; DIAS, A. C.; ARROJA, L. M.; DIAS, B. Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick. **Portugal SB10 – Sustainable Building Affordable to All**, Vila-moura, p. 17-19, 2010.
- ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica. **Cartilha Ambiental Cerâmica Vermelha**. Brasília, 2014.
- BACCELLI JUNIOR, G. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó-RN**. 2010. 542 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- BARBOSA, P. P.; SILVA, T. L.; GALASSI, C.; LUZ, S.; ANGELIS NETO, G. Análise dos impactos ambientais da produção de blocos cerâmicos. *In*: Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana – SIMPGEU, III. **Anais...** Maringá, 2012. p. 1-10.
- BASBAGILL, J.; FLAGGER, F.; LEPECH, M.; FISCHER, M. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, v. 60, p. 81-92, 2013.

BOVEA, M. D.; SAURA, U.; FERRERO, J. L.; GINER, J. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 439, 2007.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, v. 46, n. 5, p. 1133-1140, 2011.

BUENO, C. **Avaliação de ciclo de vida na construção civil**: análise de sensibilidade. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering**: an introduction. 7. ed. New York: Wiley, 2007.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas**: subsídios para a promoção da construção civil sustentável. CBSC, 2014.

COELHO, J. M. **Relatório Técnico 32**: perfil de argilas para cerâmica vermelha. Ministério de Minas e Energia – MME: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. 2009.

CONDEIXA, K.; HADDAD, A.; BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 141-147, 2014.

EMPRESA de Pesquisa Energética – EPE (Brasil). **Balço Energético Nacional 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-82/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf. Acesso em: 23 nov. 2020.

ENRIQUE, J. E.; MONFORT, E.; BUSANI, G.; MALLOL, G. Water saving techniques in the Spanish tile industry. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 39, n. 1, p. 149-154, 2000.

GOMES, J. M.; SALGADO, A. L. F.; HOTZA, D. Life cycle assessment of ceramic bricks. **Materials Science Forum**, p. 815-820, 2012.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. **Ambiente construído**: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 19-32, 2003.

HADDAD, A. N.; SEDREZ, M. M.; CONDEIXA, K. M. P.; EVANGELISTA, A. C. J.; BOER, D. T. Life Cycle Assessment: a comparison of ceramic brick inventories to subsidize the development of databases in Brazil. **Applied Mechanics and Materials**, p. 370-377, 2013.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Capturing the multiple benefits of energy efficiency. Paris: IEA/OECD, 2014.

KORONEOS, C.; DOMPROS, A. Environmental assessment of brick production in Greece. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2114-2123, 2007.

KUMBHAR, S.; KULKARNI, N.; RAO, A. B.; RAO, B. Environmental life cycle assessment of traditional bricks in western Maharashtra, India. **Energy procedia**, v. 54, p. 260-269, 2014.

KUS, H.; EDIS, E.; OKZAN, E. Comparative environmental assessment of masonry wall units regarding manufacturing process. **The Proceedings of the Sustainable Building**, v. 8, p. 278-289, 2008.

KUZMA, E. L.; DOLIVEIRA, S. L. D.; KUASOSKI, M.; MENON, M. U. Sustentabilidade em indústrias de cerâmica vermelha por meio da utilização deecoinovações. **Revista Gestão Industrial**, v. 12, n. 3, 2016.

MACEDO, R. S. MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 411-417, 2008.

MANFREDINI, C.; SATTLER, M. A. Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 23-37, 2005.

MASTELLA, D. V. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida**. 2002. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

NÄSSÉN, J.; HEDENUS, F.; KARLSSON, S.; HOLMBERG, J. Concrete vs. wood in buildings—an energy system approach. **Building and environment**, v. 51, p. 361-369, 2012.

NUNES, A. C. N.; RESENDE, S. S. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM). Belo Horizonte: FIEMG; FEAM, 2013.

OLIVEIRA, M. C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas brancas e de revestimento**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. São Paulo: CETESB, 2006.

PALMONARI, C.; CARANI, G. **Le piastrelle di ceramica sotto controllo**. Bologna: Centro Ceramico Bologna, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Globo, 1979.

QUANTIS. **Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco**. Relatório final preparado para ANICER, 2012. Disponível em: <http://anicer.com.br/acv/ACV%20Blocos%20Cer%C3%A2micos.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

REINALDO FILHO, L. L.; BEZERRA, F. D. **Informe setorial cerâmica vermelha**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010.

SARQUIS, A. B.; SEHNEM, S.; PIZZINATTO, N. K.; MARTINAZZO JÚNIOR, J. C. Diagnóstico de Gestão Ambiental no Setor de Cerâmica Vermelha. **Revista Eletrônica de Administração e Turismo-ReAT**, v. 12, n. 6, p. 1542-1562, 2018.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cerâmica vermelha**: estudo de mercado SEBRAE/ESPM 2008 – Relatório completo. 2008. Disponível em: <https://silo.tips/download/ceramica-vermelha-estudos-de-mercado-sebrae-espm-2008-relatorio-completo>. Acesso em: 13 out. 2020.

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA. **Manual de segurança e saúde no trabalho**: Indústria de Cerâmica Estrutural e Revestimento. São Paulo: SESI, 2009.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente construído**, v. 4, n. 2, p. 83-94, 2004.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W.; BREITENBACH, F. E. Análise do ciclo de vida de produtos cerâmicos da indústria de construção civil. *In*: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28. **Anais...** Cancún: FEMISCA, 2002. p. 1-8.

SOUZA, D. M.; LAFONTAINE, M.; CHARRON-DOUCET, F.; CHAPPERT, B.; KICAK, K.; DUARTE, F.; LIMA, L. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 70-82, 2016.

TALANG, R. P. N.; PIZZOL, M.; SIRIVITHAYAPAKORN, S. Comparative life cycle assessment of fired brick production in Thailand. **The international journal of life cycle assessment**, v. 22, n. 11, p. 1875-1891, 2017.

TANNO, L. C.; MOTTA, J. F. M. Panorama Setorial – Minerais Industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 3, p. 37-40, 2000.

VINHAL, L. D. **Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em Avaliação do Ciclo de Vida, considerando o contexto brasileiro**. 2016. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos, 2016.

ANÁLISE DE INFRAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO SUL DA BAHIA

MARIA PAULA QUEIROZ BARBOSA
GUILHARDES DE JESUS JÚNIOR
ROMARI ALEJANDRA MARTINEZ MONTAÑO

RESUMO

O território conhecido como Litoral Sul da Bahia abrange a cobertura de 26 municípios, onde está localizada a Mata Atlântica do Litoral Sul. A legislação vigente no país comporta diversas formas de zelar pelo meio ambiente, cabendo ao Poder Público e à coletividade o dever de defender e preservar a flora e a fauna, para resguardar o bem-estar das gerações presentes e futuras. O estudo visa a analisar os casos de supressão de vegetação investigados em nove municípios da região, visando a compreender a atuação do Ministério Público Estadual nessa modalidade de dano ambiental. Como fonte de estudo, foram utilizados inquéritos civis disponibilizados pela Promotoria de Justiça Regional de Meio Ambiente Costa do Cacau Leste, entre os anos de 2007 e 2017, dos municípios de Ubaitaba, Aurelino Leal, Gongogi, Itacaré, Uruçuca, Ilhéus, Una, Canavieiras e Santa Luzia. Foram registrados 106 inquéritos no total: 22 arquivados, 64 em andamento e 20 processos judiciais. Há municípios com grandes áreas protegidas, enquanto outros possuem carência de Unidades de Conservação. Constatou-se que esses apresentam um risco maior de desmatamento descontrolado nos próximos anos, caso persista a supressão em larga escala.

Palavras-chave: Deflorestamento; Costa do Cacau; Ministério Público; Infrações ambientais.



ABSTRACT

The region known as Southern Coastal Bahia includes 26 counties, and is home to the southern coastal Atlantic Forest. The current legal system of Brazil includes several pathways to protect its environment, and it is the attribution of the Public Prosecuting system (known in Portuguese as the “Public Ministry”) and the ordinary citizens to guard and preserve the flora and fauna, for the well-being of present and future generations. This research analyzes all reports of vegetation suppression within the nine counties under the protection of the Environmental Justice Prosecuting Office of the Eastern Cocoa Coast (under the Bahian government public ministry system), between the years 2007 and 2017. One hundred and six processes, under the categories of “arquived”, “processing” and “under a court of law” were registered for the counties of Aurelino Leal, Ubaitaba, Gongogi, Itacaré, Uruçuca, Ilhéus, Una, Canavieiras and Santa Luzia. Some of these counties have large protected areas, whereas others are absolutely lacking conservation units. This study predicts that counties without legal reserves are at a higher risk of uncontrolled deforestation in the next years, in case the current tendencies are maintained.

Keywords: Deforestation; Cacao Coast; Public Ministry; Environmental infractions.

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra avança rapidamente para um futuro com menos biodiversidade, comprometendo a existência mesma da raça humana (ZAUÍ, 1998). A conservação dessa biodiversidade depende de um conjunto de estratégias que estejam sincronizadas, incluindo: o fomento à consciência crítica e ao uso sustentável dos recursos naturais, a criação e a implantação de unidades de conservação, mosaicos e corredores ecológicos e, fundamentalmente, uma maior eficácia na fiscalização e controle ambiental, com a averbação de reservas legais (RL) e áreas de preservação permanente (APP) entre outras (PACTO, 2018).

O Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do planeta, com quase um terço das florestas tropicais remanescentes presentes em seu território. A Mata Atlântica é reconhecida como um dos biomas com maior diversidade biológica na esfera global, contendo uma expressiva quantidade de espécies endêmicas e sendo o repositório mais rico do mundo em biodiversidade por quilômetro quadrado (BRASIL, 2006; MILARÉ, 2015).

A Mata Atlântica e o Cerrado são os dois únicos tipos de vegetação brasileiros reconhecidos como *hotspots*. Ou seja, locais com elevado grau de prioridade de conservação em razão da sua abundância de biodiversidade e a dicotomia ou mesmo sobreposições entre pressões antrópicas e prioridades ambientais (BRASIL, 2006; PINTO *et al.*, 2006).

Assim, a Mata Atlântica vem sendo considerada uma das florestas tropicais com maior risco de extinção no planeta. O seu futuro dependerá do manejo de espécies e ecossistemas para garantir a biodiversidade a longo prazo (PINTO *et al.*, 2006; ALMEIDA, 2016).

No que tange à extensão da Mata Atlântica da Bahia, pertencente ao Corredor Central, na sua região Sul, apresenta relativas peculiaridades ecológicas e produtivas. Estas estão relacionadas diretamente com modos alternativos de produção agroflorestal, que permitem a subsistência de porções nativas de árvores de grande porte originários da região, protegendo cultivos de cacau (*Theobroma cacao*), conhecido pela unicidade das suas características químicas e gustativas. Esta junção agroflorestal é conhecida regionalmente como “cabruca” (SAMBUICHI *et al.*, 2012). Esse espaço de interação oferece uma interligação em forma de corredor de fluxo genético entre espécies das áreas ao redor e traz menos danos ao solo desses tipos de vegetação (IBGE, 2018; SILVA, 2013).

A preservação de comunidades biológicas por meio de proteção legal é uma das formas com maior divergência de entendimento, pois, mesmo esta-

belecidas as terras protegidas, não existe a garantia da devida preservação do *habitat*. No entanto, há de se reconhecer que se trata de uma iniciativa a favor do meio ambiente (PRIMACK, 2001). Para recuperação em áreas degradadas, faz-se essencial ter conhecimento específico em legislação ambiental aplicada, conhecimento fundamental para o técnico que vai trabalhar na área para elaboração de projetos, pois há regras legais que normatizam a forma de expedição dos projetos, bem como formas técnicas básicas para serem cumpridos em cada caso concreto (ALMEIDA, 2016).

A legislação brasileira ambiental é reconhecida por especialistas como uma das melhores do mundo em diversos aspectos (ALMEIDA, 2016). Na evolução legislativa ambiental, seu início se deu em 1605 com o *Regimento Pau Brasil* e segue até os dias atuais com a vigência de normas que protegem a flora e fauna. Alguns destaques são: a *Constituição da República Federativa do Brasil*, de 1988 (BRASIL, 1988); o Sistema Nacional do Meio Ambiente, a *Lei nº 11.428/2006*, conhecida como Lei da Mata Atlântica (BRASIL, 2006); e o *Decreto 6.660/08* para regulamentar a utilização e a proteção da vegetação nativa da Mata Atlântica (BRASIL, 2008), o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), entre outros.

130

1.1 SUPRESSÃO DE VEGETAÇÃO

Toda atividade que tenha como consequência a supressão de vegetação nativa depende de prévia autorização, independentemente do tipo ou de seu estágio de desenvolvimento. Os estágios de desenvolvimento das comunidades vegetais variam nos níveis de inicial, médio, avançado e clímax. Tais estágios podem ser determinados por órgãos oficiais e influenciam diretamente na autorização para as medidas protetivas, sancionatórias ou em caso de licenciamentos (MILARÉ, 2015).

Na *Lei nº 9.605/98* (BRASIL, 1998), Lei de Crimes Ambientais, estão previstas as penalidades cabíveis em caso de cometimento de algum tipo de supressão ilegal de vegetação. O capítulo V trata dos crimes contra o meio ambiente. Na seção II, a Lei versa especificamente dos crimes contra a flora. Seis artigos (38, 38-A, 39, 40, 41, 48 e 50) abrangem delitos de supressão de diferentes tipos de vegetação, com penas de detenção de 1 a 3 anos ou multa, ou ambas, salvo o Art. 40, que versa sobre supressão diretamente dentro de Unidade de Conservação, onde não cabe a possibilidade de multa senão unicamente reclusão, de acordo com a gravidade do delito, de até 5 anos.

Nos casos de dano ao meio ambiente, o infrator será responsabilizado nas três esferas: civil, criminal e administrativa, ou seja, poderá receber sanções dessas três esferas, conforme o artigo 225, §3º da Constituição Federal. Tal responsabilização tridimensional é totalmente justificável, haja vista se tratar do direito ao ambiente ecologicamente equilibrado, como garantido constitucionalmente (TEDARDI, 2009).

Ao Ministério Público (MP), em todas suas esferas, se atribui o controle finalístico de atos e omissões nas garantias da efetivação dos direitos fundamentais. Segundo Meirelles (2006), o MP encontra-se em melhor posição por sua independência institucional e atribuições funcionais. Suas ferramentas de atuação se baseiam em Inquérito Civil, Recomendação, Ação Civil Pública (ACP) e Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), transações penais, denúncias criminais e requisições de inquéritos policiais (MEIRELLES, 2006; FERREIRA, 2012). A atuação do MP está coadunada à dos demais órgãos de controle, fiscalização e proteção de todos os aspectos relativos à República e seus cidadãos.

Para melhor compreensão de atuação do MP, faz-se mister apresentar a conceituação de processo, que seria o meio-objetivo que se pode interferir na esfera judicial por quem causa dano ou, inclusive, impor sanções. Assim, compreende-se como procedimento a capacidade dada à Administração para investigar e solucionar quesitos possivelmente danosos. Destarte, a entidade adota estratégias de atuação, conforme andamento de cada caso concreto (VIEIRA, 2015; HONORATO *et al*, 2010).

A presente pesquisa tem como relevância abordar matérias interdisciplinares em Direito, Meio Ambiente e a relação homem-natureza. A motivação para a produção do trabalho surgiu para auxiliar a Sociedade e o Poder Público no conhecimento das principais motivações dos causadores de impactos ambientais no que tange à supressão de vegetação ilegal em municípios inseridos na região da Mata Atlântica sul baiana, buscando compreender quais fatores desencadeiam o desmate constante que acomete essa região.

Dentre as justificativas para a presente pesquisa, faz-se de suma importância a análise na inclusão da questão ambiental por meio das práticas jurídicas, trazendo enfoque na forma de integração nos debates atuais sobre direitos e, sobretudo, para a análise do papel que o Estado tem, nesse caso, pelo Ministério Público Estadual, na própria construção do discurso ambiental e nas estratégias de atuação em prol de sua defesa.

O enfoque do trabalho é baseado nos dados do Ministério Público do Estado da Bahia (MPBA), como ator social, nesse processo de análise, por via judicial

e, sobretudo, pela via extrajudicial, da questão ambiental, em sua atuação no campo da tutela coletiva, com ênfase em supressão de vegetação.

Por isso, munir o MPBA e a coletividade social de informações acerca das questões relacionadas por trás das ações objeto de denúncias de desmatamento na região pode colaborar no elo de conexão entre a supressão de vegetação e a fundamentação para o fato cometido. Assim, é possível ter ferramentas para tomar as devidas medidas compensatórias ou mitigatórias da destruição da vegetação da Mata Atlântica.

1.2 PROMOTORIA REGIONAL DO MEIO AMBIENTE COSTA DO CACAU LESTE

O Ministério Público do Estado da Bahia (MPBA), no intuito de tornar mais efetiva a proteção das demandas coletivas, no que tange ao meio ambiente, elaborou estratégia de distribuir grupos de atuação pelo Estado nas mais diversas áreas de atuação. Na esfera ambiental, foi criado, por meio do *Ato nº 48/92* da Promotoria Geral de Justiça, o Centro de Apoio às Promotorias de Meio Ambiente e Urbanismo (CEAMA) (MPBA, 2018a), promovendo a distribuição de cinco núcleos de proteção pelo Estado. Entre eles, o Núcleo Mata Atlântica (NUMA), que surgiu em 2005 para intervir em diversos aspectos de abordagem ambiental. A distribuição de atuação ocorre por Região, sendo sete ao todo, incluindo a Regional objeto de estudo: a Promotoria Regional do Meio Ambiente Costa do Cacau Leste (MPBA, 2018b).

Dada a complexidade do tema e as possíveis determinantes do processo de supressão de vegetação dos remanescentes florestais na região da Mata Atlântica, no sul da Bahia, o MPBA criou, em 2010, por meio da *Lei Estadual 11.639, de 18 de janeiro de 2010*, a Promotoria de Justiça de Meio Ambiente Costa do Cacau Leste (BAHIA, 2010).

A Promotoria Especializada está situada na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) desde 2013, com estrutura para somar parcerias com os setores acadêmicos, como o Laboratório de Ecologia Aplicada à Conservação da Biodiversidade (LEAC) e o Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO), situados no mesmo *campus* universitário a fim de compartilharem e fortalecerem, de diversas formas, pesquisas atualizadas voltadas à proteção ambiental na região. Isso permite a maximização na atuação de políticas públicas ambientais, com diversas parcerias institucionais, políticas e econômicas (BRITO, 2013).

Os mecanismos de atuação do MP ocorrem extrajudicialmente (procedimento) e judicialmente (processo), sendo acionado quando necessário para

executar medidas reparadoras ou compensatórias segundo a extensão do dano e a dimensão do prejuízo à natureza, como ferramenta para a dita análise (HONORATO *et al.*, 2010).

Na esfera civil, cabe ao MP o uso de ferramentas para a fiscalização da lei, o que ocorre principalmente por meio da instauração de inquérito civil. Trata-se de um procedimento administrativo de caráter inquisitivo, realizado exclusivamente por meio dessa Instituição, com desígnio de levantar os subsídios necessários para a tomada de medidas. Inclusive, pode ser o caso de ajuizamento de ação civil pública. O intuito de tal procedimento consiste na coleta de elementos que avaliem o suposto dano ao interesse difuso ou coletivo investigado (VIEIRA, 2015; SOUZA, 2011).

A esfera extrajudicial age conforme o consenso e boa-vontade do responsável pelo dano para cumprimento voluntário das obrigações acordadas. Existe, no âmbito administrativo, a possibilidade de se sanar os crimes cometidos, no caso estudado, danos ambientais, por meio de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) ou mesmo Recomendações. Quando não se consegue chegar a acordo, impere-se a necessidade de agir judicialmente (SOUZA, 2011).

Compete ao promotor de justiça tomar as seguintes medidas: arquivar a investigação ou propor ação civil pública com o resultado da investigação, dando assim encaminhamento judicial, com o intuito de ajustar as condutas degradantes, bem como reparar os danos ambientais (MILARÉ, 2015).

2 PROCESSOS METODOLÓGICOS

2.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Na presente pesquisa, a área analisada abrange os seguintes municípios: Ubaitaba, Aurelino Leal, Gongogi, Itacaré, Uruçuca, Ilhéus, Una, Santa Luzia e Canavieiras. Esses municípios estão localizados no território de identidade conhecido como Litoral Sul do Estado da Bahia. Tais municípios foram selecionados por pertencerem à área de abrangência de atuação da Promotoria Especializada e por terem um adensamento de unidades de conservação.

encaminhados para Promotoria no período de supressão entre 2007 e 2017. Foram destacadas as áreas que tiveram maiores casos de danos ambientais, para análise dos maiores focos de destruição, estabelecendo e relacionando a vinculação entre elas existentes. Então, foi feito um mapa com os pontos dos locais suprimidos, aplicando a ferramenta do Software de acesso público QGIS (2017) para percepção das áreas mais afetadas.

3 RESULTADOS

A partir do levantamento documental sobre supressão de vegetação na Promotoria Regional do Meio Ambiente Costa do Cacau Leste, foi possível reunir informações sobre vinte e dois inquéritos arquivados e sessenta e quatro inquéritos civis em andamento. Na esfera judicial, localizaram-se dezoito processos em andamento e dois arquivados.

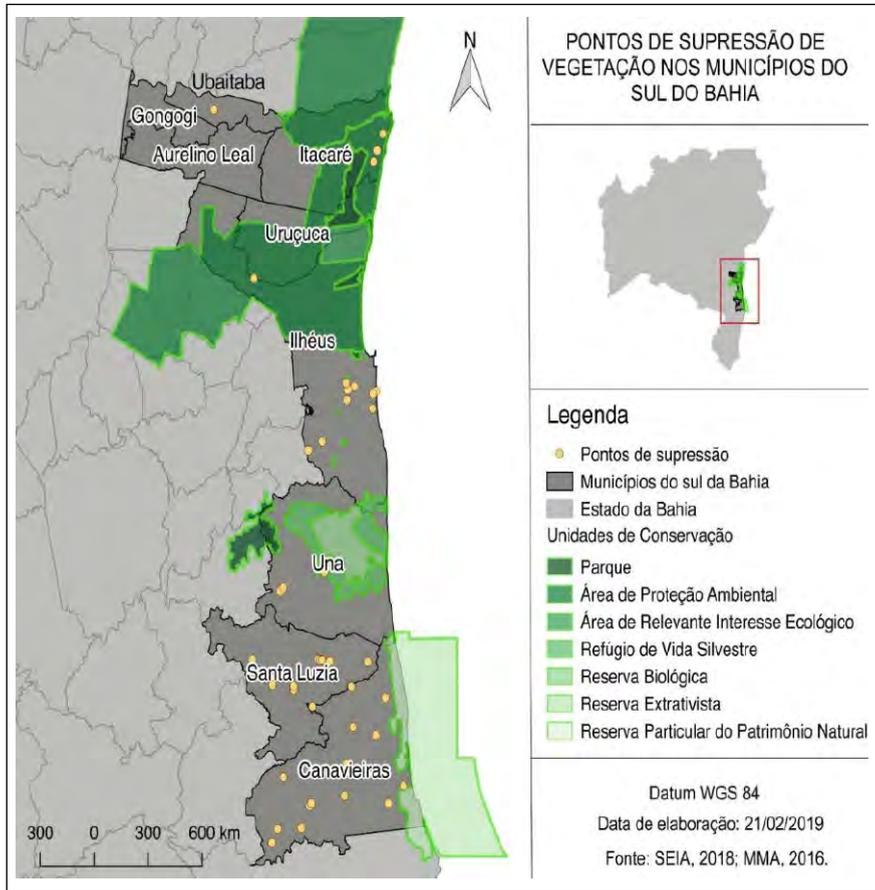
Os procedimentos foram recortados no lapso temporal de 10 anos. O mais antigo teve início no ano de 2007; e o mais recente, em 2017. O maior inquérito apresenta supressão de 129 hectares. Todos os procedimentos abordam casos de danos ambientais previstos na Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1988), sobre destruição de floresta em áreas protegidas legalmente, do Bioma Mata Atlântica, e corte de árvore considerada de preservação permanente.

Quanto ao perfil do infrator, nos inquéritos em aberto, percebeu-se predominância de pessoas físicas autuadas, significando 90% dos casos analisados. Canavieiras se destaca por ser o município com maior quantidade de inquéritos (41% dos casos) e maior área suprimida, com um total de 457,5 hectares.

Dentre as motivações para a supressão, foi possível identificar cinco atividades: cultivo de diversos ramos, pecuária, loteamento, carvão e artesanato. Dentre as motivações, por município, para Canavieiras e Santa Luzia, prevalece pecuária e cultivo; enquanto que, em Ilhéus, Itacaré e Una, predominam os casos de construção civil.

Na Figura 2, encontram-se os pontos de supressão de vegetação dos municípios das áreas estudadas e as Unidades de Conservação da região estudada. Foram analisados apenas 78% dos dados geográficos nos procedimentos, por incompatibilidade de informações geográficas, impossibilitando a conversão de coordenadas geográficas.

Figura 2 - Mapa dos pontos de supressão de vegetação nos municípios do Sul da Bahia abrangidos pela Promotoria Costa do Cacau Leste



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados publicados pela SEIA (2018) e o MMA (2016).

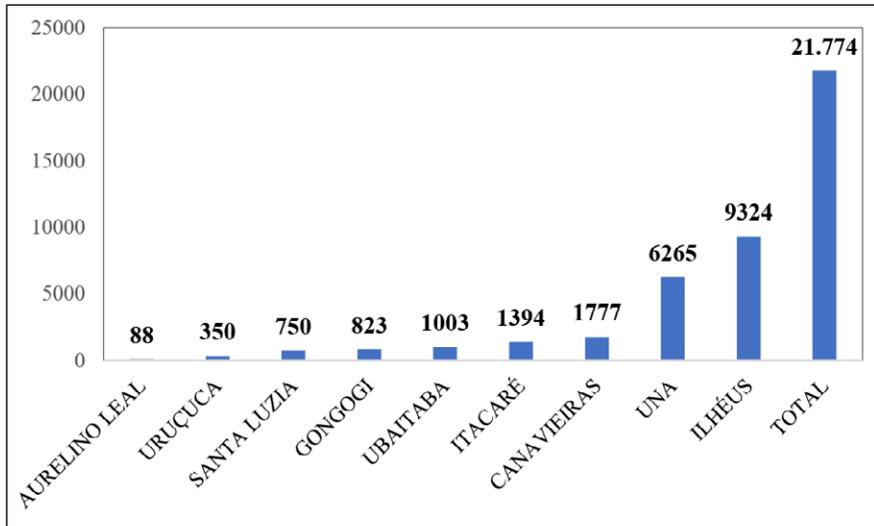
O uso da tecnologia de Sistema de Informação Geográfica (SIG) contribui no caráter investigativo dos órgãos de atuação ambiental, possuindo a finalidade de coletar informações prévias que orientarão a formação de um entendimento sobre os fatos investigados, direcionando a adoção de medidas inerentes as suas funções institucionais (MILARÉ, 2015).

4 DISCUSSÃO

Segundo dados da Promotoria, conforme levantados neste estudo, a quantidade total de área suprimida no período correspondente a 2007-2017 che-

gou a 899,29 hectares. Enquanto isso, dados de imagens de satélite coletados pelo Instituto MapBiomias (2019), por meio de parcerias com o Google Earth, apresentam dados de quase 22 mil hectares suprimidos nesse mesmo período, conforme Figura 3.

Figura 3 - Área em hectares da supressão de vegetação por município, de acordo com dados coletados pelo Instituto MapBiomias



Fonte: MapBiomias (2019).

Chama a atenção a disparidade entre os dados coletados nesse estudo e as informações do Instituto MapBiomias. Uma possível explicação para isso se deve à ausência de compartilhamento de informações ambientais entre os órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), o que prejudica as atividades das instituições, diminuindo o potencial de monitoramento para melhor andamento das investigações (PINTO *et al.*, 2016).

Idealmente, a Promotoria deveria ter acesso a todos os casos registráveis em imagens de satélite, pois, certamente, alguns deles são passíveis de crime ambiental. No entanto, salienta-se o baixo número de casos investigados no período estudado, com relação à supressão notada nas imagens do Google Earth usadas pelo Instituto MapBiomias (2019). A ausência de insumos de investigação dificulta a capacidade de a Promotoria localizar, conhecer e monitorar, em sua extensa área de abrangência, tanto agressões ambientais, quando observâncias da lei, resultantes de decisões judiciais (HONORATO, 2008).

Em que pese a desaceleração no desmatamento nos últimos anos (SOS MATA ATLÂNTICA, 2018), os comparativos dos dados entre os inquéritos levantados da Promotoria, os dados coletados pelos Institutos MapBiomas (2019) e SOS Mata Atlântica (2018), infere-se que a vegetação nativa demonstra uma expectativa pessimista caso a forma de atuação da população com relação ao desmatamento atual não seja alterada, para se tornar mais eficaz, a fim de mitigar os danos ao Bioma Mata Atlântica. Percebe-se que a maior parte da supressão de vegetação aconteceu em áreas não protegidas, embora, em alguns casos, houve crime ambiental dentro de zonas de amortecimento, como no município de Uruçuca, o que também é grave, pois cria um efeito de borda que danifica a Unidade de Conservação (UC).

Destarte, os dados remetem a uma projeção pessimista de que, caso persista-se na conduta agressiva de desmatamento, em até quatro décadas, as poucas áreas de vegetação nativa protegidas por UCs poderão ser mais agredidas por ações antrópicas devido à redução de áreas de vegetação para exploração. Esse dado tão somente ratifica a informação quanto à redução elevada de espécies, ao ponto de extinção em determinados casos. A consequência disso está na diminuição de diversidade genética, inclusive de espécies de grandes populações (PRIMACK, 2001).

Insta destacar os casos dos municípios de Aurelino Leal, Gongogi e Itacaré, pois demonstram que a quantidade de supressão dos últimos dez anos equivale à quantidade de vegetação remanescente. Logo, requer maior cautela de atuação nos próximos dez anos, pois pode ser destruída toda a floresta nativa desses municípios, caso permaneça a mesma forma de atuação e fiscalização.

Importante mencionar que Aurelino Leal e Gongogi são municípios com uma baixa proporção de UCs, pelo que se recomenda uma forte política pública protetora, que avalie as áreas remanescentes, no intuito de criar corpos de vegetação protegida que possam garantir a permanência dos bolsões de Mata Atlântica presentes nessas regiões, que garantem conectividade entre municípios com biodiversidade destacada, como Itacaré e Uruçuca.

5 CONCLUSÕES

Diante da abordagem desenvolvida no trabalho, houve casos de investigações pelo Poder Público em todos os municípios. No entanto, as fiscalizações e os monitoramentos carecem de maior efetividade. Outro fator que precisaria de maior solidez foi a comunicação entre as Instituições Públicas. Isso se vê pio-

rado pelo cenário político regional e nacional, que tem diminuído o orçamento para a área ambiental a cada gestão, conseguindo arcar apenas com os custos de gestão, restando baixíssimo valor para investimentos e repasse orçamentário para políticas de proteção ambiental.

Recomenda-se que os sistemas de proteção ambiental se comuniquem de forma mais efetiva e ágil. Uma alternativa poderia estar baseada em um maior incentivo ao fortalecimento do sistema de meio ambiente municipal, trazendo uma nova visão de sistema ambiental. Assim, integrando, de maneira eficiente, os municípios no sistema de gestão e fiscalização ambiental.

Outro desafio que se coloca na atualidade é o de propagar uma educação ambiental que seja crítica e inovadora, para que se reverta a visão atual de que o meio ambiente sempre se equilibrará espontaneamente. Devemos mudar a percepção de que a atuação de um indivíduo, por pequena que seja, não tem influência no bem-estar global, pois, hoje em dia, com a fragilidade dos ecossistemas em nossa volta, toda ação tem consequência e toda proteção resulta importante ação para o futuro da nossa biota.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. 3. ed. Ilhéus: Editus, 2016.
- BAHIA. Lei Estadual 11.639/10. Cria cargos de Promotor de Justiça no Ministério Público do Estado da Bahia, e dá outras providências. **Diário da Justiça do Estado da Bahia**, Caderno 1, Administrativo, pág. 204. 2010.
- BRASIL. Lei nº 9.605/98. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 13/12/1998, pág.1. 1998.
- BRASIL. Lei nº 11.428/06. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 26/12/2006. Pág.1. 2006.
- BRASIL. Decreto 6.660/08. Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**. 21/11/2008. Pág.1. 2008.
- BRASIL. Lei 9985/00. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 19/07/2000. Pág.1. 2000.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O corredor central da mata atlântica: uma nova escala de conservação da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Conservação

Internacional e Fundação SOS Mata Atlântica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Conservação Internacional, 2006.

BRITO, D.T. “Inaugurada Base Ambiental da Costa do Cacau” (notícia). Disponível em <https://www.mpba.mp.br/noticia/28432>. Acesso em: 20 de janeiro de 2019. 2013

FERREIRA, X. C. A atuação do Ministério Público na implementação de políticas públicas da área ambiental. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, ano 13, p. 247-267, 2012.

HONORATO, S.C.; LIMA, I.M.S.O.; FARIA, D.M. de. O Ministério Público e as unidades de conservação. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2010.

HONORATO, S. C. **Análise da atuação do Ministério Público nas Unidades de Conservação do Corredor da Mata Atlântica na Bahia**. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**, 2018. Disponível em: www.ibge.cidades.org.br. Acesso em: 20 fev. 2019.

MAPBIOMAS. **Plataforma de mapas e dados**. MapBiomias. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 jan. 2019.

MEIRELLES, H. L. **Mandado de segurança**. São Paulo: Malheiros, 2006.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**. 10. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2015.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA(a). Apresentação. Disponível em: <https://www.mpba.mp.br/area/ceama/apresentacao>. Acesso em 20 ago 2018. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA(b). Núcleo da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.mpba.mp.br/area/ceama/numa>. Acesso em 20 ago 2018. 2018.

PACTO pela restauração da Mata Atlântica. **O Pacto**. Disponível em: <http://www.pactomataatlantica.org.br/>. Acesso em: 6 ago. 2018.

PINTO, L. P., BEDÊ, L., PAESE, A., FONSECA, M., PAGLIA, A., LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. In: ROCHA, C. F. G.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (Orgs.) **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa. 2006. Págs. 91-118.

PRIMACK, R. B. **Biologia da conservação**. Trad. E. Rodrigues. Londrina: Editora UEL, 2001.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: www.qgis.org. Acesso em Setembro 2018. 2017.

SAMBUICHI, R. H., VIDAL, D. B., PIASENTIN, F. B., JARDIM, J. G., VIANA, T. G., MENEZES, A. A.MELLO, D.V., AHNERT, D., BALIGAR, V. C. Cabruca agroforests in southern Bahia, Brazil: tree component, management practices and tree species conservation. **Biodiversity and Conservation**, 21(4), 1055-1077. 2012.

SILVA, M. D. V. **Fatores determinantes do desmatamento da Mata Atlântica no Sul da Bahia**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2013.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas da Mata Atlântica**: dados recentes. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/iniciativa/atlas-da-mata-atlantica/>. Acesso em Dezembro 2019. 2018.

SOUZA, M. C. **Ação civil pública e inquérito civil**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

TEDARDI, M. S. Proteção ao meio ambiente: considerações acerca dos aspectos penais. **Revista F@pciência**, v. 5, n. 6, p. 37-54, 2009.

VIEIRA, E. P. T. P. **O Ministério Público e a defesa dos direitos sociais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.

ZAÚ, A. S. Fragmentação da Mata Atlântica: aspectos teóricos. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 160-170, jan./dez. 1998.

Do sul da Bahia ...



saem barcos que navegam o mundo, com sua boca de camamu na península de Marau,



onde ornem a arte e função, a beleza da necessidade, transformada em artefato.

ESTRATÉGIAS DE MONITORAMENTO IOT-GSM INTEGRADAS A SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

NÍCOLAS MATEUS COSME OLIVEIRA CAMPOS
RAILDO MOTA DE JESUS
GREGÓRIO MATEUS SANTANA

RESUMO

No Brasil, cenários de desabastecimento periódico de água representam obstáculos à saúde e ao bem-estar de indivíduos. Falhas em sistemas de distribuição de água refletem o baixo nível de modernização tecnológica – operacional e gerencial. A disposição de reservatórios de água em estações elevatórias se constitui em uma estratégia para a dinamização da distribuição. Todavia, as manobras de reabastecimento e controle de fluxo, na unidade elevatória estudada, dependem da comunicação entre operadores da estação de tratamento que monitoram visualmente os níveis de água do reservatório. O presente trabalho tem como objetivo descrever a aplicabilidade e os resultados obtidos subsequentes à instalação de sistema personalizado de monitoramento de nível via IoT-GSM em um reservatório de água tratada em estação elevatória no município de Itabuna, Bahia. O sistema é baseado em tecnologia IoT-GSM e programado para a emissão de alarmes por mensagens SMS aos artífices de manobra mediante variações volumétricas nos tanques. O equipamento desenvolvido é baseado na plataforma Arduino e módulo GSM SIM900L programado em C/C++, instalado externamente ao reservatório, através de régua de nível, incorporado a sensores que enviam sinais analógicos e transmitem os estados de medição de nível. A instalação do sistema possibilitou a eliminação de erros relacionados à comunicação, permitiu a realocação de colaboradores para outros setores, contribuiu com a melhoria no controle das manobras de reabastecimento e a redução de casos de transbordos do reservatório. Indicando que a aplicação de sistemas inovadores, baseados em tecnologia IoT-GSM, demonstram respostas positivas às demandas determinadas pelas necessidades propostas no trabalho.

Palavras-chave: Crise hídrica. Boias de nível. Indústria 4.0.



ABSTRACT

In Brazil, periodic water shortage scenarios may represent obstacles to the health and well-being of individuals. Failures in water distribution systems reflect the low level of technological modernization – in both operational and managerial fields. The disposition of water reservoirs in pumping stations constitute as strategies for dynamizing the distribution. However, the refilling of reservoirs and flow control maneuvers depend on the communication between operators from both the water treatment plant and the water pumping facilities that visually monitor the water levels. The present work aims to describe applicability and results obtained after the installation of a customized level monitoring system via IoT-GSM, in a treated water reservoir in a pumping station in the municipality of Itabuna, Bahia, Brazil. The system is based on IoT-GSM technology, and programmed for sending SMS to the maneuver technicians, in the face of critical variations in volume of the tanks. The equipment is based on the Arduino platform and GSM SIM900L module and programmed in C/C++. Its installation was done externally to the reservoir through a level ruler and incorporated into the sensors, which sent analog signals, processing the states level measurement. The installation of the system made it possible to eliminate errors related to communication, relocating employees to other sectors, improving control of flow maneuvers, and reducing cases of overflow from the reservoir. The employed equipment has indicated that the application of innovative systems, based on IoT-GSM technology, demonstrates positive results to the demands determined by the proposed needs.

Keywords: Water crisis. Level buoys. Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

Em um panorama social, o acesso à água potável e ao saneamento são direitos reconhecidos pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), através da Resolução n. 64/292 desde 2010 (UNITED NATIONS, 2010). No Brasil, a água como bem público é garantida pela *Lei 9.433/97* (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Esta lei, caracterizada pela sociedade como iniciativa inovadora, descentralizadora e participativa, inclui a criação de comitês de bacias hidrográficas, envolvendo as três instâncias do poder público, usuários e sociedade civil, possibilitando condições para identificar e arbitrar conflitos pelo uso das águas no âmbito administrativo (BRASIL, 1997).

Segundo Carmo *et al.*, (2007), o comércio indireto da água está incorporado em diversos produtos, em especial, das áreas agrícolas e industriais, enquanto matéria-prima intrínseca, visto que estes consomem grandes volumes de recursos hídricos em seus processos produtivos. Existe uma grande complexidade para sua aferição empírica, mas, técnicos da Agência Nacional de Águas (ANA) (BRASIL, 2019) admitem que, em uma perspectiva geral, a escassez da água poderá transformá-la na principal *commodity* do século XXI, influenciando a política de preços ou o mercado de futuros (BRITTO; REZENDE, 2017).

Este panorama contribuirá para a perpetuação de crises hídricas que afetam muitas regiões do país, causadas pelo aumento do consumo da água, crescimento populacional, demandas das indústrias, setores agrícolas e comerciais, desperdício de água, diminuição sazonal dos níveis de precipitação ou gestão inadequada dos recursos hídricos (SILVA; SANTANA, 2014; CARMO; DAGNINO; JOHANSEN, 2014; CAMILO *et al.*, 2014; MORAIS; FADUL; CERQUEIRA, 2018).

Entre os esforços em prol da mitigação de tal cenário, marcado pela escassez e precariedade, iniciativas podem ser assumidas por entes públicos ou privados. No entanto, tais ações se encontram pouco expressivas, mantendo, ao longo de décadas, pouco ou nenhum impacto (MORETTI; VARALLO; COMARU, 2013). Consoante a esse panorama, o exíguo investimento e a falta de planejamento nos setores de saneamento e tratamento de águas conduzem a falhas operacionais, foco em manutenção corretiva e defasagens tecnológicas, que implicam em resultados pouco satisfatórios (SOUSA; BARROCAS, 2017; CABRAL; RODRIGUES; FONSECA, 2018).

Constitucionalmente, cabe ao Estado brasileiro a promoção e o cumprimento de políticas públicas que assegurem o acesso à água potável para todos os

brasileiros, garantido como direito fundamental à saúde e, sobretudo, à vida. Na prática, no entanto, observa-se que a distribuição do recurso está longe de ser equânime, justificada pelas peculiaridades regionais e reforçada por um sistema de abastecimento constituído e regulamentado que impõem aos consumidores a incerteza e inconstância da disponibilidade deste bem (BRASIL, 1988).

As queixas reiteradas dos consumidores pela descontinuidade no fornecimento da água, compelida por fatores operacionais, afligem e abalam a confiabilidade das concessionárias perante os consumidores. Os principais problemas são: redução da pressão manométrica nas tubulações, planejamento equivocado de manobras, desconhecimento do consumo médio, desperdícios por transbordos, falhas e danos em equipamentos e comunicação ineficaz (ANDREU, 2012; VIEIRA; BAPTISTA, 2008).

O aproveitamento de avanços tecnológicos já disponíveis, segundo Robles *et al.* (2015), possibilitam implementar estratégias de qualidade em diversos serviços. A remodelação sustentada pelas inovações aplicadas aos sistemas de tratamento de águas e efluentes é, portanto, uma ferramenta contributiva para a melhoria dos serviços de abastecimento e saneamento.

A aplicação de tecnologias de Internet das Coisas (IoT, na sigla em inglês para *Internet of Things*), conceito da indústria 4.0, integradas a sistemas de código aberto, é capaz de ressignificar modelos de monitoramento, integrando outras tecnologias para a composição de sistemas. Isso confere com o baixo custo, fácil implementação, alta versatilidade e conectividade a diferentes modelos de sensores e algoritmos (SISINNI *et al.*, 2018; KIM; CHOI; SUH, 2020).

A conectividade IoT, aliada ao *Global System for Mobile Communications* (GSM), que consiste em canais de camadas físicas projetados para atender ao requisito de cobertura estendida, atende áreas remotas e possui baixa complexidade, contribuindo para redução dos custos dos componentes do sistema (COSTA *et al.*, 2017).

O presente estudo descreverá a aplicabilidade e a análise de resultados subsequentes à incorporação de módulo destinado à monitoração, baseado em tecnologia IoT-GSM, programado para emissão de alarmes por mensagens SMS quando detectadas variáveis pré-estabelecidas dos níveis do reservatório de uma estação elevatória. Os componentes instalados são passíveis de coletar, interpretar e enviar informações, em tempo real, para técnicos e gestores, estabelecendo ferramenta confiável para tomada de decisão e prevenção de perdas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O fenômeno de aplicabilidade da tecnologia IoT em sistemas de monitoramento de sistemas de águas já é documentado por autores, a exemplo de Domingues *et al.* (2020), Martinez *et al.* (2020) e Zidan, Maree e Samhan (2018), sendo favoráveis às perspectivas da ampliação da referida inovação nesses setores.

2.1 APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA INTERNET DAS COISAS (IOT)

O paradigma da Indústria 4.0 possui grande relevância, devido ao seu potencial no aumento da produtividade e ampliação das tecnologias de informação atuais. A compreensão de suas definições características e do perfil se tornam um obstáculo para o entendimento científico e mercadológico desse fenômeno (ASSAD NETO *et al.*, 2018). Abrangendo tecnologias emergentes, tais como *blockchain*, controles autônomos, integrações verticais e horizontais de equipamentos, aprendizado de máquinas e inteligência artificial, a Indústria 4.0 é um conceito em contínua transmutação.

A Internet das Coisas (IoT) é uma das tecnologias emergentes que mais se relaciona com o paradigma da Indústria 4.0, uma vez que confere capacidade de conectividade de dados entre ambientes, máquinas, pessoas. Esses sistemas operam por plataformas diversificadas, incluindo Internet, estabelecendo interfaces usuário-máquina (PATTAR *et al.*, 2018).

A IoT provavelmente será um dos avanços tecnológicos mais importantes dos próximos anos. O principal fator habilitador desse paradigma promissor é a integração de várias tecnologias com recursos de identificação, detecção, rede e processamento que lhes permitam se comunicar uns com os outros e com outros dispositivos e serviços pela Internet para atingir algum objetivo.

A IoT se intenciona a tratar a respeito de valores, ideias e oportunidades obtidas através do conceito da interconectividade de seus mundos físicos e digitais. Dependendo de suas necessidades específicas, por meio de dispositivos conectados, é possível obter leituras em tempo real, mesmo quando estão a milhares de quilômetros de distância (OLIVEIRA; GIGLIO, 2018).

Para Oliveira e Giglio (2018), as aplicações estão no topo da arquitetura, exportando todas as funcionalidades do sistema para o usuário final. Através do uso de protocolos de serviço *web* padrão e tecnologias de composição de serviços, as aplicações podem realizar uma perfeita integração entre sistemas

distribuídos e aplicativos. Os efeitos mais evidentes da introdução da IoT serão observados nos campos domésticos e de trabalho. Nesse contexto, a vida assistida, a saúde eletrônica e o aprendizado aprimorado são apenas alguns exemplos de possíveis cenários de aplicação em que o novo paradigma desempenhará um papel de liderança no futuro próximo.

A lógica de cocriação urbana de base cidadã sustentada por processos tecnológicos, como a IoT, permite acesso pleno à informação que serve ao contínuo desenvolvimento de uma visão de planejamento estratégico partilhada, com vista à supervisão de variados serviços municipais e, conseqüentemente, também é útil à tomada de decisão em tempo real, através dessa estratégia inovadora (ALVES; DIAS; SEIXAS, 2019).

A versatilidade da Internet das Coisas como instrumento definiu sua aplicabilidade em múltiplos setores, tais como: agroindústria, geração de energia, gestão de cadeia de mantimentos e hidroponia (MIRANI *et al.*, 2019; HARAS; SCOTNICKI, 2018; BEDI *et al.*, 2018). Quando contextualizada em âmbito industrial, a IoT revela oportunidades à conectividade, facilidade ao acesso a dados, à automação, à supervisão e ao controle de processos. Isso implica em aumento na eficiência produtiva e na qualidade final do produto, reduzindo tempo e custos de produção, permitindo o direcionamento de capital para setores de sustentabilidade e meio ambiente de empresas – como a redução de emissão de gases e tratamento eficaz de efluentes (MÜLLER; DOTZAUER; VOIGT, 2017).

2.1.1 Sistemas de águas e efluentes e a tecnologia IoT

A amplitude das aplicações IoT indica sua ascensão e implantação global em unidades de tratamento de águas e efluentes, direcionando estratégias de detecção e correção remota de falhas eletromecânicas, automatizando processos, monitorando parâmetros de qualidade e registrando o consumo e reuso das águas (DOMINGUES *et al.*, 2020; MARTINEZ *et al.*, 2020; ZIDAN; MAREE; SAMHAN, 2018).

No contexto da gestão e do tratamento de águas e efluentes, cabe citar o trabalho desenvolvido por Edmondson *et al.* (2018), no qual dados de sensores e microcontroladores instalados em zonas propícias a enchentes urbanas alimentavam um sistema IoT preditivo de enchentes em tempo real na cidade de Newcastle Upon Tyne, no Reino Unido. Os dados obtidos pelo protótipo ainda foram capazes de fornecer informações sobre padrões meteorológicos na re-

gião de instalação e sobre problemas estruturais, como oclusões nas redes de escoamento de efluentes domésticos.

Em uma busca de anterioridade relacionada ao tema, foi possível encontrar resultados sobre aplicação de tecnologias de monitoramento da qualidade da água voltadas ao apoio do trabalho de Engenheiros Agrônomos no Instituto Federal do Tocantins, *campus* de Dianópolis, Tocantins, em pesquisas relacionadas à hidroponia. O sistema multiparâmetro proposto, desenvolvido pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Sistemas, da Universidade Federal do Tocantins, consistiu em utilização de sensores de condutividade elétrica e pH ligados a um microcontrolador integrável a plataformas IoT (LEAL JUNIOR; ARAUJO; TAVARES, 2020).

Não obstante, Robles *et al.* (2015) propõem a utilização da IoT para o monitoramento de variáveis em processos relacionados à gestão de águas de abastecimento, tais como: consumo, distribuição, identificação de sistemas e manutenção de equipamentos. De tal modo, caracteriza-se em uma arquitetura para um sistema de abastecimento e tratamento inteligente. Da mesma ordem, Rezwani *et al.* (2019) delineiam uma abordagem minimalista para o monitoramento de variáveis em uma planta de tratamento de efluentes, supervisionando variáveis como pH, turbidez e temperatura, demonstrando a eficácia na monitoração dos estados operacionais da planta.

Pertinente inquietação propõe a pesquisa de Oliveira (2019), sobre Indústria 4.0 e possíveis impactos à sustentabilidade e à empregabilidade. Isso deve ser considerado, pois o foco da Indústria 4.0 é na produção, envolvendo numerosos elementos do conjunto produtivo, promovendo a interação entre sistemas cibernéticos e físicos, modelos de plantas etc., através de transmissão automática de dados em tempo real e de automação de comandos, sem intervenção humana, partindo de inteligência artificial. Ainda que esse novo paradigma represente novas oportunidades para profissionais capacitados nas áreas de engenharia, sistemas da informação e computação (GRZELCZAK; KOSACKA; WERNER-LEWANDOWSKA, 2017), os efeitos da automação podem decretar reduções nas ofertas de emprego devido ao aumento da produtividade e da substituição da mão-de-obra humana por sistemas de baixo custo. Isso acarretaria a extinção de profissões e descarte de operários, evento que afetará todo cenário socioeconômico (RAJNAI; KOCSIS, 2017).

Tendo em vista o aumento da automação dos processos fabris e de manufatura no futuro, Gabriel e Pessl (2016) descrevem um aumento no emprego nas áreas de coordenação e condução de sistemas com o avanço da Indústria

4.0, valorizando a interdisciplinaridade e a diminuição de tarefas simples e repetitivas por parte de operadores humanos. Por outro lado, a pressão psicológica e mental devido ao esforço cognitivo pode potencializar casos de estresse psicológicos, requerendo uma maior conciliação vida-trabalho por parte das ocupações. Uma questão abordada acerca da empregabilidade humana com a digitalização dos processos é o risco do desaparecimento de uma considerável parcela das ocupações no setor de manufatura (STOCK e SELIGER, 2016) – como asseguração de qualidade ou operação de máquinas – e a descentralização da tomada de decisões de curto e médio prazo para módulos ou inteligências artificiais (TESCH, BRILLINGER e BILGERI, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO

O projeto demandado em parceria com a Empresa de Águas e Saneamento (EMASA) de Itabuna, Bahia, selecionou a Estação Elevatória de Água do bairro Góes Calmon para a instalação do sistema inteligente de monitoramento de nível remoto IoT-GSM. A referida estação tem capacidade para 6.750 m³ de água tratada, responsável pela distribuição, através de adutoras, para oito bairros da zona leste da cidade.

Durante o diagnóstico situacional, foi observado que a estação operava com sistema de monitoramento visual, utilizando régua de nível com demarcação de três níveis (cheio, médio e vazio). Anterior à instalação do sistema, a estação possuía seis operadores que revezavam diuturnamente em escala de 24h por 48h (24h de trabalho e 48h de descanso), para estabelecer comunicação com os artefices de manobra de campo quanto ao nível do reservatório da estação e a necessidade de reabastecimento. Eles recomendavam a abertura ou o fechamento da rede adutora da elevatória. Suas funções também incluíam acionamento e desligamento manual do motor-bomba e o monitoramento de falhas nos sistemas de boias.

3.2 MICROCONTROLADOR GSM PARA MEDIÇÃO DE NÍVEL EM TANQUE RESERVATÓRIO

O projeto consistiu na implementação de um Arduino UNO R3 (Arduino, Itália) que consiste em uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware*

livre, projetada com um microcontrolador para linguagem de programação padrão C/C++. Tal utilização se justifica pelo caráter de código aberto dessa plataforma, facilitando a difusão de códigos, esquemas e planos de controle assim como a sua melhoria contínua. O microcontrolador foi programado utilizando a Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), conduzindo leituras analógicas para definição dos estados de medição de nível por parte de três boias instaladas e a utilização de suas portas digitais para envio e recebimento de informações da rede GSM por parte do seu respectivo módulo.

Apesar de o Arduino UNO R3 não possuir funcionalidades de conexão GSM nativa em seus modelos padrões, seu *hardware* possui suporte para comunicação serial em suas portas digitais. Isso significa que pode haver a comunicação de duas unidades microcontroladoras a uma taxa *baud* de até 115200 *bits* por segundo. Através dessa funcionalidade, foi desenvolvida uma interface entre a placa Arduino UNO R3 e um *chip* SIM800L GPRS GSM (SimCom, China). O SIM800L é um modelo de modem GSM *quadri-band* (GSM850, EGSM900, DCS1900 e PCS1900) sendo compatível com redes globais GSM por meio de *chips* SIM e Micro SIM 2G.

Com a devida conexão UART entre o microcontrolador e o módulo GSM, os comandos de envio de SMS do Arduino UNO ao SIM800L foram mediados por Comandos AT a uma taxa *baud* de 9600 bps. Todo o sistema foi alimentado com uma fonte chaveada de 12V 2A.

3.2.1 Medição de nível

A instrumentação para a medição do nível envolveu o emprego de boias de nível. Desse modo, aproveitando sua flutuação quando em contato com a lâmina d'água, fecha-se um circuito similar a uma chave elétrica. As boias de nível são amplamente utilizadas em sistemas de automação de bombas e válvulas solenoides, assim como monitoramento por circuitos elétricos pela ativação de LEDs.

O sistema de medição foi composto de três boias de nível (Eicos, Brasil) – superior, intermediária e inferior – e alimentado por um circuito de 12 V. Quando acionado pelas boias, interrompe o circuito, acionando um relé normalmente aberto que fecha um contato, enviando um sinal analógico para as portas da placa. Apenas as boias superior e inferior têm conexão com as portas analógicas do Arduino. A boia de nível intermediária apenas aciona um LED, objetivando a visualização mais precisa do nível por parte dos operadores da estação.

As três boias foram dispostas verticalmente às paredes do reservatório, fixadas com uma bucha de redução rosqueável, com os fios embutidos em tubos PVC fixados por uma base cilíndrica, dimensionada de acordo com a profundidade do reservatório e fixadas com uma base de concreto. A Figura 1 demonstra em detalhe o arranjo de um tubo T para a contenção das boias e sua ligação com a distribuição de fios de energia.

Figura 1 - Detalhe da instalação da boia e dos fios elétricos para conexão com a placa fixados à parede do reservatório em agosto de 2018

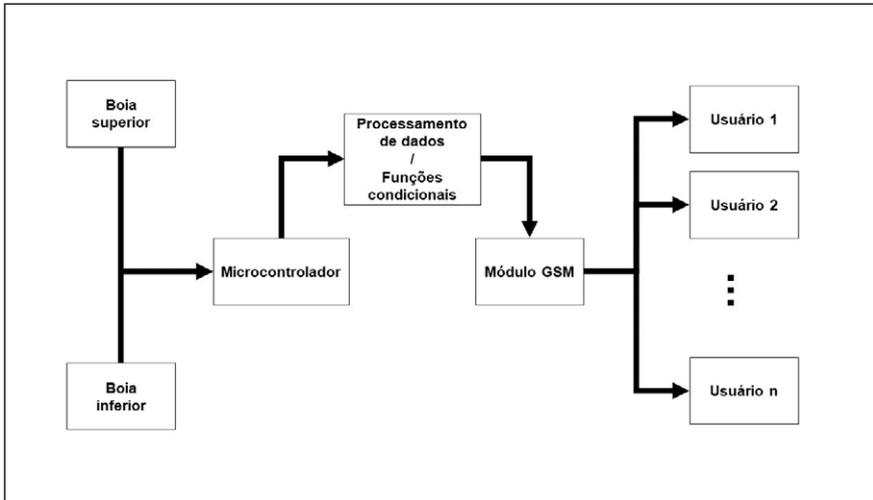


Fonte: Acervo dos autores.

O tubo PVC tem boias interligadas ao reservatório com conexão do tipo joelho. Desse modo, as medições de nível são realizadas a partir da altura manométrica da água, não necessitando o contato direto com o reservatório.

A Figura 2 demonstra o esquema de conectividade do sistema de monitoramento de nível.

Figura 2 - Esquema de conectividade e fluxo de sinais do sistema de monitoramento de nível remoto IoT-GSM



Fonte: Acervo dos autores.

3.2.3 Plano de monitoramento e segurança contra falhas

O plano de monitoramento telemétrico desenvolvido possui a função definida de alertar em casos de mudanças de estado volumétrico do reservatório. Foram definidos alertas para “tanque cheio” e “tanque vazio”, de acordo com o fechamento ou abertura das boias:

- Com a boia superior e inferior fechadas, o sistema designa o estado como “tanque cheio”;
- Com a boia superior aberta e a boia inferior fechada, o sistema designa o estado como “tanque intermediário”;
- Com as boias superior e inferior abertas, o sistema interpreta esse estado como “tanque vazio”.

A detecção dos estados “fechado” e “aberto” das boias ocorre por leitura das portas analógicas. Quando uma boia está aberta, o sinal analógico detectado pelo Arduino UNO é de 675 bits. Quando fechada, retorna valores próximos a 0 bits. A interferência eletromagnética e a fonte de energia podem causar flutuações nas leituras analógicas quando o circuito de medição de nível está aberto (boia fechada). Portanto, para a interpretação do microcontrolador, foi determinado um *offset* de 200 bits para compensar efeitos da flutuação.

Com a mudança de estado, seja ela o esvaziamento, seja o preenchimento do reservatório, é ativada uma função modular no código que envia um SMS “tanque Estação Góes Calmon – cheio” ou “tanque Estação Góes Calmon – vazio” de acordo com a leitura em tempo real e com o atual estado do nível. A placa microcontroladora foi programada para enviar essa mensagem para quatro usuários, a saber: dois artifices de manobra, o diretor técnico da estação de tratamento de águas e o chefe de manutenção.

Uma caixa controladora foi fixada na área externa do reservatório, dentro da estação, em local de boa visibilidade e acesso, contendo as placas e os componentes do sistema (Figura 4). Em sua tampa de proteção, foram instalados dois LEDs (um verde e outro vermelho), integrados ao circuito, estabelecendo a seguinte interpretação: LED verde aceso indica o tanque cheio; LEDs verde e vermelho simultaneamente acesos indicam tanque em seu nível intermediário; e apenas o LED vermelho aceso indica que o tanque se encontra em nível crítico de esvaziamento. As pessoas envolvidas no processo foram treinadas para realizar a leitura do sistema e acionar a equipe de manutenção em casos de dúvidas ou falhas no sistema.

Figura 3 - Módulo controlador (comandos e LEDs) fixado em área externa do reservatório



Fonte: Acervo dos autores.

Acautelando-se de eventuais situações de falhas no envio de mensagens, por causas diversas, foi incorporada uma quarta boia, alimentada por fonte de energia independente (baterias). As eventuais causas poderiam ser: falha no sinal da operadora ou SIM-Card, comunicação ineficaz, atraso ou impedimento

do deslocamento do manobrista/operador até a estação, entre outras. A boia denominada pela equipe como “boia de emergência” impede a pane seca, sendo capaz de desligar todo o sistema de bombeamento da unidade, devido a sua instalação em ponto estratégico de nível crítico de esvaziamento, porém suficientemente seguro para desligamento, antes que as bombas centrífugas operem sem escorva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema IoT para monitoramento de nível do reservatório da Estação Elevatória do bairro Góes Calmon, em Itabuna-Bahia, da Empresa Municipal de Águas e Saneamento S.A. (EMASA), mantém-se operando desde sua instalação em agosto de 2018, estabelecendo soluções para demandas observadas no processo de trabalho, tais como: melhoria da qualidade da informação referente ao nível do reservatório, automação do acionamento e desligamento de emergência de motores e bombas, prevenindo danos a equipamentos e bombas causados por pane seca e precaução de transbordos.

A capacidade do sistema IoT em resolver problemas com foco em situações peculiares de cada serviço constitui um grande diferencial, considerando execuções prioritárias e condicionais, contribuindo para a otimização de processos (ROBLES *et al.*, 2015).

A proposta de operacionalidade do módulo de monitoramento remoto envolveu ainda critérios de adaptabilidade, considerando adesão da equipe operacional, emissão de mensagens concisas, dispensa física contínua de operadores na estação para verificação e comunicação acerca dos níveis do reservatório, fidedignidade de leitura do nível, agilidade de transmissão de alertas e segurança contra falhas.

Corroborando com Sisinni *et al.* (2018) acerca da capacidade, versatilidade e conectividade do sistema IoT em ressignificação de modelos de monitoramento, conferiu baixo custo e agilidade de forma adaptável às necessidades das atividades propostas.

Como resultados dos aspectos operacionais no processo de trabalho, foram observados, através da utilização do equipamento, facilidade interpretativa dos alertas emitidos pelo sistema, após breve treinamento e demonstração *in loco* independentemente do nível de formação, escolaridade ou conhecimento sobre informática e mídias sociais, demonstrando a universalidade da aplicação de um sistema IoT-GSM.

Falhas de recepção de novas mensagens figuraram como aspecto limitante. Apesar de os sensores detectarem as alterações dos níveis e de o sistema transmitir adequadamente os alertas, devido ao acúmulo de mensagens em aparelhos com baixa capacidade de memória, adquiridos pela concessionária e cedido aos operadores do serviço, foi necessário um ritual de limpeza de mensagens e seu *delete* semanal para liberação de memória suficiente para o recebimento de novas mensagens.

Esclarecendo que o uso de aparelhos com maior conectividade, capacidade de armazenamento e melhor performance são recomendados. Porém, não é impeditivo à utilização de equipamentos simples, visando a reduzir o custo.

A demanda gerencial e operacional de liberação de operadores para realocação para outras unidades com maior necessidade de pessoal foi exitosa, considerando que operadores de Estação de Tratamento de Águas (ETA) são profissionais cuja qualificação demanda investimento e tempo. Tais profissionais recebem salários estimados entre R\$ 1.400,00 a R\$ 2.000,00 mensais, ocorrendo dificuldades para recrutamento de profissionais com habilitação para esta função. Estima-se que a otimização de recursos financeiros após a instalação do sistema, apenas com a transferência de operadores, foi de R\$ 180.000,00/ano, quando adicionado os encargos sociais trabalhistas.

A estação opera com conjunto motor-bomba de 100 CV. A unidade custa em média R\$ 140.000,00. A aquisição destes equipamentos depende de solicitação e montagem com características específicas. Após o processo de orçamento, licitação e liberação do pagamento, fabricantes, em geral, programam a entrega para um prazo de 45 dias. Portanto, o sistema de emergência, programado para automatização do desligamento geral de bombas e equipamentos, através da alimentação de energia independente, por baterias, é imprescindível e, quando instalado, foi testado e aprovado pela equipe operacional e gerencial. Sua comprovada eficiência no desligamento, acionado pela “boia de emergência”, colabora com a prevenção de danos aos equipamentos quando, apesar de recebidas as mensagens, a equipe não dispõe de condições para desligar manualmente o sistema, prevenindo inclusive o desabastecimento para a comunidade.

Segundo Mausbach (2019), a capacidade da tecnologia de interface da IoT com motores e bombas pode ser facilmente desenvolvido com algoritmos personalizáveis, incluindo acionamento, desligamento, transmissão remota de suas condições de funcionamento e até mesmo desativação com vistas a evitar panes e prejuízos.

O módulo de comando externo, fixado na área de descanso dos manobristas, atende às necessidades das demandas operacionais, sendo ferramenta conveniente, promovendo diagnóstico dos níveis dos reservatórios, através da visualização direta por LEDs, em caso de falha ou ausência do aparelho de telefonia. O sistema instalado tornou a transmissão de informações entre manobristas, operadores e supervisores de manutenção ágil e direta, sem interlocuções, através de alarmes programados no sistema e de transmissão automática das variações de níveis pré-estabelecidos, em tempo real.

O sistema não se mostrou apto a mensurar os níveis volumétricos de água, o que seria uma vantagem gerencial, pois tornaria os registros e a elaboração de relatórios úteis confiáveis para programação de reabastecimento. Essa incapacidade também impediu o estabelecimento das demandas volumétricas semanais programadas, que colaborariam gerencialmente para tomada de decisão durante período de crises hídricas na região.

Os sistemas de monitoramento por IoT-GSM vêm apresentando resposta positiva à maior parte dos critérios observados. Seus benefícios se destacam quando comparamos aos sistemas eletrônicos e eletromecânicos isolados, de eficiência limitada. As demandas não alcançadas estabelecem incentivo para pesquisas e aperfeiçoamento do sistema, visto que avanços tecnológicos se encontram em pleno desenvolvimento e apresentam potencialidades. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos aspectos operacionais e/ou gerenciais obtidos após a implementação da tecnologia.

Tabela 1 - Síntese de resultados obtidos por levantamento dos pontos positivos e negativos subsequentes à instalação do sistema de monitoramento remoto IoT-GSM

Demandas	Aspecto	Alcance	Resultados
Melhoria da qualidade de informação	Operacional	Positivo	Agilidade na comunicação, por alertas transmitidos pelo sistema.
Adaptação e adesão do sistema pela equipe	Operacional	Parcialmente positivo	Falhas determinadas por acúmulo de mensagens nos aparelhos telemóveis, impedindo recebimento de novas mensagens.
Confiabilidade de leitura pelos sensores	Operacional	Positivo	Comprovação da fidedignidade das informações enviadas relativas aos níveis do reservatório, comparadas visualmente.
Dispensa de presença física contínua de operadores na estação	Operacional / Gerencial	Positivo	Transferência de operadores para unidades com maior necessidade de operadores.
Automação do acionamento e desligamento de motores e bombas	Operacional	Positivo	Eficiência do sistema preventivo de desligamento na ocorrência de falhas operacionais e de sistemas, acionado pela “boia de emergência”.
Prevenção de danos a equipamentos e bombas	Operacional / Gerencial	Positivo	Ausência da ocorrência de danos e substituições de bombas por pane seca após a instalação do sistema.
Atuação do módulo externo	Operacional	Positivo	Facilidade de obtenção de diagnóstico através do módulo de controle, por visualização direta dos LEDs, mesmo na ausência do aparelho de telefonia.
Conhecimento do consumo pelas comunidades atendidas pela estação	Gerencial	Negativo	Incapacidade do sistema em mensurar os níveis volumétricos, que tornaria os registros e a elaboração de relatórios úteis confiáveis para programação de reabastecimento.
Redução das queixas comunitárias relativas a interrupções no abastecimento	Gerencial	Negativo	Ausência de levantamento comparativo acerca da satisfação e redução do número de queixas sobre interrupção do abastecimento após instalação do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de tratamento de águas e efluentes, considerando a realidade local, necessita de modernização e investimento em tecnologias inovadoras com o intuito de corrigir um histórico inadequado de investimentos, caracterizados por elevadas despesas operacionais, alto consumo energético, instabilidade a interrupções no abastecimento e evitável substituições de equipamentos.

O sistema apresentado se encontra em pleno funcionamento na Estação Elevatória Góes Calmon, em Itabuna-Bahia, comprovando que a Internet das

Coisas (IoT) é indicada para articular a transversalidade entre avanços tecnológicos, preservação ambiental e garantia social.

A possível ocorrência de uma crise sócio-econômica-existencial, pautada na substituição do homem pela máquina, persegue a humanidade desde a Primeira Revolução Industrial. Em todas as transições desse processo, a superação se deu pelo entendimento de que a evolução é inevitável e que a adaptação do homem se dará pela qualificação para novos serviços que surgirão, implementando-se, nesta geração e nas gerações vindouras, ferramentas para enfrentamento deste e de novos paradigmas.

O desenvolvimento de *hardware/software* que revertam agravos socioambientais e beneficiem a coletividade é conveniente, desde que prevaleça a responsabilidade social, reconhecendo e respeitando as peculiaridades da população, sobretudo aquelas que apresentam maior nível de vulnerabilidade.

Concluimos que os sistemas IoT-GSM configuram versátil ferramenta para aprimoramento de serviços, tais como saúde, segurança, educação e demais direitos sociais previstos na Constituição Brasileira.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. A.; DIAS, R. C.; SEIXAS, P. C. Smart cities no Brasil e em Portugal: o estado da arte. **Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1-15, 2019.

ANDREU, Vicente. Água para as cidades brasileiras. Agência Nacional de Águas-ANA, 2012.

BEDI, G.; VENAYAGAMOORTHY, G. K.; SINGH, R.; BROOKS, R. R.; WANG, K. Review of Internet of Things (IoT) in electric power and energy systems. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 2, p. 847-870, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433**: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997.

BRITTO, A. L.; REZENDE, S. C. A política pública para os serviços urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil: financeirização, mercantilização e perspectivas de resistência. **Cadernos Metrôpole**, v. 19, n. 39, p. 557-581, 2017.

CABRAL, L. S. L.; RODRIGUES, E. C.; FONSECA, A. Privatizar ou não privatizar? Uma análise longitudinal dos serviços de abastecimento de água no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 811-822, 2018.

CAMILO, J. A.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; TIGGES, C. H. P.; CHAN, C. S. Resposta da cultura do milho a cenários de mudanças no regime de chuvas. *In*: CONGRESSO NACIO-

NAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 106.

CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. T. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente & sociedade**, v. 10, n. 2, p. 83-96, 2007.

CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; JOHANSEN, I. C. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, n. 1, p. 169-190, 2014.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. 1988.

COSTA, J. W. S.; ASSIS, J. M. M.; MELO, M. D. M.; XAVIER, S. S. M.; MELO, G. S. M.; COSTA, I. K. F. Tecnologias envolvidas na promoção da segurança do paciente no processo de medicação: uma revisão integrativa. **Cogitare Enfermagem**, v. 22, n. 2, p. 1-9, 2017.

DOMINGUES, A. M.; FRANCO, J. A. B.; AFRICANO, N. A.; BATTISTELLE, R. A. G. Tecnologias da indústria 4.0 como ferramentas disruptivas para auxiliar no reuso da água nas indústrias. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1621-1635, 2020.

EDMONDSON, V.; CERNY, M.; LIM, M.; GLEDSON, B.; LOCKLEY, S.; WOODWARD, J. A smart sewer asset information model to enable an ‘Internet of Things’ for operational wastewater management. **Automation in Construction**, v. 91, p. 193-205, 2018.

GABRIEL, M.; PESSL, E. Industry 4.0 and sustainability impacts: Critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. **Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara**, v. 14, n. 2, p. 131, 2016.

GRZELCZAK, A.; KOSACKA, M.; WERNER-LEWANDOWSKA, K. Employees competences for Industry 4.0 in Poland—preliminary research results. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*, n. icpr, 2017.

HARAS, M.; SKOTNICKI, T. Thermoelectricity for IoT – a review. **Nano Energy**, v. 54, p. 461-476, 2018.

KIM, S.; CHOI, Y.; SUH, J. Applications of the open-source hardware Arduino platform in the mining industry: a review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 14, p. 5018, 2020.

LEAL JUNIOR, W. B.; ARAUJO, H. X.; TAVARES, F. M. Monitoramento da qualidade da água utilizando plataforma de Internet das Coisas. **Humanidades & Inovação**, v. 7, n. 9, p. 46-53, 2020.

MARTÍNEZ, R.; VELA, N.; AATIK, A.; MURRAY, E.; ROCHE, P.; NAVARRO, J. M. On the use of an IoT integrated system for water quality monitoring and management in wastewater treatment plants. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1096, 2020.

MAUSBACH, L. B. **Método para monitoramento de motores de corrente contínua integrados a redes de IoT**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações). Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019.

MIRANI, A. A.; MEMON, M. S.; RAHU, M. A.; BHATTI, M. N.; SHAIKH, U. R. A review of agro-industry in IoT: applications and challenges. **Quest Research Journal**, v. 17, n. 1, p. 28-33, 2019.

MORAIS, J. L. M.; FADUL, E.; CERQUEIRA, L. S. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do nordeste do Brasil. **REAd, Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 238-264, 2018.

MORETTI, R. S.; VARALLO, L. S.; COMARU, F. O direito à água potável e os riscos de desabastecimento: um estudo do ABC paulista. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 290-305, 2013.

MÜLLER, J.; DOTZAUER, V.; VOIGT, K. Industry 4.0 and its impact on reshoring decisions of German manufacturing enterprises. In: BODE, C.; BOGASCHEWSKY, R.; EBIG, M.; LASCH, R.; STÖLZLE, W. **Supply Management Research**. Springer Gabler, Wiesbaden, 2017. p. 165-179.

ASSAD NETO, A.; PEREIRA, G. B.; DROZDA, F. O.; SANTOS, A. P. L. A busca de uma identidade para a indústria 4.0. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 4, p. 1379-1395, 2018.

OLIVEIRA, R. P. **IoT e a indústria 4.0**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Controle e Automação). Anhanguera Educacional, 2019.

OLIVEIRA, T. R.; GIGLIO, G. P. M. Análise de estudo de casos em abordagens pelo mundo da implementação de Internet das Coisas. **Caderno de Estudos em Sistemas de Informação**, v. 1, n. 2, p. 1-23, 2018.

PATTAR, S.; BUYYA, R.; VENUGOPAL, K. R.; IYENGAR, S. S.; PATNAIK, L. M. Searching for the IoT resources: fundamentals, requirements, comprehensive review, and future directions. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 20, n. 3, p. 2101-2132, 2018.

RAJNAI, Z.; KOCSIS, I. Labor market risks of industry 4.0, digitization, robots and AI. In: International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 15. **Anais...** Subotica, Serbia, IEEE, 2017. p. 343-346.

UNITED NATIONS. **Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010**, 2010. Disponível em: <https://undocs.org/A/RES/64/292>. Acesso em: 26 mar. 2020.

REZWAN, S.; ISHTIAK, T.; RAHMAN, R.; RAHMAN, H. A.; AKTER, M.; RATUL, H. A.; HOSAIN, M. S.; JAKARIYA, M. A minimalist model of IoT based sensor system for sewage treatment plant monitoring. In: Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 10. **Anais...** Vancouver, BC, Canada, IEEE, 2019. p. 939-945.

ROBLES, T.; ALCARRIA, R.; MARTÍN, D.; NAVARRO, M.; CALERO, R.; IGLESIAS, S.; LÓPEZ, M. An IoT based reference architecture for smart water management processes. **Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications**, v. 6, n. 1, p. 4-23, 2015.

SILVA, M. A.; SANTANA, C. G. Reuso de água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **Revista do CEDS**, n. 1, p. 1-14, 2014.

SISINNI, E.; SAIFULLAH, A.; HAN, S.; JENNEHAG, U.; GIDLUND, M. Industrial internet of things: challenges, opportunities, and directions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 10, p. 1-11, 2018.

SOUSA, A. C. A.; BARROCAS, P. R. G. Privatizar ou não privatizar: eis a questão. A única questão? A reedição da agenda liberal para o saneamento básico no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, p. 1-15, 2017.

STOCK, T.; SELIGER, G.. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 40, p. 536-541, 2016.

TESCH, J.; BRILLINGER, A.; BILGERI, D. Internet of things business model innovation and the stage-gate process: An exploratory analysis. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 05, p. 1740002, 2017.

VIEIRA, J. M. P.; BAPTISTA, J. M. Indicadores de desempenho para melhoria dos serviços de saneamento básico. **Engenharia Civil-UM**, v. 33, p. 87-112, 2008.

ZIDAN, N.; MAREE, M.; SAMHAN, S. An IoT based monitoring and controlling system for water chlorination treatment. *In*: International Conference on Future Networks and Distributed Systems, 2. **Anais...** 2018. p. 1-6.

METAIS PESADOS: O QUE SABEMOS OU DEVERÍAMOS SABER SOBRE ELES?

FERNANDA BONFIM ROCHA
RAILDO MOTA DE JESUS
EDSON JOSÉ WARTHA
JULIANA STRACIERI
GREGÓRIO MATEUS SANTANA

RESUMO

Os metais têm sido classificados, especificamente em grupos, em diversos estudos científicos, principalmente nas áreas biológicas e ambientais. Um dos termos que geram maior controvérsia na literatura é o “metal pesado”, que geralmente está vinculado a características toxicológicas e poluentes. Ao longo dos anos, o termo vem sendo definido de maneira variada por pesquisadores em diferentes áreas. As principais definições atribuídas à terminologia estão vinculadas, em sua maioria, à densidade, massa atômica, toxicidade e bioacumulação, sem que haja uma perspectiva de concordância em sua definição. Nesta pesquisa, analisamos o uso do termo em diversos estudos e pesquisas das diferentes áreas do conhecimento, na qual descobrimos que não há consenso sobre o uso mais apropriado dessa terminologia.

Palavras-chave: Metais pesados; Metais tóxicos; Consenso científico.



ABSTRACT

Metals have been classified specifically in groups in several scientific studies, mainly in biological and environmental areas. One of the terms that generates great controversy in the literature is the term “heavy metal”, generally associated with toxicological and polluting characteristics. Over the years, the term has been defined in a different way by researchers in different areas. The main definitions attributed to the terminology are mostly related to density, atomic mass, toxicity and bioaccumulation, without a perspective of agreement in its definition. In this research, we analyze the use of the term in different studies and research from different areas of knowledge, and we found that there is no consensus on the most appropriate use of this terminology.

Keywords: Heavy metal; Trace metal; Scientific consensus.

1 INTRODUÇÃO

No presente estudo, buscam-se alternativas metodológicas para pensar o processo de construção e divulgação do conceito de “metal pesado” em diferentes áreas do conhecimento. É importante salientar que o conceito em questão, além de ser constituído por uma natureza que o particulariza, adquire real interesse quando a ele congregam-se diferentes significados, em diferentes áreas de atuação, que são reconhecidos pela comunidade científica, remetendo a uma possível polissemia em relação ao termo.

O processo histórico de construção de um conceito tem sido objeto de estudo de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, geralmente com o objetivo de compreender nuances históricas e epistemológicas sobre determinado conceito. Através do uso da história e da epistemologia, podemos conhecer a gênese desse conceito, algumas concepções que se sucederam em diferentes contextos e as modificações ocorridas ao longo do tempo e em diferentes campos do conhecimento (OKI, 2002). Estudos que fazem uso do referencial histórico-epistemológico podem revelar algumas relações importantes com outros conceitos, que certamente serão importantes para o ensino de ciências em diferentes áreas.

O conceito “metal pesado”, objeto deste estudo, pode ser encontrado nos livros de química, de física, de biologia e em alguns livros da área de saúde e de ciências ambientais. Em algumas destas áreas, pode aparecer com outras denominações, como, por exemplo, “metal traço” ou “metal potencialmente tóxico” (POURRET; BOLLINGER, 2017).

Dada a polissemia verificada sobre o uso do termo “metal pesado”, este estudo teve por objetivo analisar o uso da terminologia nos principais artigos publicados em revistas científicas que, com muita frequência, são usados como referenciais na elaboração de livros didáticos em cursos superiores, na área de ciências exatas, biológicas, ambientais e da saúde.

Dessa forma, a pesquisa foi realizada através da busca, em revistas científicas, das principais palavras-chave relacionadas ao tema, tais como, “metal pesado”, “metais tóxicos” e “elementos traço”. Também foram analisados os principais artigos que se referem à discussão do uso do termo “metal pesado” na literatura científica e seus principais critérios de definições.

2 UMA REVISÃO SOBRE O USO DO TERMO METAL PESADO

Nas últimas décadas, diversos autores têm utilizado o termo “metal pesado” com diferentes significados. Duffus (2002), descreve que um dos primeiros locais que se tem conhecimento sobre o uso científico do termo foi encontrado na literatura inglesa, de acordo com o dicionário *Oxford English Dictionary*, em *Bejerrum's Inorganic Chemistry*, publicado em Londres em 1936. A definição é baseada na densidade: classifica “metal pesado” como todo metal com densidade superior a 7 g cm^{-3} . Novas definições surgiram na *International Encyclopedia of Chemical Science*, em 1964, e no *Grant & Hackh's Chemical Dictionary*, em 1987, em que os editores definem o termo como metais com densidade superior a 4 g cm^{-3} (DUFFUS, 2002). Alguns anos mais tarde a definição foi escolhida como sendo maior que 5 g cm^{-3} (PARKER, 1989; LOZET; MATHIEU; JAMAGNE, 1991; MORRIS, 1992). A última mudança encontrada foi de 1996, na qual a densidade do metal deve variar entre 3,5 e 5 g cm^{-3} (DUFFUS, 2002).

Apesar de não existir uma definição clara sobre o termo, na maioria dos casos, a densidade é considerada determinante para a definição conceitual. Dessa forma, “metais pesados” são definidos como aqueles que apresentam uma densidade específica que pode variar de 3,5 a 7 g cm^{-3} (JARUP, 2003), estando, sobretudo, diretamente relacionados à contaminação e ao alto teor tóxico (FERREIRA; HORTA; CUNHA, 2010).

A densidade não foi o único fator a ser usado na definição de “metal pesado”. Algumas definições são encontradas tendo como referência a massa atômica. Em *The environment: a dictionary of the world around us*, em 1976, o termo “metal pesado” foi designado para metais com alta massa atômica. Em 1986, Bennet relacionou o termo a elementos que possuíam massas atômicas maiores que o sódio, ou seja, maior que 23, assim como Lewis, em 1993. Rand, em 1995, atribuiu metais com massas atômicas acima de 40 aos metais pesados (DUFFUS, 2002).

Esta nova forma de definir “metal pesado” se aproximaria das noções de elemento químico da tabela periódica dos elementos. No entanto, o critério associado ao termo se encontra com muitas inconsistências, pois entra em conflito com as demais definições propostas que sugerem, por exemplo, que o termo esteja ligado à toxicidade. Em 2000, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, em seu Termo de Meio Ambiente, classificou “metal pesado” como sendo elementos de alto peso atômico (DUFFUS, 2002), como o mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e arsênio, que poderiam prejudicar os organismos em baixas con-

centrações e acumular-se por meio da cadeia alimentar (MCLAUGHLIN; PARKER; CLARKE, 1999).

É possível encontrar referências mais atuais designando o termo “metal pesado” a elementos naturais que possuem alta massa atômica e com densidade pelo menos cinco vezes maior que a da água (TCHOUNWOU *et al.*, 2012). Para Ali e Khan (2018), o uso do termo “metal pesado” deve continuar na literatura científica, porém sua definição deve ser mais abrangente e científica, considerando metais pesados como aqueles que são de ocorrência natural com um número atômico maior que 20 e uma densidade maior que 5 g cm^{-3} . De acordo com essa definição, 51 dos elementos da tabela periódica seriam denominados como “metal pesado”.

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), em seu relatório técnico, reconhece que o critério de definição em relação ao número atômico não é claro, visto que, nessa definição, inclui metais essenciais, a exemplo do magnésio, elemento que possui uma massa atômica de 24 e uma densidade de $1,738 \text{ g cm}^{-3}$ (DUFFUS, 2002). Novamente, as regras da classificação do termo “metal pesado” não se mostram em concordância com as demais definições estabelecidas por outros autores (POURRET; BOLLINGER, 2017; ALI; KHAN, 2018; BARAKAT, 2011), causando dúvidas em relação ao termo.

Também é possível encontrar, na literatura, artigos que citam o termo “metal pesado” relacionados à contaminação (WOLFF *et al.*, 2012; MOSTAFIDI *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2018) ou “metais pesados tóxicos” (GOMES *et al.*, 2006; CHIBA *et al.*, 2011; MAHMOUD; ABD EL-KADER, 2015). A terminologia é popularmente utilizada na literatura ambiental e está frequentemente relacionada a artigos que tratam de poluição, impacto ambiental e influências antrópicas (HODSON, 2004; VILELA *et al.*, 2016). Por outro lado, alguns elementos considerados “metais pesados tóxicos” possuem importância biológica e muitos deles apresentam efeitos biotóxicos nos seres humanos. Dessa forma, é necessária uma compreensão sobre as condições que os torna prejudiciais e tóxicos, como estados de concentração e oxidação. Também é necessário conhecer suas fontes, processos de lixiviação e modos de deposição que poluem o meio ambiente (DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2007).

Chamamos a atenção para o fato de que o uso incorreto da terminologia “metal pesado” traz uma série de prejuízos ao desenvolvimento da ciência da toxicologia de metais, uma vez que o termo tem uma utilização contínua como sinônimo para metais potencialmente tóxicos. Muitos estudos (RIZWAN *et al.*, 2016; SHAHID *et al.*, 2017) se basearam na toxicidade dos metais por

sua concentração elementar, ignorando a especiação química do metal. Agora, entende-se que a toxicidade de um metal está ligada às suas diferentes espécies químicas (DUFFUS, 2002; HODSON, 2004; DURUIBE; OGWUEGBU; EGWURUGWU, 2007).

A toxicidade dos “metais pesados” depende da forma química do elemento, ou seja, da sua especiação. As formas não solúveis atravessam o corpo humano e são eliminadas sem causar grandes danos. As formas mais agressivas são aquelas que podem causar doenças ou morte. Metais como mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e chumbo (Pb), em suas formas livres, não são particularmente tóxicos. Porém, tornam-se perigosos em suas formas catiônicas e quando ligados em cadeias curtas com átomos de carbono (BAIRD, 2002).

A contaminação por elementos químicos é um dos principais estresses bióticos: limita o desenvolvimento das plantas, danifica a qualidade dos alimentos, gera grande perda na produção agrícola e causa adversidades na saúde humana e animal através do acúmulo desses elementos na cadeia alimentar (RIZWAN *et al.*, 2016). Por esse motivo, são fixados valores máximos de alguns elementos considerados tóxicos por órgãos regulamentadores como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Na Tabela 1, são descritas as quantidades máximas permitidas para alguns metais em águas doces e solo, conforme fixadas na Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005) e na Resolução CONAMA nº 420/09 (BRASIL, 2009).

Tabela 1 - Limites de metais na água e solo

Elemento	CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005)	CONAMA nº 420/09 (BRASIL, 2009)
Ag	0,01 mg L ⁻¹	2 mg kg ⁻¹
As	0,01 mg L ⁻¹	15 mg kg ⁻¹
Cd	0,001 mg L ⁻¹	1,3 mg kg ⁻¹
Co	0,05 mg L ⁻¹	25 mg kg ⁻¹
Cr	0,05 mg L ⁻¹	75 mg kg ⁻¹
Cu	0,009 mg L ⁻¹	60 mg kg ⁻¹
Hg	0,0002 mg L ⁻¹	0,5 mg kg ⁻¹
Pb	0,01 mg L ⁻¹	72 mg kg ⁻¹
Ni	0,025 mg L ⁻¹	30 mg kg ⁻¹
Zn	0,18 mg L ⁻¹	300 mg kg ⁻¹

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Brasil (2005; 2009).

Os efeitos de um determinado elemento químico dependem particularmente da forma com ele se apresenta no sistema, pois a toxicidade varia conforme suas diferentes espécies químicas. A distribuição dessas espécies possui um efeito importante sobre o comportamento dos elementos e tem sido base de estudos em diversos campos da ciência, como na química ambiental, geoquímica, toxicologia e química clínica (TEMPLETON *et al.*, 2000).

Com o aumento de publicações relacionadas à toxicologia ambiental, em 1980, Nieboer e Richardson sugeriram uma nova abordagem para classificação de metais a fim de que biólogos e toxicologistas abandonassem o uso do termo “metal pesado”. A proposta criada por eles se baseava na classificação de metais por íons metálicos biológica e quimicamente significativos, permitindo uma interpretação bioquímica da toxicidade, além de fornecer uma base para determinar quais espécies ou compostos iônicos metálicos provavelmente seriam mais tóxicos. A partir da proposta, outros estudos surgiram. O Quadro 1 apresenta os principais trabalhos na literatura que abordam o uso e a definição do termo “metal pesado”.

Quadro 1 - Principais publicações sobre o uso do termo “metal pesado”

Títulos das publicações	Autores	Ano	Periódico
<i>The replacement of the nondescript term 'Heavy Metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions</i>	Evert Nieboer e David H. S. Richardson	1980	<i>Environmental Pollution (Series B)</i>
<i>"Heavy metals" - a meaningless term?</i>	John H. Duffus	2002	<i>Pure And Applied Chemistry (IUPAC Technical Report)</i>
<i>Heavy metals - geochemical bogey men?</i>	Mark E. Hodson	2004	<i>Environmental Pollution</i>
<i>Heavy metal - music, not science</i>	Peter M. Chapman	2007	<i>Environmental Science & Technology</i>
<i>Heavy metal' - time to move on from semantics to pragmatics?</i>	Ralf Hubner, K. Brian Astina e Roger J. H. Herbert	2010	<i>Journal of Environmental Monitoring</i>
<i>"Heavy metals": reminding a long-standing and sometimes forgotten controversy</i>	L. Madrid	2010	<i>Geoderma</i>
<i>"Heavy metal" - cacophony, not symphony</i>	Peter M. Chapman	2012	<i>Integrated Environmental Assessment And Management</i>
<i>"Heavy metal" - a useful term</i>	Graeme E. Batley	2012	<i>Integrated Environmental Assessment And Management</i>
<i>'Heavy metals' - what to do now: to use or not to use?</i>	Olivier Pourret e Jean-Claude Bollinger	2017	<i>Science Of The Total Environment</i>
<i>What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term 'heavy metals' - proposal of a comprehensive definition</i>	Hazrat Ali e Ezzat Khan	2018	<i>Toxicological & Environmental Chemistry</i>

Fonte: Elaborado pelos autores.

3 METAL PESADO: USAR OU NÃO USAR ESSE TERMO?

O uso impreciso do termo “metal pesado” propicia concepções confusas e não deveria haver tantas controvérsias em relação ao termo, embora exista tanto em livros didáticos quanto entre pesquisadores das diferentes áreas. Assim, é importante que a terminologia seja usada com mais cuidado na ciência da toxicologia de metais, visto que há uma preocupação em evitar que elementos metálicos sejam classificados como tóxicos, mesmo porque não há, ainda, uma distinção precisa entre o elemento e a toxicidade de suas espécies químicas (DUFFUS, 2002).

Em função da inadequação da terminologia “metal pesado”, que não possui uma definição precisa, pesquisadores de diversas áreas buscam termos para substituir o grupo de elementos abrangidos pelo termo. Um dos sinônimos que surgiram – e que é muito designado, em diversas pesquisas, para elementos tidos anteriormente como “metal pesado” – é a terminologia “elemento traço”, que também apresenta definições distintas na literatura (ALI; KHAN, 2018).

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) apresenta recomendações para nomenclatura, procedimentos padrão e relatórios de dados experimentais para técnicas de análise de superfície. Nessas recomendações, define elemento traço como qualquer elemento com concentração média de menos de 100 partes por milhão (ppm) ou $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (SKOOG *et al.*, 2006). Outra definição apresenta elemento traço como espécies presentes em quantidades entre 100 ppm (0,01%) e 1 partes por bilhão (ppb). Já para componentes existentes em quantidades menores a 1 ppb, são considerados como constituintes ultratraço (SKOOG *et al.*, 2006). Outros autores definem elemento traço como qualquer componente que apresenta uma concentração média menor que $100 \mu\text{g g}^{-1}$ ou 100 partes por milhão de átomos (100 ppm) (VANDERCASTEELE; BLOCK, 1993; CUADROS *et al.*, 2013). Essa definição os torna elementos cujo teor na amostra seja inferior a 0,01%. Essas definições são semelhantes, porém com unidades diferentes (INGLE JUNIOR; CROUCH, 1988).

As propriedades de cada elemento classificado como traço são únicas, embora os padrões de semelhanças existam ao longo e abaixo da tabela periódica, fazendo com que cada um participe de maneira diferente no ambiente e interaja de forma distinta com os organismos (VILELA *et al.*, 2016). O termo elemento traço é amplamente utilizado na literatura (FRAGA, 2005; RIZWAN *et al.*, 2016) e pode ter diversos significados nas diversas áreas de conhecimento. São frequentemente definidos como elementos essenciais ou tóxicos para mi-

crorganismos e organismos, incluindo também alguns elementos sem funções fisiológicas (SENESIL *et al.*, 1999).

Afim de evitar confusões em relação ao uso do termo “metal pesado”, têm surgido diferentes propostas de sua substituição. Entre elas, “traços de cátions” podem ser descritos como “metais traço”; “traços de não metais” podem ser descritos como “elementos traço”; e os demais termos, como “micronutrientes”, “elementos essenciais” e “elementos tóxicos”, são associados às funções fisiológicas das plantas (TEMPLETON *et al.*, 2000; YONGMING *et al.*, 2006; TCHOUNWOU *et al.*, 2012; WOLFF *et al.*, 2012; PRASHANTH *et al.*, 2015; VILELA *et al.*, 2016).

Na literatura, também é possível encontrar estudos que apresentam elementos com concentrações na faixa de traço, descritas nas definições de elementos traços transcritas acima apresentando alguns sinônimos do termo elementos traço: “metais pesados” (MAHMOUD; ABD EL-KADER, 2015; ANDREW *et al.*, 2019), “metais traço” (ANSARI *et al.*, 2004; ANDREW *et al.*, 2019), “traços inorgânicos” (MIZUIKE, 1983; SITKO *et al.*, 2014; TOPUZ, 2019), “microelementos” (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2006; WITKOWSKA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2019), “micronutrientes” (EVANS; HALLIWELL, 2001; HANACHI *et al.*, 2019), “elementos potencialmente tóxicos” ou “metais potencialmente tóxicos” (MACNICOL; BECKETT, 1985; SIEGEL, 2002a; 2002b; KHAN *et al.*, 2015) ou “elementos contaminantes” (CATARINO, CURVELO-GARCIA; SOUSA, 2006; BARRENTO *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2011). Vale ressaltar que mesmo os elementos essenciais podem ser perigosos a depender do tempo de exposição e da concentração em que o organismo é exposto. Além disso, alguns apresentam toxicidade mesmo em níveis traço (SILVA, 2012).

4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Após uma busca de algum consenso em torno do termo (e correlatos) “metal pesado”, “metal traço”, “elemento traço”, “metal tóxico”, “metal contaminando” e “elemento tóxico”, em artigos e livros de diferentes áreas do conhecimento, por diferentes campos de pesquisa, foi possível verificar que, apesar de alguns estudos questionarem o uso dos termos, sem que haja um consenso na comunidade científica sobre essa polissemia, tem havido confusão e controvérsias que dificultam o seu uso de forma mais adequada (DUFFUS, 2002). Ao longo da história, diversos outros conceitos passaram por modificações, como, por exemplo, o conceito de elemento químico, que é um dos mais importantes. Esse termo é considerado um conceito estruturante, ao lado de tantos outros

que também passaram por modificações, como: átomo, molécula, substância, entre outros. Todos eles foram fundamentais para o desenvolvimento da ciência da química (OKI, 2002).

Ao realizar a análise sobre o uso do termo “metal pesado” e seus possíveis sinônimos em publicações, levando em consideração seu contexto de produção, identificamos algumas dificuldades e vulnerabilidades na evolução e no uso da terminologia em diferentes áreas do conhecimento. Nesse aspecto, destacamos a necessidade de que a comunidade científica faça uma padronização do uso da terminologia relacionada ao “metal pesado”. Isto principalmente naquele que usa como critério a massa atômica, visto que não apresenta uma base terminológica ou científica sólida para tal uso. Verificamos que mesmo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) vem considerando o termo confuso e sem sentido, com critérios de classificação relacionados às propriedades químicas (alta densidade e alta massa atômica) ou questões ambientais (contaminação e toxicidade), que podem incluir não metais em sua classificação. Esta terminologia pode ser encontrada em muitos estudos científicos em pesquisas recentes.

Essas e outras incoerências relacionadas à terminologia ainda não foram capazes de levar a comunidade científica a estabelecer critérios claros e objetivos para a substituição do termo “metal pesado” por um outro que leve em consideração critérios como as propriedades químicas e biológicas dos elementos, seus requisitos toxicológicos, os níveis de exposição e de concentração. Destacamos que a construção e definição de uma terminologia mais coerente para a classificação de metais é fundamental para o avanço da ciência, pois a perpetuação do termo “metal pesado” gera controvérsia e confusão na literatura, prejudicando, entre outras coisas, o ensino e a aprendizagem dos estudantes.

REFERÊNCIAS

- ALI, H.; KHAN, E. What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term ‘heavy metals’—proposal of a comprehensive definition. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v.100, n. 1, p. 6-19, 2018.
- ANDREW, S. C.; TAYLOR, M. P.; LUNDREGAN, S.; LIEN, S.; JENSEN, H.; GRIFFITH, S. C. Signs of adaptation to trace metal contamination in a common urban bird. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 679-686, 2019.
- ANSARI, T. M.; IKRAM, N.; NAJAM-UL-HAQ, I.; FAYYAZ, Q. F.; GJAFLOOR, I.; KHALID, N. Essential trace metal (Zinc, Manganese, Copper and Iron) levels in plants of medicinal importance. **J. Biol. Sci**, v. 4, n. 2, p. 95-99, 2004.

- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. **Arabian journal of chemistry**, v. 4, n. 4, p. 361-377, 2011.
- BARRENTO, S.; MARQUES, A.; TEIXEIRA, B.; VAZ-PIRES, P.; CARVALHO, M. L.; NUNES, M. L. Essential elements and contaminants in edible tissues of European and American lobsters. **Food chemistry**, v. 111, n. 4, p. 862-867, 2008.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA n. 357/2005**, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília (DF), 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 420/2009**, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília (DF), 2009.
- CATARINO, S.; CURVELO-GARCIA, A. S.; SOUSA, R. B. Measurements of contaminant elements of wines by inductively coupled plasma-mass spectrometry: a comparison of two calibration approaches. **Talanta**, v. 70, n. 5, p. 1073-1080, 2006.
- CHAPMAN, P. M.; HOLZMANN, M. Heavy metal - music, not science. **Environmental Science and Technology** 41:6C, 2007.
- CHAPMAN, P. M. "Heavy metal" - cacophony, not symphony. **Integrated environmental assessment and management**, v. 2, n. 8, p. 216, 2012.
- CHIBA, W. A. C.; PASSERINI, M. D.; BAILO, J. A. F.; TORRES, J. C.; TUNDISI, J. G. Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the Southeast of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 4, p. 833-843, 2011.
- CUADROS, L.; GÁMIZ, L.; CARRASCO, A.; RUIZ, C. **Glosario de términos analíticos**. AndaluZ GRASEQA, 2013.
- DUFFUS, J. H. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). **Pure and applied chemistry**, Berlim, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.
- DURUIBE, J. O.; OGWUEGBU, M. O. C.; EGWURUGWU, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of physical sciences**, v. 2, n. 5, p. 112-118, 2007.
- EVANS, P.; HALLIWELL, B. Micronutrients: oxidant/antioxidant status. **British journal of nutrition**, v. 85, n. S2, p. S67-S74, 2001.
- FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; DA CUNHA, C. D. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax* (Garçada-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 2, p. 229-241, 2010.

FRAGA, C. G. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. **Molecular aspects of medicine**, v. 26, n. 4-5, p. 235-244, 2005.

FREITAS, M. R.; FREIRE, N. B.; PEIXOTO, L. J. E. S.; OLIVEIRA, S. T. L.; SOUZA, R. C.; GOUVEIA, J. J. S.; COSTA, M. M.; GOUVEIA, G. V. The presence of plasmids in *Aeromonas hydrophila* and its relationship with antimicrobial and heavy metal-resistance profiles. **Ciência Rural**, v. 48, n. 9, p. 1-6, 2018.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, 2006.

BATLEY, G.E. "Heavy metal" - a useful term. **Integrated Environmental Assessment and Management** v. 8, n. 2, p. 215, 2012.

HANACHI, M.; DICEMBRE, M.; RIVES-LANGE, C.; ROPERS, J.; BEMER, P.; ZAZZO, J. F.; POU-PON, J.; DAUVERGNE, A.; MELCHIOR, J. C. Micronutrients deficiencies in 374 severely malnourished anorexia nervosa inpatients. **Nutrients**, v. 11, n. 4, p. 792, 2019.

HODSON, M. E. Heavy metals—geochemical bogey men? **Environmental Pollution**, v. 129, n. 3, p. 341-343, 2004.

HUBNER, R.; ASTIN, K. B.; HERBERT, R. JH. 'Heavy metal'—time to move on from semantics to pragmatics?. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 12, n. 8, p. 1511-1514, 2010.

INGLE JUNIOR, J. D.; CROUCH, S. R. Spectrochemical analysis. 8. ed. Old Tappan: Prentice Hall College Book Division, 1988.

JARUP, L. Hazards of heavy metal contamination. **British medical bulletin**, v. 68, n. 1, p. 167-182, 2003.

KHAN, S.; WAQAS, M.; DING, F.; SHAMSHAD, I.; ARP, H. P. H.; LI, G. The influence of various biochars on the bioaccessibility and bioaccumulation of PAHs and potentially toxic elements to turnips (*Brassica rapa L.*). **Journal of Hazardous Materials**, v. 300, p. 243-253, 2015.

LOZET, J.; MATHIEU, C.; JAMAGNE, M. **Dictionary of soil science**. 2. ed. Paris: Technique et Documentation-Lavoisier, 1990.

MACNICOL, R. D.; BECKETT, P. H. T. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. **Plant and Soil**, v. 85, n. 1, p. 107-129, 1985.

MADRID, L. "Heavy metals": Reminding a long-standing and sometimes forgotten controversy. **Geoderma**, v. 1, n. 155, p. 128-129, 2010.

MAHMOUD, E.; ABD EL-KADER, N. Heavy metal immobilization in contaminated soils using phosphogypsum and rice straw compost. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 8, p. 819-824, 2015.

MCLAUGHLIN, M. J.; PARKER, D. R.; CLARKE, J. M. Metals and micronutrients-food safety issues. **Field crops research**, v. 60, n. 1-2, p. 143-163, 1999.

MIZUIKE, A. **Enrichment techniques for inorganic trace analysis**. Berlim: Springer-verlag, 1983.

MORRIS, C. W. **Academic Press dictionary of science and technology**. London: Academic Press, 1992.

MOSTAFIDI, M.; MOSLEHSHAD, M.; PIRAVIVANAK, Z.; POURETEDAL, Z. Evaluation of mineral content and heavy metals of dromedary camel milk in Iran. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 36, n. 4, p. 717-723, 2016.

NIEBOER, E.; RICHARDSON, D. H. The replacement of the nondescript term 'heavy metals' by a biologically and chemically significant classification of metal ions. **Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical**, v.1, n. 1, p. 3-26, 1980.

OKI, M. D. C. M. O conceito de elemento da antiguidade à modernidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 16, n. 6, p. 21-25, 2002.

OLIVEIRA, A. B.; NASCIMENTO, W. A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 99-110, 2006.

PARKER, S. P. **McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 1989.

POURRET, O.; BOLLINGER, J. C. 'Heavy Metals'-What to do now: To use or not to use? **Science of The Total Environment**, v. 610-611, p. 419-420, 2017.

PRASHANTH, L.; KATTAPAGARI, K. K.; CHITTURI, R. T.; BADDAM, V. R. R.; PRASAD, L. K. A review on role of essential trace elements in health and disease. **Journal of Dr. NTR University of health sciences**, v. 4, n. 2, p. 75, 2015.

RIZWAN, M.; ALI, S.; QAYYUM, M. F.; IBRAHIM, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; ABBAS, T.; OK, Y. S. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2230-2248, 2016.

SANTOS, H. M.; COUTINHO, J. P.; AMORIM, F. A. C.; LÔBO, I. P.; MOREIRA, L. S.; NASCIMENTO, M. M.; JESUS, R. M. Microwave-assisted digestion using diluted HNO₃ and H₂O₂ for macro and microelements determination in guarana samples by ICP OES. **Food chemistry**, v. 273, p. 159-165, 2019.

SENESIL, G. S.; BALDASSARRE, G.; SENESI, N.; RADINA, B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. **Chemosphere**, v. 39, n. 2, p. 343-377, 1999.

SHAHID, M.; DUMAT, C.; KHALID, S.; SCHRECK, E.; XIONG, T.; NIAZI, N. K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. **Journal of hazardous materials**, v. 325, p. 36-58, 2017.

SIEGEL, F. R. Geochemistry in Ecosystem Analysis of Heavy Metal Pollution. In: SIEGEL, F. R. **Environmental geochemistry of potentially toxic metals**. Berlin: Springer, 2002a. p. 1-14.

SIEGEL, F. R. Sources and Origins of the Metals. In: SIEGEL, F. R. **Environmental geochemistry of potentially toxic metals**. Berlin: Springer, 2002b. p. 15-44.

SILVA, E. **Distribuição de elementos essenciais e não essenciais em tecidos de diversas espécies de peixes da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SITKO, R.; ZAWISZA, B.; TALIK, E.; JANIK, P.; OSOBA, G.; FEIST, B.; MALICKA, E. Spherical silica particles decorated with graphene oxide nanosheets as a new sorbent in inorganic trace analysis. **Analytica chimica acta**, v. 834, p. 22-29, 2014.

SKOOG, D. A.; DONALD, W.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2006.

TCHOUNWOU, P. B.; YEDJOU, C. G.; PATLOLLA, A. K.; SUTTON, D. J. Heavy metal toxicity and the environment. In: LUCH, A. (Ed.). **Molecular, clinical and environmental toxicology**. v. 101, Berlin: Springer, Basel, 2012. p. 133-164.

TEMPLETON, D. M.; ARIESE, F.; CORNELIS, R.; DANIELSSON, L. G.; MUNTAU, H.; VAN LEEUWEN, H. P.; LOBINSKI, R. Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches (IUPAC Recommendations 2000). **Pure and applied chemistry**, v. 72, n. 8, p. 1453-1470, 2000.

TOPUZ, B. Selective solid phase extraction and preconcentration of ultra-trace inorganic mercury in water samples using 2, 6-dimethyl-morpholine dithiocarbamate. **International journal of environmental analytical chemistry**, v. 99, n. 1, p. 61-73, 2019.

VANDECASTEELE, C.; BLOCK, C. B. **Modern methods for trace element deteriuapcmination**. Chichester: John Wiley & Sons, 1993.

VILELA, D.; PARMAR, J.; ZENG, Y.; ZHAO, Y.; SÁNCHEZ, S. Graphene-based microbots for toxic heavy metal removal and recovery from water. **Nano Letters**, v. 16, n. 4, p. 2860-2866, 2016.

WITKOWSKA, Z.; MICHALAK, I.; KORCZYŃSKI, M.; SZOŁTYSIK, M.; ŚWINIARSKA, M.; DOBRZAŃSKI, Z.; SAMORAJ, M.; CHOJNACKA, K. Biofortification of milk and cheese with microelements by dietary feed bio-preparations. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 10, p. 6484-6492, 2015.

WOLFF, G.; PEREIRA, G. C.; CASTRO, E. M.; LOUZADA, J.; COELHO, F. F. The use of *Salvinia auriculata* as a bioindicator in aquatic ecosystems: biomass and structure dependent on the cadmium concentration. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 1, p. 71-77, 2012.

WU, Y.; ZHANG, X.; LIAO, Q.; JI, J. Can contaminant elements in soils be assessed by remote sensing technology: A case study with simulated data. **Soil Science**, v. 176, n. 4, p. 196-205, 2011.

YONGMING, H.; PEIXUAN, D.; JUNJI, C.; POSMENTIER, E. S. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. **Science of the total environment**, v. 355, n. 1-3, p. 176-186, 2006.

NÍVEIS DE METAIS EM MOLUSCOS BIVALVES: ESTUDOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS NO BRASIL

FILIPE LEAL RANGEL
THÁTÝLA DA CRUZ SANTOS
MARINA SANTOS DE JESUS
DANIEL DE CASTRO LIMA
FABIO ALAN CARQUEIJA AMORIM

RESUMO:

O objetivo deste trabalho é reunir informações sobre a utilização de moluscos bivalves como bioindicadores dos níveis de metais em água e no ecossistema costeiro do Brasil. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos publicados, entre 2006 e os dias atuais, envolvendo palavras-chave associadas ao tema. Os trabalhos discutiram o potencial de bioacumulação dos moluscos bivalves, levando em consideração diferentes fatores: espécies, tamanho dos indivíduos, salinidade, local da coleta, entre outros. Nos trabalhos relatados, os metais avaliados foram: Al, Ba, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Sr, Zn, Hg, Cr, As, Cd, Pb e V, a fim de analisar aspectos nutricionais, bem como aspectos toxicológicos. Com isso, os autores mostram e discutem sobre a viabilidade da utilização desses indivíduos como bioindicadores de níveis de metais em ambientes aquáticos. Ressalta-se o quanto esses organismos sofrem com as modificações e degradações nesses ambientes, dando um destaque para a região nordeste, sendo ela a apresentar o maior número de trabalhos sobre o tema. Conclui-se que moluscos bivalves são espécies muito importantes e úteis para avaliar a bioacumulação de metais e suas associações com fatores temporais. Também indicam o grau de contaminação ou o histórico de poluição nessas regiões, que podem ocasionar efeitos cumulativos no homem, através do seguimento da cadeia trófica, pois fazem parte da dieta de muitos brasileiros. Assim, podem causar sérios danos à saúde, além de prejuízos financeiros, pois várias espécies apresentam valor comercial.

Palavras-chave: Moluscos bivalves, metais, bioindicador, bioacumulação.



ABSTRACT:

The objective of this research is to gather information on the use of bivalve mollusks as bioindicators of the levels of metals in water and coastal ecosystems in Brazil. For this, was realized a bibliographic review of papers published from 2006 to the present day, involving keywords associated with the theme. The papers discussed the bioaccumulation potential of bivalve mollusks, taking into account different factors: species, size of valves, salinity, and location of collection, among others. The metal recovery works were: Al, Ba, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Sr, Zn, Hg, Cr, As, Cd, Pb, and V, in order to analyze both nutritional and toxicological aspects. Thus, the authors show and discuss the feasibility of use, as bioindicators of metal levels in aquatic environments. It is noteworthy how much these organisms provide with the changes and degradations in these environments, giving prominence to the northeast region, with it presenting the largest number of works on the theme. It is concluded that bivalve mollusks are very important and useful species to evaluate a bioaccumulation of metals and their associations with temporal factors. It can indicate the degree of contamination or the history of sources in these regions, which can cause cumulative effects in humans through the monitoring of food chain, as they are part of the diet of many Brazilians. They can cause serious damage to health, in addition to financial damage because several species have investigating heavy metal value.

Keywords: Mollusks, bivalves, metals, bioaccumulation, bioindicator.

1 INTRODUÇÃO

Estudos em organismos vivos para o biomonitoramento de espécies químicas e biológicas em ambientes aquáticos têm sido alvo de muitos estudos (MARENGONI *et al.*, 2013; LUOMA; RAINBOW, 2008). As principais fontes de substâncias químicas causadoras de poluição aquática são os resíduos e efluentes domésticos e industriais. Atualmente, o aumento das atividades humanas urbanas, industriais e até mesmo agrícolas tem feito com que muitas espécies químicas sejam despejadas no meio ambiente sem controle, ocasionando uma excessiva ocorrência dessas diversas substâncias (MARENGONI *et al.*, 2013).

Os elementos químicos dos grupos dos metais podem se constituir em uma forma muito importante de contaminação no meio aquático. Isso se deve por sua capacidade de não sofrer degradação no meio ambiente e por alguns dos elementos apresentarem a capacidade de bioacumulação e biomagnificação nos organismos, além de serem tóxicos, principalmente se estiverem em concentrações superiores aos limites estabelecidos pelos órgãos de controle. A contaminação por metais afeta o equilíbrio ecológico das espécies animais e vegetais e tem uma alteração significativa da qualidade físico-química e biológica do ambiente (CABRINI *et al.*, 2017; DIAS; NAYAK, 2016; VAROL; SÜNBÜL, 2018; KUMAR; WEERASOORIYAGEDARA, 2018; GURIA, 2018).

A biodisponibilidade de um elemento químico pode ser definida como a medida do potencial que o mesmo tem para ser absorvido pelos seres vivos, que está diretamente relacionada à forma química em que este composto se encontra no meio ambiente. Os padrões de bioacumulação podem diferir amplamente de elemento para elemento, bem como entre diferentes organismos, podendo ser fortemente afetados pelas condições ambientais – química da água ou do sedimento – ou por tipos de alimentos acessíveis ao organismo (DIAS; NAYAK, 2016).

As regiões costeiras, particularmente as áreas de mangue, com muita importância ecológica e econômica, vêm sofrendo há anos com atividades antrópicas. A hidrodinâmica das regiões de manguezais agrava o problema. Assim, a bioacumulação nos ecossistemas se tornou uma grande preocupação mundial. Estas regiões também são um ambiente natural e produtivo para muitas espécies de peixes, aves e mariscos. Esse bioma é amplamente estudado e a biota é utilizada como uma ferramenta importante em pesquisas para o monitoramento ambiental, uma vez que a biodisponibilidade é medida diretamente nas espécies e indivíduos (MAANAN, 2008).

Nesse sentido, espécies ou grupos de espécies que refletem prontamente o estado abiótico ou biótico de um ambiente são definidos como bioindicadores. Seu uso tem se intensificado, revelando o impacto das mudanças ambientais em uma população, comunidade ou ecossistema. Logo, são fundamentais para avaliar o nível de contaminação ambiental, especialmente nos locais de estresse antropogênico (ZUYKOV; PELLETIER; HARPER, 2013; HOLT; MILLER, 2010; HAMZA-CHAFFAI, 2014; FERREIRA *et al.*, 2013).

Muitas espécies de moluscos apresentam forte potencial para bioacumular metais traço em seus tecidos, a partir de seu ambiente. Por isso, podem ser utilizadas na monitoração da biodisponibilidade desses elementos em um ambiente aquático, sendo assim considerados como biomonitores ou bioindicadores de poluição (REPULA *et al.*, 2012). Os moluscos bivalves são considerados como sentinelas do meio aquático e, por isso, são amplamente utilizados como bioindicadores de contaminação. Isso se deve por ser um animal filtrador, com capacidade bioacumuladora, de ampla distribuição, pouca mobilidade, vida relativamente longa e de fácil coleta (HAMZA-CHAFFAI, 2014; GALVÃO *et al.*, 2009; RAINBOW, 2002; PÉREZ; BLASCO; SOLÉ, 2004). O principal enfoque das pesquisas com molusco bivalve e contaminação aquática é a concentração de metais em seu tecido mole e concha, sendo estes metais comumente associados a uma substância tóxica, que, além de serem componentes naturais dos ecossistemas, estão presentes em efluentes agrícolas, industriais e urbanos (LIMA; MERÇON, 2011).

No contexto relatado, o objetivo deste trabalho foi realizar uma breve revisão bibliográfica das pesquisas publicadas desde 2006 até os dias atuais para ressaltar a importância do uso de moluscos bivalves no monitoramento da contaminação aquática por elementos dos grupos dos metais, bem como mostrar o quanto este assunto vem se tornando fonte de diversas pesquisas por todo o mundo, com enfoque nos trabalhos de pesquisas realizados no Brasil.

2 MOLUSCOS BIVALVES

Os organismos vivos são responsáveis por grande parte da dinâmica dos metais tóxicos no ambiente aquático, por serem capazes de concentrar níveis superiores aos encontrados na água. Com isso, todos os resíduos urbanos e industriais se acumulam no substrato dos rios e estuários e são incorporados pelos moluscos, passando a fazer parte da cadeia alimentar (ARAÚJO; MOURA; CARVALHO, 2010). Os moluscos bivalves pertencem ao filo denominado *Mollus-*

ca: um grupo de animais invertebrados que contém mais de 120.000 espécies conhecidas. Este grupo possui seis classes, dentre elas a *Bivalvia*, que contempla animais de corpo mole, caracteristicamente comprimidos lateralmente, envolvidos em um exoesqueleto sob a forma de uma concha, composta por duas valvas calcárias (AMARAL; RIZZO; ARRUDA, 2006; THORP; COVICH, 1991). Essas valvas são unidas por ligamentos e músculos adutores que se fecham através de contração. Esses animais provavelmente se originaram nas águas costeiras e, progressivamente, ocuparam estuários e outros sistemas aquosos (DAME, 2011). A geometria e a distribuição das cicatrizes dos músculos adutores no interior da valva são critérios importantes na classificação dos bivalves (THORP; COVICH, 1991).

Os moluscos bivalves são encontrados em águas doce, salobras e salgadas. No entanto, as espécies marinhas são as mais abundantes e distribuem-se por toda extensão aquática mundial, em várias profundidades. São animais filtradores, pois extraem seu alimento por filtração do meio aquoso através do movimento ciliar branquial, provocando a entrada de água na cavidade do manto e muco. Assim, aprisiona as partículas, tornando-se suscetíveis à absorção de metais, absorvendo o seu alimento do fitoplâncton e matéria orgânica particulada em suspensão, assim como também do zooplâncton (RAINBOW, 2002; SAENZ *et al.*, 2010). Com uma dieta diversificada de partículas heterogêneas dispersas na água, um molusco chega a filtrar cinco litros de água por hora para concentrar o alimento em suas brânquias, além de poluentes biológicos e químicos, principalmente os elementos potencialmente tóxicos que podem estar associados ao material particulado em suspensão. Com isso, os bivalves filtradores são mais expostos a agentes tóxicos presentes no meio, podendo acumular contaminantes em seus tecidos em concentrações de 1.000 a 10.000 vezes superiores à encontrada na área abiótica do local de coleta.

Algumas características fazem dos moluscos bivalves marinhos animais interessantes para avaliar as concentrações ambientais dos contaminantes. São elas: (a) vivem em estuários e zonas costeiras; (b) são sésseis, o que não lhes permite escapar da poluição se deslocando para outras áreas; (c) possuem tempo de vida relativamente largo, o que permite estudos de longo prazo; (d) ampla distribuição geográfica, o que facilita a comparação dos dados obtidos de regiões diferentes; (e) aparecem frequentemente em alta densidade e são de fácil coleta; (f) acumulam concentrações de contaminantes em seus tecidos acima do encontrado na fonte de contaminação, sem que apresentem efeitos tóxicos (QUEIROZ; SILVA; TRIVINHO-STRIXINO, 2008).

É o hábito alimentar destes animais que os torna suscetíveis à incorporação de contaminantes, tanto pelo que o animal ingere, como pela fração solúvel na água. Eles podem ser classificados como detritívoras, quando se alimentam no material ligado ao sedimento. Se apresentam mais comumente como micrófagos ou suspensívoros que se alimentam de plâncton e material particulado suspenso na água (RODRIGUES *et al.*, 2012). Segundo uma pesquisa realizada sobre o hábito alimentar dos bivalves (HÉDOUIN *et al.*, 2010), estes organismos são capazes de ajustar suas estratégias de alimentação de acordo com as condições alimentares que prevalecem no seu meio. Geralmente, as espécies filtradoras ajustam sua velocidade de filtração de acordo com a temperatura ambiente e densidade do fitoplâncton a fim de manter uma taxa de ingestão estável, mesmo em elevadas concentrações de alimentos.

Assim, o estudo de moluscos bivalves, associado aos teores de metais, tem fundamental importância, visto que estes organismos são bioacumuladores e podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade da água e do local em estudo. Também é possível avaliar sua capacidade de causar intoxicações alimentares, por serem fonte de renda e alimentação para muitas pessoas (GONÇALVES; FREIRE; NASCIMENTO NETO, 2007).

182

3 USO DE MOLUSCOS BIVALVES COMO BIOMONITORES DE METAIS

A bioacumulação de metais nos organismos depende de diversos fatores, tais como: fontes de contaminação, especiação química dos contaminantes, aspectos fisiológicos, estágio de vida (larval, maduro, estágio reprodutivo) e longevidade dos organismos (EÇA; MENDONÇA FILHO; HATJE, 2012). A bioacumulação é um instrumento fundamental de biomonitoramento, mas apenas a sua integração com esses aspectos pode ajudar a elucidar o impacto e as respostas induzidas por metais em organismos biológicos (população, comunidade etc.). Assim, forneceria um caminho para compreender os mecanismos envolvidos (ZUYKOV; PELLETIER; HARPER, 2013).

Para que uma espécie viva seja utilizada como bioindicador, é necessário que apresente as seguintes características: ser essencialmente natural do sistema estudado, onipresente e abundante; possuir biótipo e dimensão apropriados para a análise; ter a capacidade de suportar altas concentrações de substâncias tóxicas distintas de forma que sobreviva ao contaminante estudado; bioconcentrar xenobióticos em nível suficiente para determinação direta sem necessitar de uma etapa de pré-concentração; viver em estilo sésil; e possuir

tempo de vida suficiente para uma comparação temporal significativa (GUPTA; SINGH, 2011). Sendo assim, os moluscos bivalves são considerados melhores biomonitores dos níveis de metais em ambientes aquáticos.

Com a determinação de contaminantes no tecido mole de moluscos bivalves marinhos, torna-se possível analisar a distribuição desses elementos no ambiente, assim como avaliar diretamente a exposição humana a esses possíveis contaminantes. Os bivalves foram apontados como possíveis modelos biológicos para avaliar a dinâmica dos metais no meio ambiente na década de 1960 ao se analisar a contaminação das águas da Califórnia por radionuclídeos (GUIMARÃES; SÍGOLO, 2008). Em 1975, foram apontados como alternativa para o biomonitoramento no programa internacional de monitoramento de poluentes no ambiente marinho, o Mussel Watch, da agência americana National Oceanic and Atmospheric Administration. Em 2004, o Programa de meio ambiente das Nações Unidas (UNEP) também recomendou o emprego de bivalves para o mesmo fim (GALVÃO *et al.*, 2009). Desde então, os bivalves vêm sendo extremamente utilizados para a avaliação da contaminação de ambientes aquáticos por metais e outros contaminantes, no Brasil e em diversos países, por fornecerem informações seguras e integradas sobre a biodisponibilidade destes contaminantes e seu impacto ambiental (RAINBOW, 2006). Assim, sendo possível levantar a seguinte hipótese: a utilização de moluscos bivalves para o estudo da bioacumulação de metais nesses tecidos se tornou peça fundamental no biomonitoramento de ambientes aquáticos, nacionais e internacionais.

Em uma revisão recente (ZUYKOV; PELLETIER; HARPER, 2013), foram encontrados, sob condições naturais, com uma relação de causa-efeito devido à contaminação por metais. No estudo, ficou claro que as populações de bivalves foram alteradas pela presença de metais, mas muitos outros fatores bióticos e abióticos deveriam ser considerados para inferir sobre o real efeito dos metais sobre os moluscos bivalves. Segundo (MAYER-PINTO; UNDERWOOD; COLEMAN, 2010), a maior parte dos estudos relacionados aos efeitos dos metais em organismos bentônicos veio de estudos laboratoriais com extrapolação para a realidade. Assim, os estudos mostraram efeitos letais e subletais de metais nesses organismos. Porém, as condições experimentais eram muito distintas da realidade, existindo de fato pouca evidência de que estes efeitos ocorressem em ambientes naturais. Em sua revisão, os pesquisadores indicaram que alguns trabalhos fizeram relação entre a contaminação por metais e a estrutura das comunidades bentônicas, mas esses levaram em conta apenas o fator contaminação e não deram importância a outros fatores relevantes, tais como

temperatura, ação das ondas e salinidade, que são pontos que determinam a diversidade de organismos presentes.

Fatores biológicos e geoquímicos também influenciam na absorção e, conseqüentemente, na biodisponibilidade dos metais em bivalves. Em uma mesma espécie, fatores biológicos, como sexo, idade, genótipo, fenótipo e estado reprodutivo, podem causar diferenças na bioacumulação de metais, além da taxa metabólica de cada espécie que influencia na concentração de alguns elementos. Entre os fatores geoquímicos, têm-se: a influência do pH, salinidade, dureza da água, temperatura que pode alterar a desova dos bivalves, granulometria do sedimento e características hidrológicas do sistema (GUPTA; SINGH, 2011).

Em outra revisão, (CARDENAS-BAQUEIRO *et al.* 2007) indicaram que os bivalves possuem grande capacidade de sobreviver na zona entre marés, onde são sujeitos a frequentes períodos de dessecação, alterações na temperatura, salinidade e cargas de sedimentos pesados. Quando qualquer um desses fatores se torna intolerante, os bivalves fecham suas válvulas e alteram seu processo de respiração com um aumento na produção de ácido láctico e com conseqüente alteração na acidez do líquido intervalvar. Porém, diferentes espécies apresentam respostas diferentes para cada tipo de poluente e a bioacumulação só ocorre quando os contaminantes não interferem nos processos vitais dos bivalves ou quando as concentrações desses metais são baixas o suficiente para permitir a tolerância, a aclimação ou a adaptação do organismo.

4 ESTUDOS NO BRASIL

Os estudos internacionais e brasileiros analisam principalmente os fatores: (1) espaciais, estudando a diferença na concentração de metais nos tecidos de bivalves coletados em diferentes pontos ao longo da área (distribuição espacial); e (2) sazonais, relacionando a concentração ao longo do tempo ou estação do ano em que o molusco é coletado (distribuição sazonal). Alguns estudos utilizam a capacidade acumulativa dos bivalves para avaliar a influência de algumas atividades que acontecem nos estuários e zonas costeiras.

No Brasil, existem trabalhos realizados para avaliar a concentração de metais em bivalves como bioindicador de contaminação ambiental em praticamente todas as regiões da costa. No sul do país, foram encontrados dois trabalhos, um no estado de Santa Catarina e outro no Paraná. Na região sudeste, foram encontrados trabalhos no estado do Rio de Janeiro e em São Paulo. A região

nordeste foi a responsável pelo maior número de trabalhos envolvendo estes organismos, encontrando-se pesquisas no Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas e principalmente no estado da Bahia.

Os bivalves de maior comercialização, consumo e, conseqüentemente, maior utilização para estudos de monitoramento do litoral brasileiro são apresentados na Tabela 1 (ZEIDAN; LUZ; BOEHS, 2012).

Tabela 1 - Bivalves de maior comercialização, consumo utilização para estudos de monitoramento do litoral brasileiro

Nome popular	Nome científico
Ostras	<i>Crassostrea rhizophorae</i> (GUILDING, 1828)
Ostra-do-mangue	<i>Crassostrea gigas</i> (THUNBERG, 1793)
Ostra-do-pacífico	<i>Ostreidae</i>
Mariscos	<i>Perna perna</i> (LINNAEUS, 1758), <i>Mytella falcata</i> (ORBIGNY, 1846) (<i>Mytilidae</i>)
Sururu	<i>Mytella guyanensis</i> (LAMARCK, 1819)
Lambreta	<i>Phacoides pectinatus</i> (GMELIN, 1791) (<i>Lucinidae</i>)
Moapem ou unha-de-velha	<i>Tagelus plebeius</i> (LIGHTFOOT, 1786) (<i>Psammobiidae</i>)
Berbigão ou maçunim ou chumbinho	<i>Anomalocardia brasiliana</i> (GMELIN, 1791) (<i>Veneridae</i>)
Vieira	<i>Nodipecten nodosus</i> (Linnaeus)

Fonte: Baseado no trabalho de ZEIDAN, LUZ e BOEHS (2012).

SANTOS (2018) realizou um estudo da concentração de elementos nutrientes em *Crassostrea rhizophorae*, *Crassostrea gasar*, *Mytella guyanensis*, *Lucina pectinata* e *Iphigenia brasiliana*, comercializadas no sul da Bahia. A espécie *M. guyanensis* apresentou concentração de Fe superior à *I. brasiliana*. Todas as espécies apresentaram concentração de Zn acima do permitido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que é de 50 mg kg⁻¹. A *Crassostrea gasar* de tamanho grande apresentou maior acúmulo para este metal em comparação com as de tamanho pequeno. Todas as espécies apresentaram concentração de Cu inferiores ao estabelecido pela ANVISA (30 mg kg⁻¹).

SANTIL (2010) determinou a concentração de Al, As, Ca, Cu, Fe, K, Mn e Zn por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES) em *A. brasiliana* e *M. guyanensis* em diversos locais da Baía de Todos os Santos. Nesse estudo, foram encontrados Al, Cu e Zn em elevadas concentrações e, em alguns locais de coleta, ultrapassaram os limites máximos estabelecidos pela ANVISA e outras agências internacionais.

KUMAR E WEERASOORIYAGEDARA (2018) estudaram as relações entre os metais e o gradiente de salinidade em três espécies de mexilhões (*Perna perna*,

Mytella falcata e *Mytella guyanensis*) coletadas nos estuários e baías ao redor de Vitória, sudeste do Brasil. Os resultados revelaram uma interação positiva entre a salinidade e o acúmulo de Cu e Fe pelos três mexilhões e a bioacumulação desses metais encontrava-se no máximo em locais de baixa salinidade.

BARBOSA (2013) estudou a concentração de metais essenciais e não essenciais em moluscos bivalves coletados na Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. A espécie *Lucina pectinata* apresentou a maior concentração de Co e Cu. Para o Fe, a maior concentração foi encontrada na espécie *Trachycardium muricatum*. Na espécie *Anomalocardia brasiliana*, foram encontrados os menores valores para Fe.

SANTOS *et al.* (2010) otimizaram e aplicaram um procedimento para determinação de metais em *A. brasiliana*, *M. guyanensis* e *Crassostrea rhizophorae* coletados na Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. Os resultados mostraram as concentrações que elementos como Cd e Cu, em amostras de *Crassostrea rhizophorae*, e Zn, em amostras de *A. brasiliana* e *M. guyanensis*, estavam acima das recomendações, sugerindo que seu consumo pode impor riscos à saúde.

TURECK *et al.* (2006) utilizaram tecidos de ostras (*Crassostrea gigas*) cultivadas na Baía da Babitonga, no litoral norte do estado de Santa Catarina, para analisar as concentrações dos metais As, Cd, Cu, Ni e Zn. Foi observado que os teores desses metais estavam acima do permitido na legislação, durante o verão, que se caracteriza por um período menos chuvoso. Também se observou que este bivalve apresenta uma capacidade de assimilação de contaminantes e autodepuração.

Na região sudeste, houve um estudo sobre a distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e Enseada das Garças, na Baía de Sapatiba – RJ. Coimbra (2003) concluiu que os metais estudados na espécie *Anomalocardia brasiliana*, em Coroa Grande, podem apresentar comportamentos distintos, com concentrações independentes do tamanho (Cr e Cu), sugerindo que a assimilação desses metais é igual à excreção. Concentrações que aumentam com a grandeza (Hg, Zn e Mn) indicam que a assimilação desses é mais rápida que a excreção; e as que diminuem com a amplitude (Fe) podem ser relacionadas com a velocidade no metabolismo desse metal. Já na Enseada das Garças, observou-se que Hg, Zn, Cr e Mn não apresentam dependência com a abrangência e que as concentrações de Cu e Fe diminuíram. No estudo com a espécie *Mytella guyanensis*, observou-se que, independente da área estudada, a correlação entre o tamanho e a concentração dos metais é inversa em ambos os casos, exceto para o Fe que, na Enseada das Garças, ocorreu

independentemente do tamanho. Com este estudo, foi constatado que, entre as duas áreas estudadas, Coroa Grande é a que apresenta maior grau de contaminação, com risco de transferência desses metais à cadeia trófica, inclusive à população humana que se alimenta desse molusco.

No estado de São Paulo, o estudo de GUIMARÃES e SÍGOLO (2008) detectou contaminantes na espécie *Corbicula fluminea* no Rio Ribeira do Iguape. Analisando as concentrações de Cu, Zn, Cd, Cr e Pb, nos tecidos do bivalve, por ICP OES, foi verificado que o teor de chumbo se apresentava acima dos padrões de referência ANVISA (BRASIL, 2013).

No mesmo local, RODRIGUES *et al.* (2012) realizaram um estudo utilizando a espécie *Anodontites tenebricosus* como biomonitor, analisando as concentrações de Cd, Zn, Cr e Pb por Massa de Alta Resolução com Plasma Acoplado Indutivamente (HR-ICP-MS). Os resultados mostraram que o teor de chumbo continuava a exceder os valores de referência no local de estudo e que este bivalve é um biomonitor adequado da contaminação de metais.

A região nordeste apresenta o maior número de trabalhos envolvendo a utilização de bivalves para o estudo da contaminação ambiental. No estado de Maceió, Higino *et al.* (2012) utilizaram a espécie *Mytella charruana* para avaliar a contaminação por mercúrio na lagoa de Mundaú, uma área considerada rica em atividades poluidoras, como a agroindústria de cana de açúcar que utilizava pesticidas a base desse elemento. A maior concentração de mercúrio foi observada nos períodos secos de março ($202,4 \pm 76,3 \mu\text{g kg}^{-1}$); e a menor, no período chuvoso de agosto ($132,4 \pm 17,5 \mu\text{g kg}^{-1}$). Constatou-se ainda que indivíduos menores apresentaram as maiores concentrações, sendo esta inversamente proporcional ao comprimento.

No Rio Grande do Norte, foi realizado um estudo para determinação de metais classificados como de importância toxicológica no bivalve *Anadara notabilis*, coletados em Galinhos (ARAÚJO; MOURA; CARVALHO, 2010). Dentre os metais classificados como tóxicos, o cobre apresentou valor de 5,7 (mg kg^{-1}); o níquel apresentou teor de 4,23 (mg kg^{-1}); e o cromo, com teor de 1,7 (mg kg^{-1}), foi o único acima dos valores permitidos pela legislação brasileira.

No estado do Ceará, foram investigadas as concentrações de Cd, Zn, Cu e Cr, nos tecidos de ostra (*Crassostrea rhizophorae*) coletadas nos Rios Ceará e Cocó (GONÇALVES; FREIRE; NASCIMENTO NETO, 2007). Os resultados mostraram que as duas áreas apresentaram concentrações de cádmio, cromo e zinco, que se apresentaram acima do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira. Somente o cobre apresentou concentrações abaixo dos limites. Concluiu-se

que a espécie em estudo é um bioindicador capaz de refletir o grau de contaminação aquática.

Na Bahia, a Baía de Todos os Santos (BTS) representa uma fonte de diversos estudos relacionados à contaminação ambiental. Em uma linha de base realizada por Souza *et al.* (SOUZA; WINDMÖLLER; HATJE, 2011), foram analisadas quatro espécies de bivalves em 34 estações de coleta: *Anomalocardia brasiliiana* (chumbinho), *Brachidontes exustus* (sururu-de-pedra), *Crassostrea rhizophorae* (ostra de mangue) e *Mytella guyanensis* (sururu). Nesse trabalho, foram verificadas concentrações relativamente elevadas de elementos majoritários e traço em várias regiões da Baía, constatando-se que as regiões mais contaminadas foram a Baía de Aratu, Madre de Deus e na foz do rio Subaé. Também foram encontrados níveis elevados de contaminação, para alguns elementos, como As, no rio Jaguaripe, contra costa da ilha de Itaparica. Através de uma análise estatística, foi possível verificar a associação dos diferentes elementos estudados com as espécies de bivalves. As localidades que apresentaram os riscos mais elevados foram a Baía de Aratu e a foz do rio Subaé. A análise de risco também indicou que os elementos Cu, Zn e As são os principais responsáveis pelo potencial risco não carcinogênico à saúde humana, devido à ingestão de marisco, para todas as localidades estudadas; e o Pb apresentou maior risco carcinogênico, principalmente no sururu.

Em outro trabalho realizado na BTS (BARBOSA, 2013), foram analisadas as espécies *Lucina pectinata*, *Anomalocardia brasiliiana*, *Iphigenia brasiliiana* e *Trachycardium muricatum* quanto às concentrações dos metais As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, V e Zn em sete pontos ao longo da Baía. No estudo, foi verificado que a acumulação de metais nos tecidos moles dos bivalves foi dependente da espécie, sendo que a espécie *Lucina pectinata* apresentou as maiores concentrações de Cd, Cu e Pb. Todas as espécies apresentaram concentrações de As e Cr acima do limite máximo tolerável, especificados nas normas brasileiras.

Amado-Filho *et al.* (2008) estudaram ostras *Crassostrea rhizophorae*, coletadas em três locais da BTS, para avaliar o impacto das atividades químicas e petroquímicas em seu entorno. Foram analisadas as concentrações de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Os resultados obtidos mostraram que o cádmio, o cobre e o níquel estão concentrados nos tecidos das ostras, indicando contaminação por estes metais nessa área.

O estudo da BTS nas cidades de Madre de Deus e Saraúba quanto ao teor de metais traço no bivalve *Anomalocardia brasiliiana* verificou que, nas duas áreas analisadas, as concentrações de cobre estavam acima do limite máximo aceitá-

vel por organismos internacionais. Foi concluído que a intensa ocupação nos municípios estudados, sem um adequado planejamento, e a implantação de indústrias no entorno da BTS afetaram diretamente os ecossistemas existentes e, conseqüentemente, as espécies associadas a estes (SANTOS *et al.*, 2010).

No município de São Francisco do Conde, Santos (2011) utilizou o sururu (*Mytella guyanensis*) como bioindicador de contaminação aquática por cádmio e chumbo. Seus resultados mostraram que as concentrações destes metais no tecido do bivalve se encontravam acima do permitido pela legislação brasileira.

Em estudo recente realizado na Baía do Pontal em Ilhéus, região sul da Bahia, Costa *et al.* (2019) analisaram os tecidos de *Anomalocardia brasiliensis* (chumbinho, 2 amostras), *Iphigenia brasiliensis* (lambreta de coroa, 10 amostras), *Tagelus plebeius* (moapem, 9 amostras) e *Mytella guyanensis* (sururu, 7 amostras). As faixas de concentrações encontradas foram: cálcio (0,27 a 0,96 % m/m), potássio (0,35 a 1,37 % m/m), magnésio (0,21 a 0,88 % m/m), sódio (0,65 a 5,83 % m/m), ferro (370 a 2183 mg kg⁻¹) e zinco (50 a 300 mg kg⁻¹). Os resultados mostraram que os níveis de Fe e Zn no sururu são bem próximos aos encontrados nas Baías de Todos os Santos (BA) e de Camamu (BA) (SOUZA; WINDMÖLLER; HATJE, 2011).

Silva *et al.* (2013) encontraram, em amostras de *A. brasiliensis* coletadas no estuário do rio Ipojuca, no estado de Pernambuco, valores de alumínio (410 a 19445 mg kg⁻¹), cobalto (2,00 a 52,0 mg kg⁻¹), cobre (9,00 a 893 mg kg⁻¹), ferro (1602 a 4903 mg kg⁻¹), manganês (27,0 a 37,0 mg kg⁻¹), níquel (6,00 a 37,00 mg kg⁻¹) e zinco (100 a 402 mg kg⁻¹). Em outro trabalho, Silva *et al.* (2013) encontraram concentrações próximas no rio Ipojuca.

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, estão expostos os destaques dos resultados encontrados para a concentração de metais em várias espécies de moluscos bivalves de diferentes localidades.

Tabela 2 - Concentração de metais (mg kg⁻¹) nos tecidos de bivalves realizados em pesquisas no estado da Bahia, Brasil

Molusco Bivalve	Local	Al	Ba	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Hg	Cr	As	Cd	Pb	V	Referência
<i>Crassostrea gasar</i>	Ilhéus	-	-	-	1,54	1143	-	-	-	2285	-	-	-	-	-	-	SANTOS, 2018
<i>Iphigenia brasiliana</i>	Ilhéus	-	-	-	1,24	3323	-	-	-	251	-	-	-	-	-	-	SANTOS, 2018
<i>Lucina pectinata</i>	Ilhéus	-	-	-	0,99 a 1,19	2941 a 3469	-	-	-	207 a 233	-	-	-	-	-	-	SANTOS, 2018
<i>Mytella guyanensis</i>	Ilhéus	-	-	-	2,32 a 2,52	3577 a 3827	-	-	-	243 a 245	-	-	-	-	-	-	SANTOS, 2018
<i>Anomalocardia brasiliensis</i>	Baía do Pontal, Ilhéus	-	-	-	-	-	-	-	-	530 a 573	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>Iphigenia brasiliensis</i>	Baía do Pontal, Ilhéus	-	-	-	-	-	-	-	-	395 a 2183	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>Tagelus plebeius</i>	Baía do Pontal, Ilhéus	-	-	-	-	-	-	-	-	370 a 1654	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>Mytella guyanensis</i>	Baía do Pontal, Ilhéus	-	-	-	-	-	-	-	-	450 a 1500	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>Mytella guyanensis</i>	Baía de Todos os Santos	1810 a 2992	-	-	11,1 a 41,8	1074 a 1643	42,6 a 127	-	-	50,8 a 160	-	-	-	-	-	-	SANTIL, 2010
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	Baía de Todos os Santos	307 a 2102	-	-	4,62 a 8,84	299 a 1185	21,2 a 32,3	-	-	47,8 a 53,3	-	-	-	-	-	-	SANTIL, 2010
<i>Iphigenia brasiliiana</i> (período chuvoso)	Baía de Todos os Santos	-	-	5,34 - 9,29	11,3 - 29,9	213 - 453	7,13 - 29,8	1,11 3,02	-	90,4 - 143	-	-	-	-	-	-	BARBOSA, 2013
<i>Iphigenia brasiliiana</i> (período seco)	Baía de Todos os Santos	-	-	4,52 - 22,0	3,69 - 17,9	423 - 1149	2,32 - 9,90	2,00 3,46	-	80,5 - 175	-	-	-	-	-	-	BARBOSA, 2013
<i>Mytella guyanensis</i>	Baía de Todos os Santos	-	-	-	7,69 a 14,1	-	36,8 a 40,1	-	-	52,1 a 65,3	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	Baía de Todos os Santos	-	-	-	5,14 a 8,69	-	19,0 a 25,6	-	-	97,9 a 135	-	-	-	-	-	-	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
<i>A. brasiliiana</i>	Baía de Todos os Santos	0,5	0,18	-	8,27	218	35,9	-	-	64,3	-	-	14,1	-	6,76	0,15	SOUZA; WINDMÖLLER; HATJE, 2011
<i>C. rhizophorae</i>	Baía de Todos os Santos	-	-	-	276,1 a 526,1	330 a 924	16,4 a 17,1	-	-	2099 a 4733	-	2,5 a 4,5	-	2,71 a 8,29	4,5 a 6,6	-	SANTOS, 2011

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores.

Tabela 3 - Concentração de metais (mg kg⁻¹) nos tecidos de bivalves realizados em pesquisas nos estados de Espírito Santo, Pernambuco, Pará, Alagoas, São Paulo, Rio Grande do Norte

Molusco Bivalve	Local	Al	Ba	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Hg	Cr	As	Cd	Pb	V	Referência
<i>Mytella guyanensis</i>	Estuário de Vitória, ES	-	-	19,9 a 25,5	941 a 1540	24,0 a 56,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KUMAR; WEERASOORIYA-GEDARA, 2018
<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	Estuário do rio Ipojuca, PE	410 a 19445	-	2,00 a 52,0	9,00 a 893	27,0 a 105	6,00 a 37,0	-	-	100 a 402	-	-	-	-	-	-	SILVA <i>et al.</i> , 2013
<i>Iphigenia brasiliiana</i>	Rio Ipojuca, PE	1086 a 9201	-	2,00 a 49,0	12,0 a 377	3464 a 9498	17,0 a 51,0	4,00 a 43,0	-	179 a 684	-	-	-	-	-	-	SILVA; MACEDO; SILVA, 2013
<i>L. fortune</i> P1	Itaipu Binacional, PA	-	-	-	13,58	1268	181,63	-	-	22,91	-	4,08	-	3,33	35,25	-	MARENGONI <i>et al.</i> , 2013
<i>L. fortune</i> P2	Itaipu Binacional, PA	-	-	-	13,16	1290,20	153	-	-	23,58	-	4,83	-	3,08	35,58	-	MARENGONI <i>et al.</i> , 2013
<i>M. charruana</i>	Lagoa de Mundau, AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,1-22,2	-	SOUZA; WINDMÖLLER; HATJE, 2011
<i>A. tenebricosus</i>	Rio Ribeira do Iguape, SP	-	-	-	-	-	-	-	-	152,9	-	14,79	-	1,00	4,40	-	RODRIGUES <i>et al.</i> , 2012
<i>A. notabilis</i>	Galinhos, RN	0,502	0,170	-	5,71	-	1,52	-	-	12,31	-	-	-	-	0,200	0,062	ARAÚJO; MOURA; CARVALHO, 2010

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores.

Tabela 4 - Concentração de metais (mg kg⁻¹) nos tecidos de bivalves encontrados em pesquisas nos estados do Rio de Janeiro, Santa Catarina e Ceará

Molusco Bivalve	Local	Al	Ba	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Hg	Cr	As	Cd	Pb	V	Referência
<i>P. perna</i>	Ponta do retiro, RJ	-	-	-	0,86	170	3,71	-	-	5,71	-	0,24	-	0,04	0,06	-	FERREIRA <i>et al.</i> , 2013
<i>P. perna</i>	Buena, RJ	-	-	-	0,96	143	2,86	-	-	6,00	-	0,2	-	0,04	0,01	-	FERREIRA <i>et al.</i> , 2013
<i>P. perna</i>	Barra do furado, RJ	-	-	-	0,81	171	3,00	-	-	7,29	-	0,36	-	0,04	0,07	-	FERREIRA <i>et al.</i> , 2013
<i>C. gigas</i>	Baía da Babingtonga, SC	-	-	-	1,27 - 53,62	-	-	-	-	53,08- 184,64	-	-	0,17 -2,58	<LD- 0,38	-	-	FERREIRA <i>et al.</i> , 2013
<i>R. mangle</i>	Rio Ceará, CE	-	-	-	8,50	-	-	-	-	354	-	0,32	-	1,81	-	-	GONÇALVES; FREIRE; NASCIMENTO NETO, 2007

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores.

Tabela 5 - Comparação das concentrações (mg kg-1) encontradas nas pesquisas em relação ao órgão de regulamentação

	Al	Ba	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Zn	Hg	Cr	As	Cd	Pb	V	Referência
Concentração mínima encontrada	0,5	0,17	2,00	0,81	143	1,52	1,11	52,1	5,71	0,5	0,2	0,17	0,38	0,01	0,062	-
Concentração máxima encontrada	19445	0,18	52,00	893	9498	181,63	43,00	135	4733	0,5	14,79	14,1	8,29	60,1	0,15	-
Concentração mediana encontrada	1448	0,175	7,315	8,59	1143	25,6	3,73	81,6	121,5	0,5	2,5	2,58	1,405	5,5	0,106	-
ANVISA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	1,00	2,00	1,5	-	BRASIL, 2013
OMS	-	-	-	30	100	-	2,00	-	100	-	50	-	2,00	2,00	-	-

Fonte: Elaborado pelos pesquisadores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos moluscos bivalves como biomonitores para avaliar a contaminação ambiental por metais se mostra cada vez mais comum nos meios científicos brasileiro e internacional. A revisão levou em conta apenas a bioacumulação nos tecidos de bivalves, porém é reconhecido que um bom entendimento da biologia das espécies (sexo, idade etc.) e das variáveis do ambiente em que elas se encontram (salinidade, pH, sedimentologia) é essencial para a realização de um monitoramento ambiental completo e adequado.

Por isso, apesar de os moluscos bivalves serem considerados os melhores indicadores da qualidade ambiental, nenhuma das ferramentas é independente e elas não devem ser usadas individualmente. Comprovadamente, a bioacumulação é um instrumento fundamental para o biomonitoramento, mas deve ser integrada a outras ferramentas a fim de oferecer respostas completas sobre o impacto da contaminação por metais no ambiente.

Com isso, indica-se que os novos trabalhos a serem feitos devem levar em consideração o maior número de variáveis possíveis, tanto químicas, quanto biológicas, para que seja realizada uma análise mais completa e relevante. Os autores abordam a importância da utilização do molusco bivalve como bioindicador de níveis de metais em ambientes aquáticos e ressaltam o quanto esses organismos sofrem com a agressão a esses ambientes, concluindo que são indivíduos muito importantes para avaliar a bioacumulação de metais e suas associações com fatores temporais. Esses moluscos indicam o grau de contaminação ou o histórico de poluição, que podem ocasionar efeitos acumulativos no homem através do seguimento da cadeia trófica. São abordados ainda resultados de trabalhos realizados sobre metais em moluscos bivalves ao longo da costa brasileira, observando que os metais mais estudados são: Al, Ba, Co, Ni, Sr, Pb, Zn, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, As, V, Cr.

REFERÊNCIAS

AMADO-FILHO, G. M.; SALGADO, L. T.; REBELO, M. F.; REZENDE, C. E.; KAREZ, C. S.; PFEIFFER, W.C. Metais pesados em organismos bentônicos da Baía de Todos os Santos, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 68, n. 1, p. 95-100, 2008.

AMARAL, A. C. Z.; RIZZO, A. E.; ARRUDA, E. P. **MANUAL de Identificação dos Invertebrados Marinhos da Região Sudeste-Sul do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2005. 288 p. v. 1. ISBN 8531408946.

URBANO DE ARAUJO, Marcos A; VITORIA DE MOURA, Maria F; BORGES DE CARVALHO, Genickson. Determinação de metais classificados como de importância toxicológica no molusco bivalve *Anadara notabilis* (Röding, 1798): Encontrado em Galinhos, Rio grande do Norte, Brasil. **Acta Toxicol. Argent.**, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, v. 18, n. 2, p. 54-58, dic. 2010.

CARDENAS,-BAQUEIRO E. R.; BORABE, L.; GOLDARACENA-ISLAS, C. G.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, J. Los moluscos y la contaminación: una revisión. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, México, v. 78, p. 1-7, 2007.

BARBOSA, I. S. **Distribuição dos elementos essenciais e não essenciais em moluscos bivalves e sedimentos da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC n. 42, de 29 de agosto de 2013**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0042_29_08_2013.html. Acesso em: 14 ago. 2020.

CABRINI, T.; BARBOZA, C.; SKINNER, V.; HAUSER, R.; ROCHA, R.; SAINTPIERRE, T.; CARDOSO, R. Heavy metal contamination in sandy beach macrofauna communities from the Rio de Janeiro coast, Southeastern Brazil. **Environmental Pollution**, v. 221, p. 116-129, 2017.

COIMBRA, A. G. **Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e da Enseada das Garças, Baía de Sepetiba, RJ**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências – Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

COSTA, V. C., et al. Determinação direta de Ca, K, Mg, Na, P, S, Fe e Zn em moluscos bivalves por fluorescência de raios-X dispersiva de comprimento de onda (WDXRF) e espectroscopia de decomposição induzida por laser (LIBS). **Food Chemistry**, vol. 273, p. 91–98, 2019.

DAME, Richard F., e Michael J. Kenneth. **Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach**. Taylor e Francis, 2011. library.oapen.org, doi: 10.1201 / b11220.

DIAS, Q.; NAYAK, G. N. Geochemistry and bioavailability of mudflats and mangrove sediments and their effect on bioaccumulation in selected organisms within a tropical (Zuari) estuary, Goa, India. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 105, p. 227-236, 2016.

ECA, Gilmar F. et al. Corais como organismos biomonitores: aplicação, pré-tratamento e determinação de elementos majoritários e minoritários. **Quím. Nova**, v. 35, n. 3, p. 581-592, 2012.

FERREIRA, D.; CIFFROY, P.; TUSSEAU-VUILLEMIN, M. H.; BOURGEAULT, A.; GARNIER, J. M. DGT as surrogate of biomonitors for predicting the bioavailability of copper in freshwaters: an *ex situ* validation study. **Chemosphere**, v. 91, p. 241-247, 2013.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United States. Disponível em: < <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/> > Acesso em: em 14 dezembro 2020.

GALVÃO, P. M. A., et al. Bioacumulação de metais pesados em moluscos bivalves: aspectos evolutivos e ecológicos considerados, considerados para a biomonitoração de ambientes marinhos. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Aquática**, v. 13, n. 2, p. 59, 2010.

SOUZA, M. C. M. B. N.; **Avaliação em nível de rastreamento do risco toxicológico para a saúde humana por ingestão de invertebrados marinhos: Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. 93 p. Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

GUIMARAES, V.; SIGOLO, J. B.; Detecção de contaminantes em espécie bioindicadora (*Corbicula fluminea*) - Rio Ribeira de Iguape - SP. **Quím. Nova**, v. 31, n. 7, p. 1696-1698, 2008.

GUPTA, S. K.; SINGH, J.; Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system: a review. **The IIOAB Journal**, v. 2, n. 1, p. 49-57, 2011.

GURIA, S.; Lead (Pb) Induces Paraptosis Like Cell Death in Hemocytes of Lamellidens Sp: A Preliminary Study. **World Scientific News**, v. 94, n. 2, p. 163-172, 2014.

HAMZA-CHAFFAI, A.; Usefulness of Bioindicators and Biomarkers in Pollution Biomonitoring. **Intern. J. Biotechnol. Well. Industries**, v. 3, n. 1, p. 19-26, 2014.

HÉDOUIN, L.; et al.; Influence of food on the assimilation of selected metals in tropical bivalves from the New Caledonia lagoon: qualitative and quantitative aspects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 61, n. 7, p. 568-575, 2010.

HIGINO, P. A. S., et al.; Variação sazonal de mercúrio total em mexilhões (*Mytella Charruana*, Orbigny, 1842) de uma lagoa tropical, NE, Brasil". **Rev. Virt. Química**, v. 4, n. 4, 2012.

HOLT, E. A.; MILLER, S. W. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. **Nat. Educ. Knowl.**, v. 3, p. 1-8, 2010.

KUMAR, S. A.; WEERASOORIYAGEDARA, M. S.; **A Review on Heavy Metals Accumulation in Coastal Bivalves used in Seafood Industry: Guide to Safely consumption of Seafood. A Review on Heavy Metals Accumulation in Coastal Bivalves used in Seafood Industry: Guide to Safely consumption of Seafood**, v. 8, n. 1, p. 278-281, 2018.

LIMA, V. F.; MERÇON, F.; Metais Pesados no Ensino de Química. **Quím. Nova Escola**, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

LUOMA, S. N.; RAINBOW, P. S. **Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management**. Cambridge University Press: New York, 2008.

MAANAN, M. Concentrações de metais pesados em moluscos marinhos da região costeira do Marrocos. **Poluição Ambiental**, v.153, p. 176-183, 2008.

MARENGONI, N. G. et al.; Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu binacional. **Quím. Nova**, v. 36, n. 3, p. 359-363, 2013.

MAYER-PINTO, M.; UNDERWOOD, A.J.; TOLHURST, T.; COLEMAN, R.A. Effects of metals on aquatic assemblages: What do we really know? **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 391, n. 1-2, p. 1-9, 2010.

PÉREZ, E.; BLASCO, J.; SOLÉ, M.; Biomarker responses to pollution in two invertebrate species: *Scrobicularia plana* and *Nereis diversicolor* from the Cádiz bay (SW Spain). **Marine Environmental Research**, v. 58, n. 2-5, p. 275-279, 2004.

QUEIROZ, J. F.; SILVA, M. S. G. M.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; **Organismos Bentônicos: Bio-monitoramento de qualidade de Águas**. 1ª ed. Embrapa Meio Ambiental, 2008. 92 p. ISBN 978-85-85771-45-4.

RAINBOW, P. S.; Biomonitoring of trace metals in estuarine and marine environments. **Australasian Journal of Ecotoxicology**, v. 12, p. 107-122, 2006.

RAINBOW, P. S. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? **Environmental Pollution**, v. 120, p. 497-507, 2002.

REPULA, C. M. M.; Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. **Quím. Nova**, v. 35, n. 5, p. 905-909, 2012.

RODRIGUES, V. G. S.; et al., Uso do Bivalve Límnico *Anodontites Tenebricosus* (Lea, 1834) no biomonitoramento de metais do Rio Ribeira de Iguape. **Quím. Nova**, v. 35, n. 3, p. 454-459, 2012.

SAENZ, L. A.; et al.; Biochemical biomarkers and metals in *Perna perna* mussels from mariculture zones of Santa Catarina, Brazil. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 73, 796-804, 2010.

SANTIL, D. S. **Determinação de elementos maiores e traço em tecidos de moluscos bivalves por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

SANTOS, G. B. M. **Elementos nutrientes e chumbo em bivalves comercializados no sul da Bahia**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2018.

SANTOS, L. F. P. **Avaliação dos teores de cádmio e chumbo em pescado proveniente de São Francisco do Conde, Bahia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Alimentos, Nutrição e Saúde) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SANTOS, W. P. C., HATJE, V., SANTIL, D. S., FERNANDES, A. P., KORN, M. G. A., SOUZA, M. M. Optimization of a centrifugation and ultrasound-assisted procedure for the determination of trace and major elements in marine invertebrates by ICP OES. **Microchemical J.**, v. 95, p. 169-173, 2010.

SILVA, M. A. M., et al.; Dissolved Inorganic Nutrients and Chlorophyll a in an Estuary Receiving Sewage Treatment Plant Effluents: Cachoeira River Estuary (NE Brazil). **Environ. Monitor. Assessment**, v. 185, n. 7, p. 5387-99, 2013.

SILVA, M. G. E. P.; MACÊDO, S. J.; SILVA, H. K. P. Avaliação das concentrações de metais-traço em moluscos bivalves *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) e *Iphigenia brasiliiana* (Lamarck, 1818) no estuário do rio Ipojuca - Ipojuca - PE, Brasil. **Trop. Oceanogr.**, v. 41, p. 154-172, 2013.

SOUZA, M. M.; WINDMÖLLER, C. C.; Vanessa, V.; Shellfish from Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil: Treat or threat?. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, p. 2254-2263, 2011.

THORP, J. H.; COVICH, A. P. **Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates**. California: Academic Press, Inc., 1991.

TURECK, C. R., et al.; Avaliação da concentração de metais pesados em tecido de ostra (*Crassostrea gigas*, Molusca, Bivalve), cultivadas na baía da babitonga, litoral norte de Santa Catarina. Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 16, p. 53-62, 2006.

VAROL, M.; SÜNBÜL, M. R.; Biomonitoring of Trace Metals in the Keban Dam Reservoir (Turkey) Using Mussels (*Unio elongatulus eucirrus*) and Crayfish (*Astacus leptodactylus*). **Biological Trace Element Research**, v. 185, p. 216-224, 2018.

ZEIDAN, G. C.; LUZ, M. S. A.; BOEHS, G. Parasites of economically important bivalves from the southern coast of Bahia State, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, Jaboticabal, v. 21, n. 4, p. 391-398, 2012.

ZUYKOV, Michael et al. Bivalve mollusks in metal pollution studies: From bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, [S. l.], v. 93, n. 2, p. 201-208, 1 set. 2013.

ANÁLISE SOCIOECONÔMICA DA PRODUÇÃO HORTÍCOLA NA LAGOA DAS FLORES, VITÓRIA DA CONQUISTA, BAHIA

VALERIA MELO FERRAZ
MÔNICA DE MOURA PIRES
PAULO CÉSAR BAHIA DE AGUIAR
MONICK MIDLEJ DO ESPÍRITO SANTO

RESUMO

O processo de produção e comercialização de produtos agrícolas passou por importantes transformações nas últimas décadas, que resultaram, entre outras coisas, em significativas dificuldades para os produtores de hortaliças integrarem a cadeia produtiva do setor. Tais dificuldades têm se agravado devido ao perfil socioeconômico característico desses produtores, algo que sugere a realização de estudos que possibilitem compreender as diferentes nuances que envolvem as especificidades locais, evidenciando fatores estratégicos e condicionantes que influenciam a integração da cadeia em seus aspectos de competitividade e sustentabilidade ambiental. A partir dessa problemática, este trabalho teve como principal objetivo analisar os aspectos socioeconômicos que envolvem o processo de produção hortícola no bairro Lagoa das Flores, da cidade de Vitória da Conquista, Bahia, que tem na atividade hortícola uma importante fonte de renda. Espera-se, assim, subsidiar ações e medidas estratégicas para essa atividade local a partir da visão dos pequenos produtores locais. Para isso, foi construído e aplicado um formulário semiestruturado a 39 dos 120 produtores do local, no ano de 2014, o qual abrangeu questões acerca do perfil socioeconômico, bem como sua visão sobre a cadeia produtiva local de hortaliças. De acordo com os resultados, notou-se que, apesar da concentração geográfica e da demanda crescente por hortaliças na cidade de Vitória da Conquista, os produtores da Lagoa das Flores não têm acompanhado as exigências do mercado. Dessa forma, necessitam de maior profissionalização para atender a essas exigências, bem como maior cooperação, adoção de novas técnicas de produção e logística, manejo mais sustentável da produção e acompanhamento técnico. O atendimento a esses pontos poderá beneficiar os produtores e sua integração ao mercado, afetando positivamente a competitividade e a sustentabilidade da cadeia.

Palavras-chave: Perfil Socioeconômico. Cadeia Produtiva. Competitividade. Sustentabilidade. Pequena Produção.



ABSTRACT

The production and trading process of agricultural products has passed through key shifts over the last decades, which have turned out to be, among other things, meaningful difficulties to horticultural manufacturers in their integration to the production chain from this sector. Those struggles have worsened due to the defining socioeconomic profile of these producers and this fact proposes information-gathering to understand nuances which entail local characteristics, highlighting strategic and conditioning factors that affect the unifying of the chain in its aspects of competitiveness and environmental sustainability. Based on this issue, this essay aimed to analyze social socioeconomic features that involves the horticultural productive process in Lagoa das Flores, a neighborhood from Vitória da Conquista (Bahia, Brazil), where the horticultural activity is a main method of income. Thus, this investigation looks forward to supporting strategic actions and measures to this local effort, pointing the perspective of small local farmers. Therefore, a semi-structured data sheet was built and applied in 2014; this form includes questions about the socioeconomic profile of the researched producers, as well as their own view on the local horticultural productive chain. According to the results, though there are a geographic gathering and a rising demand within Vitória da Conquista, producers from Lagoa das Flores have not managed to follow the market requirements, hence they need more professionalization to attend these appeals, along with more cooperation, adoption of new productive and logistic techniques, a more sustainable production and technical follow-up. By catering to these topics, producers will be able to benefit from it and their integration to the market will affect the competitiveness and the sustainability of the chain positively.

Keywords: Socioeconomic Profile. Production Chain. Competitiveness. Environmental Sustainability. Small Production.

1 INTRODUÇÃO

O perfil da produção agrícola, no Brasil, passou por intensas transformações nas últimas décadas. Essas transformações decorreram da denominada “revolução verde”, que trouxe profundas inovações, fornecendo pacotes tecnológicos e de insumos que facilitaram a produção em larga escala. Propiciou, ainda, a mecanização do campo e a desagregação das relações sociais de trabalho por meio da ampla substituição da mão de obra por máquinas. Nesse contexto, os grandes produtores foram os maiores favorecidos por essas transformações, restando poucos benefícios para os pequenos produtores que, por muitas vezes, tornavam-se reféns das grandes empresas produtoras de insumos e bens de capital.

A cadeia relativa à comercialização da produção agrícola nacional, tanto para o mercado interno, mas, sobretudo, para o mercado externo, também vem passando por significativas transformações que têm culminado, na atualidade, com o estabelecimento de diversas exigências de qualidade. Estas envolvem desde a adoção de padrões de sustentabilidade ambiental no processo produtivo (DONAIRE, 2010), até a adoção de medidas sanitárias que certifiquem a qualidade para a circulação e o consumo final dos produtos. A capacidade que grandes e pequenos produtores têm em responder às novas exigências, em um mercado maior, está diretamente atrelada a sua competitividade, que se associa à sustentabilidade ambiental, a qual contempla um conjunto de fatores integrados na cadeia produtiva.

No Brasil, parte relevante dos pequenos produtores ainda é dependente de políticas públicas em razão da sua dificuldade em competir no mercado devido a fatores diversos, tais como: sazonalidade da produção, influência de intempéries climáticas, pragas, descapitalização, conhecimento técnico inadequado e falta de assistência técnica. Nesse contexto, a cadeia de produção de hortaliças é uma das mais desafiadoras, pois, além de possuir uma dinâmica própria e estar sujeita a todos esses diferentes fatores, seu produto possui vida curta pós-colheita – fácil perecibilidade –, e sofre fortes oscilações de preços em função das condições climáticas, o que torna essa cadeia frágil.

Para Melo e Vilela (2007), um dos gargalos da cadeia produtiva de hortaliças é a perda da produção na colheita e nas etapas subsequentes, como embalagem, transporte, armazenamento e comercialização, até chegar ao consumidor. Portanto, essa atividade agrícola exige planejamento estratégico em sua condução.

Dados do *Anuário Brasileiro de Horti&Fruti* (KIST *et al.*, 2018) mostram que a produção brasileira de frutas e hortaliças, no decorrer dos últimos anos, tem dado mostras de seu potencial produtivo, de trabalho e de renda. Em 2018, na olericultura, a mão de obra, direta e indireta, atingiu cerca de 7 milhões de empregos, movimentando por volta de R\$ 25 bilhões. Em torno de 97% da produção foi absorvida no mercado interno, devido à rápida perecibilidade do produto. Para agregar valor, um dos desafios do setor tem sido a busca pela certificação (ainda com baixa adesão), a integração em associações cooperativas e a verticalização da produção. Nos últimos 10 anos, segundo o mesmo *Anuário*, o setor aumentou a produção de forma significativa, mas ainda necessita maior profissionalização por parte dos produtores para atender a determinadas demandas dos consumidores.

O cenário atual aponta para a necessidade de integração do produtor de hortaliças às exigências dos consumidores (que demandam produtos personalizados). Assim, é necessário conhecer o processo de produção e a saudabilidade do alimento, a partir da disponibilização de informações e da adoção de processos e métodos modernos de organização.

No município de Vitória da Conquista, Bahia, especificamente no bairro Lagoa das Flores, um dos grandes desafios dos produtores locais é se adequar às novas exigências dos consumidores, com produtos qualificados, por meio de práticas consideradas ambientalmente corretas e, concomitantemente, disponibilizar produtos com preços competitivos. O bairro possui características de espaço rural e se constitui em um importante centro produtor de hortaliças.

Sendo assim, compreender de forma mais profunda a realidade socioeconômica que envolve o processo de produção de hortaliças em Lagoa das Flores se torna importante, pois pode-se adotar estratégias para o setor, ocasionando benefícios para os envolvidos na produção e no consumo dos produtos. Assim, traçou-se como objetivo deste trabalho analisar os aspectos socioeconômicos que envolvem o processo de produção hortícola em Lagoa das Flores, na cidade de Vitória da Conquista, Bahia, enfatizando a visão que os pequenos produtores locais têm sobre as questões que envolvem o setor e a sua sustentabilidade ambiental.

2 A IMPORTÂNCIA DA PRODUÇÃO HORTÍCOLA NO BRASIL

As hortaliças se constituem em um tipo de cultivo agrícola que se enquadra no rol das olerícolas. A partir da década de 1940, a evolução histórica do processo de produção no Brasil passou do aspecto de pequena horta para o de propriedades de exploração comercial. Até então, existiam apenas pequenas explorações diversificadas, localizadas nos “cinturões verdes” dos arredores das cidades, enquanto que, no meio rural, existiam as áreas maiores e mais especializadas nessa produção (FILGUEIRA, 2000).

Segundo Melo e Vilela (2007), a produção de hortaliças como atividade agroeconômica se diferencia por exigir poucos investimentos, em contraste com outras atividades agrícolas extensivas. Bevilacqua (2006) acrescenta ainda que, pela alta rentabilidade física e econômica, há um aproveitamento de terrenos de baixa fertilidade natural, o que potencializa a importância dessa atividade.

Nas últimas décadas, essa cultura agrícola adquiriu significativa importância no cenário nacional enquanto atividade econômica, tanto por sua contribuição para o processo de busca pela soberania e segurança alimentar (haja vista o fato de boa parte dos alimentos consumidos nos lares das famílias brasileiras serem provenientes da agricultura familiar), quanto por sua contribuição na geração de renda para diferentes segmentos da sociedade (em especial o pequeno agricultor). Também, por potencializar a geração de empregos em diferentes escalas, as quais vão desde o plantio até a comercialização (IBGE, 2013).

Embora suscetível a diversos reveses e fragilidades, que vão desde o processo de produção até o de circulação, comercialização e consumo, a atividade ligada às hortaliças gera significativa demanda por mão de obra (MELO; VILELA, 2007). Em 2018, auferiu-se que a produção de frutas e hortaliças proporcionou alto valor agregado por área e um elevado número de empregos. Estimou-se que, a cada dez hectares plantados com frutas e hortaliças, foram empregadas 25 pessoas. Em comparação, a produção de soja, no mesmo espaço, gera apenas um emprego. No mesmo ano, foram vendidas mais de 5 mil toneladas de hortaliças nas centrais de abastecimento do país, movimentando mais de R\$ 11 bilhões (KIST *et al.*, 2018).

No aspecto da comercialização, o setor agrícola passou por importantes transformações nos últimos anos, que impuseram a necessidade da integração de um conjunto de fatores no elo da cadeia produtiva para que o setor pudesse alcançar competitividade e sustentabilidade ambiental. Essas exigências leva-

ram os empresários brasileiros a experimentarem novas técnicas de gerenciamento e a buscarem por alianças estratégicas. Além disso, do lado da demanda, os consumidores se mostraram cada vez mais exigentes quanto à qualidade (saudabilidade) e à disponibilidade do produto nos pontos de venda (MELO; VILELA, 2007).

Em anos recentes, além de o governo federal ter instituído programas, documentos e linhas de crédito de fomento ao setor agrícola, também criou uma norma legal exigindo procedimentos de rastreabilidade em todas as etapas do processo de produção para diversas frutas e hortaliças no Brasil. A *Instrução Normativa Conjunta (INC) 02/2018* da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define esses procedimentos e prevê punições se não cumpridos (BRASIL, 2018). Essa rastreabilidade atende à legislação e aos desejos dos consumidores, que buscam informações quanto à origem dos alimentos consumidos (KIST *et al.*, 2018).

O Ministério da Agricultura atuou também junto à Câmara Setorial de Hortaliças, adotando políticas públicas que proporcionaram condições de ampliar as discussões para além das questões pontuais do dia a dia da cadeia, as chamadas questões conjunturais. Essas ações permitiram pensar no futuro, além de construir planos e projetos de médio e longo prazos que fomentassem o desenvolvimento da cadeia como um todo, com competitividade e sustentabilidade, abrangendo as denominadas questões estruturais (BRASIL, 2011). A Câmara Setorial de Hortaliças é formada pelos órgãos dos diversos elos da Cadeia Produtiva, proporcionando o ordenamento dos trabalhos estabelecidos pela Câmara Setorial. Por meio de fóruns, o governo federal tem proposto discussões cuja finalidade maior é possuir uma visão sistêmica e projetar políticas de médio e longo prazos por meio da participação dos representantes dos diferentes segmentos do setor (BRASIL, 2011).

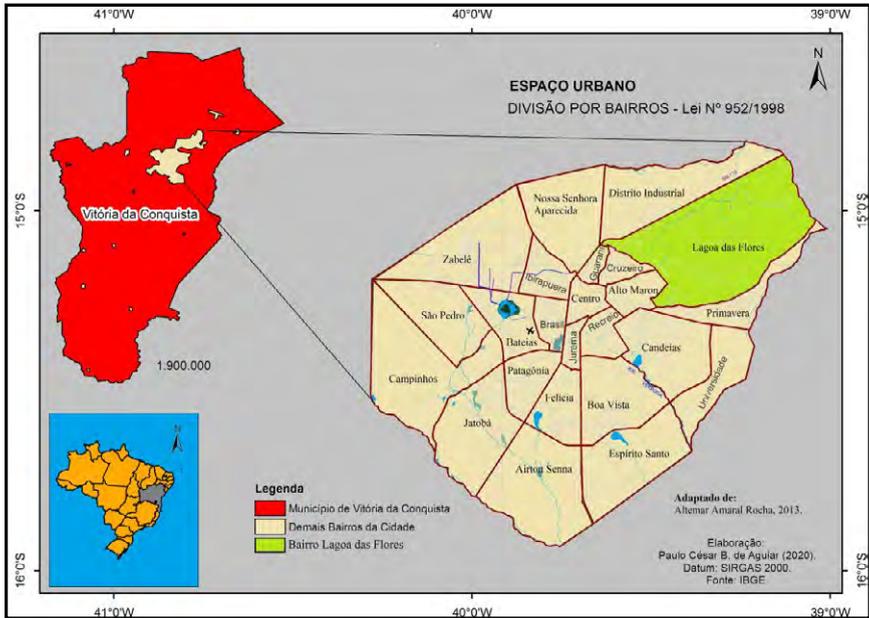
No estado da Bahia, as Câmaras Setoriais da Agropecuária se constituíram em fóruns criados, assim como as demais ações, com a finalidade de aumentar a eficiência produtiva e a competitividade das cadeias produtivas de diferentes atividades, como as horticolas, ou mesmo dos produtores de *commodities*, tipo café, algodão, soja e cacau, os quais apresentaram significativa representatividade e força, conseguindo importante segmentação de verbas (BRASIL, 2011). O governo do estado desenvolveu políticas e programas para apoiar o produtor rural na elaboração de projetos, na assistência técnica, no financiamento e na normatização, a fim de fomentar práticas rurais mais sustentáveis.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Segundo a *Lei Municipal nº 952/1998* (VITÓRIA DA CONQUISTA, 1998), que estabeleceu o Plano Diretor Urbano, a Lagoa das Flores, área do presente estudo, é oficialmente um bairro da cidade de Vitória da Conquista (Figura 1) e está localizada às margens da BR 116. Em seu aspecto populacional, segundo Rocha, Silva e Oliveira (2013), em 2000, o bairro Lagoa das Flores possuía um contingente de aproximadamente 2.169 habitantes. Já no ano de 2010, segundo dados do último censo, sua população era de 2.456 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 1 - Mapa de localização do bairro Lagoa das Flores no espaço urbano de Vitória da Conquista, e deste em seu respectivo município



Fonte: Elaborado por Paulo César B. de Aguiar, com base em Vitória da Conquista (1998), IBGE (2010), e adaptado de Rocha, Silva e Oliveira (2013).

Por sua vez, o município de Vitória da Conquista está localizado na região sudoeste do estado da Bahia. Faz divisa com os seguintes municípios: Cândido Sales, Belo Campo, Anagé, Planalto, Barra do Choça, Itambé, Ribeirão do Largo e Encruzilhada. Possui uma área territorial de 3.204,186 km² e, segundo o último censo (IBGE, 2010), detinha uma população total de 306.866 habitantes, com

densidade demográfica de 91,41 hab./km². Em 2010, apresentou uma média de 3,54 moradores por domicílios particulares ocupados, sendo que, do total da população municipal, 48,1% eram do sexo masculino e 51,8% eram do sexo feminino. Da população total, 89,53% eram moradores do espaço urbano e 10,47% do espaço rural (IBGE, 2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal, para o ano de 2010, foi de 0,678, o que colocava o município na condição de médio desenvolvimento humano, segundo classificação do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), sendo que a variável com melhor desempenho foi a longevidade, com 0,788, seguida da renda, com 0,681, e da educação, com 0,581 (PNUD – ATLAS BRASIL, 2013).

A base econômica de Vitória da Conquista tem, no setor de serviços, sua maior representação no Produto Interno Bruto (PIB) do município, seguido, respectivamente, pela participação da administração pública, indústria e agropecuária. Na produção agrícola, os principais produtos da lavoura permanente desenvolvidos no município, no ano de 2018, foram o café em grãos, a banana em cacho, a laranja, o mamão, o maracujá, a tangerina e o urucum; já na lavoura temporária, foram o abacaxi, a cana-de-açúcar, o feijão em grãos, a mandioca, a melancia e o milho (IBGE, 2018). Ainda ocupa certa importância a produção olerícola (hortaliças) e as pecuárias bovina, caprina e suína.

O clima predominante em Vitória da Conquista é o quente e temperado (Cwb), conforme a classificação climática de Köppen e Geiser, com temperatura média de 20,0 °C, e pluviosidade média anual de 712 mm – entre os anos de 1982 a 2012. Normalmente, agosto é o mês mais seco do ano e novembro é o mês com maiores precipitações pluviométricas (CLIMATE-DATA, s.d.). O território do município é abrangido pelo bioma Mata Atlântica e pelo bioma Caatinga (ROCHA; SILVA; OLIVEIRA, 2013). No aspecto pedológico, predomina o Latossolo Amarelo e o Argissolo Vermelho-Amarelo.

3.2 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

Para melhor conhecer o perfil socioeconômico dos produtores da Lagoa das Flores, a produção de hortaliças, a competitividade, a sustentabilidade ambiental do sistema de produção e o nível de integração dos produtores à cadeia produtiva, foi aplicado formulário semiestruturado a 39 produtores de hortaliças (aprovado pelo CEP/UESC por meio do parecer nº 537.706/2014), entre abril e agosto de 2014, bem como registros fotográficos dos locais.

Para definir a quantidade de entrevistados, utilizou-se o procedimento amostral não probabilístico e por acessibilidade. A amostra foi dividida em quadrantes da área de produção de hortaliças, sendo aproximadamente 10 entrevistados em cada quadrante. A estrutura das questões presentes no formulário levou em consideração oito condicionantes, adaptados a partir de Zaccarelli (1995), conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Condicionantes e indicadores levados em consideração no formulário semiestruturado

Condicionantes	Indicadores
1. Concentração Geográfica	a) Presença física de Instituições Públicas ou Organização Comercial instaladas na Lagoa das Flores
2. Instituições de Apoio na região	a) Opinião sobre a relação de extensão e/ou pesquisa por parte dessas instituições b) Opinião sobre a proximidade física dessas instituições e o benefício local
3. Cooperação entre os produtores e tempo de relacionamento entre produtores e fornecedores	a) Relacionamento comercial entre produtores e fornecedores b) Opinião sobre os benefícios da associação de produtores da Lagoa das Flores c) Identificação dos tipos de parceria entre os membros da associação
4. Alta especialização	a) Existência de estratégias de marketing para competir no mercado
5. Aproveitamento de subprodutos	a) Nível de perdas das hortaliças b) Destino dado às hortaliças perdidas c) Destino final das embalagens de agrotóxicos e demais insumos
6. Reciclagem de produtos	a) Ineficiência na utilização dos agrotóxicos e se atinge o meio ambiente através da contaminação b) Opinião sobre em qual aspecto do meio ambiente os resíduos da atividade desenvolvida podem gerar contaminação
7. Administração dinâmica e moderna	a) Atuação dos produtores para se manterem no mercado b) Tipos de mercados de destino da produção c) Opinião sobre se o sistema Logístico utilizado tem minimizado os custos d) Tipo de veículo para transporte dos produtos e) Existência de dificuldades para empregar pessoas
8. Defasagem tecnológica	a) Conhecimento sobre a utilização de agrotóxicos na produção b) Existência de doenças relacionadas ao uso de agrotóxicos c) Existência da utilização de adubação orgânica d) Frequência do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Fonte: Adaptado de Zaccarelli (1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ORIGEM DA LAGOA DAS FLORES E PERFIL SOCIOECONÔMICO DOS AGRICULTORES PESQUISADOS

A área que atualmente configura a Lagoa das Flores fazia parte, até os anos 1930, de uma grande fazenda de café, a qual sofreu desmembramento. Os primeiros moradores passaram a ter a fabricação de tijolos como atividade econômica principal e a produção agrícola existente era para autoconsumo. Posteriormente, essas atividades foram perdendo espaço para as empresas de cerâmica que começaram a se instalar no local, pois detinham maquinários e tecnologias apropriados para produzirem cerâmica, sendo mais eficientes e competitivas nessa produção.

Por volta da década de 1970, cerca de 120 hectares da área foram ocupados com a produção de flores de diversas espécies. A partir daí, o local passou a ser conhecido como Lagoa das Flores. No entanto, essa produção foi se reduzindo, no transcorrer do tempo, e a produção de hortaliças passou a ocupar lugar de destaque, ademais, essa produção passou a ter grande aceitação no mercado local. Havia forte concorrência no mercado de flores, com aquelas produzidas no sudeste do país, em especial no município de Holambra (estado de São Paulo), levando os produtores da Lagoa das Flores a perderem mercado em função de preços pouco competitivos.

No momento da pesquisa, os produtores da Lagoa das Flores possuíam lotes que variavam entre 1.000m² a 30.000m² para produção de hortaliças, em que predominavam os cultivos de alface, couve, coentro, salsa, cebola etc., enquanto o cultivo de flores representava uma participação menor, se comparado à produção de hortaliças (ROCHA; SILVA, OLIVEIRA, 2013). A característica dos lotes no local se enquadra na categoria de minifúndio, pois o módulo fiscal para minifúndios em Vitória da Conquista, segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), é de 35 hectares.

Na região de Lagoa das Flores, em 2014, existia cerca de 120 produtores de hortaliças. Desse total, os 39 participantes desta pesquisa eram, em sua maior parcela, mulheres, correspondendo a 67% dos participantes. Essa maior participação feminina na produção de hortaliça destoa da realidade brasileira. Tacconi Neto, Ramos e Tacconi (2010) mencionam que, em nível nacional, a produção agrícola é mais desenvolvida pelo gênero masculino. No entanto, em Lagoa das Flores, segundo Rocha, Silva E Oliveira (2013), essa característica de ter, em

maior número, o gênero feminino desenvolvendo atividades de cultivos é comum há décadas, pois eram as mulheres, em sua maioria, que cultivavam as flores para vender e complementar a renda familiar. Posteriormente, a maior parte delas deixou de cultivar flores e passou a cultivar hortaliças, pois perceberam que podiam obter melhor renda, incentivadas pelo menor custo de produção e pela menor concorrência de outros locais.

Dos 39 participantes da pesquisa, 18% possuíam idade entre 18 a 30 anos; 15%, entre 31 a 40 anos; 31%, entre 41 a 50 anos; 31%, entre 51 a 60; e 5% estavam acima dos 60 anos de idade. Portanto, percebe-se que 62% dos agricultores pesquisados eram adultos entre 41 a 60 anos de idade. No geral, o número de jovens com até 30 anos de idade envolvidos com a atividade de produção de hortaliças era relativamente baixo. De igual forma, o nível de instrução era baixo, pois 82% dos entrevistados não chegaram a completar o ensino fundamental, 10% concluíram o ensino fundamental, 5% concluíram o ensino médio, e uma pessoa nunca frequentou a escola.

Grande parte dos produtores se encontrava naquela localidade há muito tempo: 46% residiam na localidade entre 21 a 30 anos, 26% residiam entre 31 e 40 anos e 28% residiam há mais de 40 anos. Em média, o tempo de moradia estava acima de 20 anos. Esse tempo de residência é uma variável importante na construção dos laços de sociabilidade e influencia as oportunidades geradas ao seu entorno, criando redes sociais locais. Segundo Scott (2000), as redes que se formam interferem no comportamento dos indivíduos no grupo e nas escolhas realizadas, além de serem fundamentais para compreender as interações existentes.

Em relação à renda familiar mensal, obtida de diferentes fontes (inclusive governamentais), 31% não se dispuseram a responder – uns por não obterem o controle de quanto ganhavam e outros por não quererem. Dos demais, 23% expressaram obter até um salário mínimo vigente na época; 26% disseram obter renda variando entre um e dois salários mínimos; 26% obtinham renda entre dois e três salários mínimos; e 2% obtinham renda entre três e quatro salários mínimos.

4.2 CARACTERÍSTICAS E CONDICIONANTES DA CADEIA PRODUTIVA DE HORTALIÇAS DA LAGOA DAS FLORES

O cultivo de olerícolas, segundo Bevilacqua (2006), possui algumas características relevantes dentro das atividades agrícolas, dentre as quais está o fato de possuir caráter intensivo quanto à utilização do solo, aos tratamentos culturais, à mão-de-obra e aos insumos agrícolas modernos (sementes, defensivos e adubos

químicos). Além disso, tem o potencial de proporcionar relativo lucro ao produtor. Esse potencial de lucro é decorrente, substancialmente, da capacidade de alto giro e de uso intensivo do terreno, pois, em uma mesma área, pode-se plantar mais de três culturas de ciclo curto e, normalmente, a colheita se dá em um espaço de tempo médio de 3 a 6 meses após o plantio.

No entanto, pesquisas da Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (BRASIL - CEAGESP, 2013) indicam que, no aspecto comercialização, as perdas de produtos, como alface, ainda são relevantes, sendo que 19% ocorrem devido à embalagem inadequada, 17% devido ao transporte e 10% devido ao manuseio. Assim, uma logística inadequada da cadeia de suprimentos prejudica o consumo e aumenta o desperdício nas feiras livres, supermercados e mercadinhos, locais onde comumente é comercializada. Para que haja uma redução dessas perdas e um aumento da oferta da alface, e das hortaliças em geral, é fundamental o uso de melhor logística, a fim de atender às exigências dos consumidores e de beneficiar todos os agentes da comercialização desses produtos.

A introdução de tecnologias mecânicas e químicas nas últimas décadas, que promoveram a ampliação e os ganhos na escala de produção agrícola, também foi responsável por diversos impactos sobre o meio ambiente. Assim, da mesma forma que as atividades industriais, boa parcela das atividades agrícolas também utiliza processos produtivos que geram impactos ao meio ambiente. Problemas como perda de terras cultiváveis, redução na quantidade e qualidade da água, desmatamento, desertificação e perda de recursos genéticos, bem como o surgimento de doenças pela contaminação dos alimentos, são exemplos de como essas tecnologias, quando usadas de forma desordenada, contribuem para o agravamento da condição ambiental (SOUZA; ALCÂNTARA, 2008).

Nesse contexto, a cadeia que envolve a produção de hortaliças não difere muito dessa realidade, pois, devido à intensa utilização de insumos (fertilizantes e agrotóxicos), aliada à necessidade constante de irrigação, à utilização de áreas isentas de doenças do solo e ao alto volume de perdas, também provoca impactos socioambientais consideráveis. Existem realidades, no entanto, que se propõem ser alternativas ao modelo predominante, a exemplo da produção em bases agroecológicas.

A grande problemática do debate sobre sustentabilidade ambiental na agricultura diz respeito às tecnologias de produção. Os debates nessa área são conflitantes, pois o termo tecnologia agrícola sustentável tem diferentes definições. Segundo Batalha (2001), existem muitas tecnologias que são classificadas como sustentáveis, apesar de serem questionáveis, a exemplo do uso de dejetos de animais no lugar de fertilizantes, pois seu uso excessivo pode levar

à contaminação de lençóis freáticos. Por conseguinte, sustentáveis são aquelas tecnologias que simultaneamente proporcionam conservação ambiental e sistemas socioeconômicos justos.

Para Batalha (2001), podem-se apontar caminhos que, possivelmente, alcancem consensos de formas de agricultura sustentáveis, ao adotarem práticas e tecnologias que:

- a) Usam técnicas adequadas de manejo, as quais mantêm a integridade ecológica dentro e fora da propriedade;
- b) São necessariamente flexíveis e adequadas para locais específicos;
- c) Preservam biodiversidade, os atrativos da paisagem natural e outros bens públicos;
- d) São lucrativas para os produtores em longo prazo;
- e) São economicamente eficientes sobre o ponto de vista social.

Um dos desafios da produtividade e sustentabilidade ambiental está no controle de doenças e no manejo sustentável dos agrotóxicos. Segundo Lopes (2012), é hora de abandonar os simplismos dos extremos, em que um lado afirma que as hortaliças estão irremediavelmente envenenadas, enquanto o outro lado afirma haver ameaça de ocorrer falta de alimentos caso os agrotóxicos sejam abolidos. A questão exige raciocínio com rigor científico, independente de posicionamento ideológico ou interesses econômicos. O autor ainda salienta que é possível controlar doenças de plantas sem a utilização de agrotóxicos convencionais, em regiões e épocas favoráveis a doenças. Contudo, o consumidor brasileiro e os consumidores em geral valorizam os aspectos estéticos, rejeitando os manchados, furados ou com defeitos. Assim, é com o interesse de atender a estas exigências do consumidor que, cada vez mais, são utilizados agrotóxicos para uma produção livre de pragas (LOPES, 2012).

A carência de informações de pesquisas localizadas e sistêmicas, quase sempre justificada pela complexidade de solos e pela diversidade climática e de manejo, dificulta sobremaneira a elaboração de recomendações técnicas aos produtores. Dessa forma, boa parte da sociedade acaba aceitando que, embora indesejáveis, os agrotóxicos são necessários para garantir a produção de algumas espécies, principalmente no que diz respeito às folhosas, devido a sua alta perecibilidade. Considerando essa realidade, é necessária a compreensão das condicionantes que caracterizam a integração do ambiente produtivo do agronegócio e a cadeia de hortaliças, de forma a caracterizar a problemática do modelo produtivo adotado no Brasil.

Para a realidade dos produtores de hortaliças da Lagoa das Flores, nota-se a necessidade de se compreender os fatores estratégicos e condicionantes que possivelmente possibilitem vantagens competitivas e sustentabilidade ambiental. Algumas dessas condicionantes e fatores foram agrupados na Tabela 2.

Tabela 2 - Respostas dos entrevistados aos indicadores

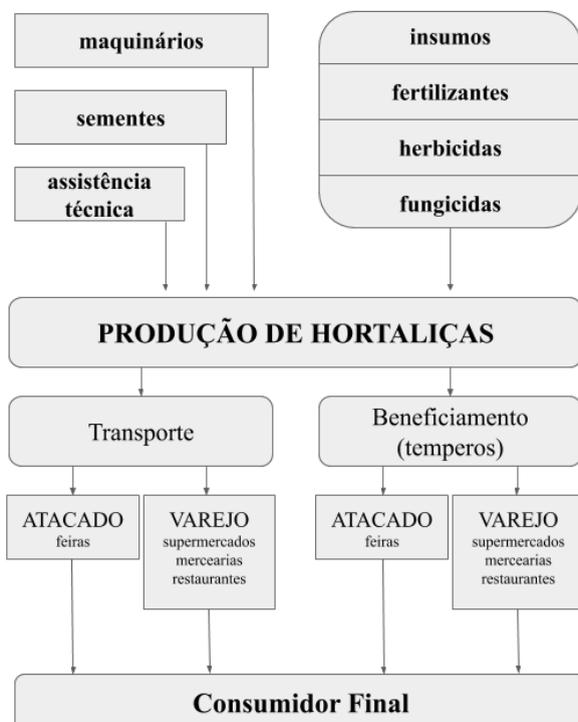
Condicionantes	Indicadores	Respostas (Em Percentual %)
1. Concentração Geográfica	a) Presença física de Instituições Públicas ou Organização Comercial instaladas na Lagoa das Flores	a) 15% apontaram as instituições de crédito; 62%, representantes de venda de fertilizantes e insumos; 3% citaram outras instituições, como a Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB); e 20% não conseguiram identificar a presença de qualquer instituição.
2. Instituições de Apoio na região	a) Opinião sobre a relação de extensão e/ou pesquisa por parte dessas instituições	a) 82% não conseguem perceber essa participação; e apenas 18% reconhecem a presença de universidades ou faculdades privadas atuando na localidade, inclusive, dos entrevistados, dois reconheceram a presença da UESB.
	b) Opinião sobre a proximidade física dessas instituições e o benefício local	b) 38% relatam que esse relacionamento é distante; 56% desconhecem relacionamento; 3% apontaram a presença de relação próxima e atuante; e 3% consideram a relação mediana e receptiva quando solicitada. Traria benefícios (15%) ou nenhum benefício (85%).
3. Cooperação entre os produtores e tempo de relacionamento entre produtores e fornecedores	a) Relacionamento comercial entre produtores e fornecedores	a) 28% não souberam informar o tempo de relacionamento existente; 38% têm menos de três anos de relacionamento comercial com os fornecedores; 23% possuem um relacionamento com os fornecedores superior a 10 anos; 11% não têm qualquer relacionamento.
	b) Opinião sobre os benefícios da associação de produtores da Lagoa das Flores	b) 95% apontaram que a associação de moradores da Lagoa das Flores não os representa; e 5% dizem que se sentem representados pela associação.
	c) Identificação dos tipos de parceria entre os membros da associação	c) 23% relataram para financiamentos; 31% para compras; 26% para vendas; 5% de menor importância; e para 15% não há parceria.
4. Alta especialização	a) Existência de estratégias de <i>marketing</i> para competir no mercado	a) 77% disseram não adotar qualquer tipo de <i>marketing</i> para divulgar seu produto; 23% afirmaram utilizar estratégias como "boca-a-boca", trabalhar fatores de qualidade ou produto orgânico.
5. Aproveitamento de subprodutos	a) Nível de perdas das hortaliças	a) 26% não souberam dimensionar as perdas; 18% apontaram perdas entre 20% e 30% da produção; 31% disseram que as perdas ficam entre 1% e 10% da produção; e 25% afirmaram que as suas perdas ficam entre 10% e 20% da produção.
	b) Destino dado às hortaliças perdidas	b) 44% são usadas na adubação; 41% são descartadas; 13% não disseram o que fazem com as perdas; e 2% beneficiam e transformam em temperos.
	c) Destino final das embalagens de agrotóxicos e demais insumos	c) 44% não souberam informar o destino das embalagens dos produtos químicos utilizados; 5% dizem enterrá-las; 5% descartam diretamente no terreno; e 46% dizem devolver para as lojas.

Condiçio- nantes	Indicadores	Respostas (Em Percentual %)
6. Recicla- gem de produtos	a) Ineficiência na utilização dos agrotóxicos e se atinge o meio ambiente através da contaminação	a) 90% compreendem que a adoção de técnicas inadequadas de cultivo tem efeitos sobre o ambiente, especialmente pela contaminação; e 9% não conseguem identificar qualquer relação entre sua forma de cultivo e efeitos sobre o meio ambiente.
	b) Opinião sobre em qual aspecto do meio ambiente os resíduos da atividade desenvolvida pode gerar contaminação	b) 3% compreendem que suas atividades podem gerar algum tipo de contaminação sobre o solo; 74% afirmaram que a contaminação acontece no solo, lençol freático e afeta a saúde pública; 15% responderam "outras opções", sem definição; e 8% optaram por não responder.
7. Admi- nistração dinâmica e moderna	a) Atuação dos produtores para se manterem no mercado	a) 77% têm pensado em processar seus produtos a fim de agregar valor; 5% acham que poderiam adotar embalagens diferenciadas; e 18% não souberam especificar o que poderiam utilizar para se diferenciarem no mercado.
	b) Tipos de mercados de destino da produção	b) 5% destinam aos varejistas (supermercados); 28% aos atacadistas; 28% destinam direto ao consumidor final por meio da Central de Abastecimento local e feiras de bairros; 39% não têm mercado definido, podendo vender para o consumidor final, intermediários, feirantes e supermercados.
	c) Opinião sobre se o sistema Logístico utilizado tem minimizado os custos	c) 38% não compreendem o que é sistema logístico; 41% consideram que o sistema logístico minimiza custos; e 21% dizem que não minimiza os custos.
	d) Tipo de veículo para transporte dos produtos	d) 67% utilizam veículo próprio; 25% alugam veículos; e 8% disseram não usar veículos para o transporte.
	e) Existência de dificuldades para empregar pessoas	e) 95% relataram que encontram dificuldades em empregar pessoas na produção; 5% não encontram.
8. Defasa- gem tecnol- ógica	a) Conhecimento sobre a utilização de agrotóxicos na produção	a) 54% disseram ter conhecimento a respeito do uso de agrotóxicos; 5% relataram que não possuem esse tipo de informação; 15% informaram que às vezes têm conhecimento; 26% disseram não utilizar agrotóxico na sua área produtiva, e, portanto, não necessitam desse conhecimento.
	b) Existência de doenças relacionadas ao uso de agrotóxicos	b) 2% relataram "problema de pele"; 49% não conseguiram apontar qualquer problema; e 49% responderam que não identificam qualquer problema.
	c) Existência da utilização de adubação orgânica	c) 44% utilizam esterco de gado; 36% utilizam adubação química; 16% utilizam esterco de galinha; 4% utilizam urina de vaca com pimenta e fumo. Dos 36% que utilizam adubação química, 67% apontaram que sua utilização se deve à necessidade de maior produção e à capacidade de gerar retorno mais rápido do capital investido quando comparada à produção orgânica. Dos produtores que utilizam adubação orgânica, 33% fazem compostagem a partir da reciclagem dos resíduos da propriedade, o que permite ganhos de produtividade e diferenciação no mercado por meio do "marketing verde". Salientam que o seu uso vem melhorando a qualidade das hortaliças.
	d) Frequência do uso Equipamentos de Proteção Individual (EPI)	d) 54% afirmaram sempre usar equipamentos de proteção individual (EPI); 15% utilizam esporadicamente; e 31% não os utilizam.

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

O sistema de produção e sua respectiva cadeia, bem como a sua compreensão em uma realidade, a exemplo da Lagoa das Flores, requerem o conhecimento dos limites, interações e dos processos de entradas e saídas no sistema. Sendo assim, no cenário pesquisado da produção de hortaliças em Lagoa das Flores, foram observados alguns gargalos nos principais elos que fazem parte do sistema de produção local, conforme se apresenta ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquematização do sistema de produção de hortaliças em Lagoa das Flores, Vitória da Conquista, Bahia, em 2014



Fonte: Adaptado da pesquisa.

Em Lagoa das Flores, à montante da cadeia produtiva, o acesso pelos produtores aos insumos (fertilizantes, herbicidas, fungicidas) estava bem distante de ser uma realidade no cotidiano de trabalho na produção de hortaliças. Sendo que, em essência, a baixa adesão a esse tipo de insumo, se compensado por outros mais naturais e na dosagem equilibrada, se tornaria benéfico tanto para a qualidade final do produto, quanto para a saúde de produtores e consumidores.

Para aqueles que adotavam os insumos convencionais, como fertilizantes, herbicidas e fungicidas, o elo com os fornecedores era responsável pelo suprimento de todo o sistema produtivo de hortaliças e influenciava nos demais processos, podendo trazer lucros ou prejuízos na comercialização. Ou seja, uma boa relação com fornecedores de insumos poderia maximizar vantagens competitivas, como a conquista de custos de produção mais baixos. Já a falta ou a pouca assistência técnica que os produtores recebiam gerava maior “distância” entre certos elos da cadeia.

Por outro lado, à jusante da cadeia de produção, o gargalo estava na falta de beneficiamento da produção, nos custos de transporte, na falta de segmentação de mercado e no desconhecimento das exigências e preferências do consumidor final. O objetivo principal de uma cadeia produtiva é ofertar produtos ao consumidor final com qualidade e quantidade compatíveis com a necessidade deste importante elo, com preços competitivos. A falta de integração do produtor da Lagoa das Flores com o mercado consumidor, composto de varejistas, atacadistas (Centrais de Abastecimento – CEASAS) e consumidor final, poderia não resultar no atendimento da demanda, seja em quantidade, seja em qualidade. Atributos como preço, aparência e diferenciação ambiental têm forte influência nesse elo.

Outra questão estava na agilidade, no atendimento e no período exigido pelo consumidor. Neste quesito, identificou-se a falta de transporte próprio e de parcerias para as entregas, o que poderia não viabilizar o abastecimento dos mercados no tempo devido, predominantemente com o elo comercialização atacadista. Essa perda representava grande importância comercial, pois se tratava de grandes quantidades exigidas, dada a presença de grandes redes de supermercados em Vitória da Conquista. Geralmente, a relação com os supermercados exige dos produtores o abastecimento por meio de contratos periódicos, independente do local de origem do produto. Isso exige o suprimento dessas redes com muita agilidade, por conta da conservação e da alta perecibilidade das hortaliças. Assim, ainda que a Lagoa das Flores seja um bairro da cidade de Vitória da Conquista, a falta de transporte próprio dificulta ou mesmo impede o atendimento total da demanda.

No que se refere ao processamento do produto, este elo se dava com a agroindústria de duas formas: o beneficiamento e a transformação. No beneficiamento, com o processamento, sem a alteração das características principais do produto; e, na transformação, com a modificação do produto, transformando-se em subproduto. Em Lagoa das Flores, esse elo encontrava-se fraco, dada a

não utilização da fábrica de temperos, já instalada, mas não inaugurada. Apesar da existência, na região, de uma empresa de temperos, com a marca “Tempero Bom Gosto”, a maioria não possuía registro nos órgãos de fiscalização.

O sistema produtivo agrícola se constitui no conjunto de componentes interativos que objetiva a produção agrícola com a qualidade exigida. Constitui-se no subsistema da cadeia produtiva conhecido como “dentro da porteira”. Neste elo, em Lagoa das Flores, o grande gargalo se encontrava na produção pouco sustentável, com o uso inadequado de agrotóxicos. Em algumas propriedades, porém, houve relato da presença de fiscalização.

Ressalta-se que, nesse contexto, existe também o ambiente institucional, constituído pelas leis e costumes. As instituições regulamentam o funcionamento da cadeia nos aspectos legais, tributários e fiscais, entre outros. Contudo, conforme a pesquisa revelou, este elo se encontrava completamente enfraquecido em Lagoa das Flores pela falta de perspectiva da comunidade em relação às instituições públicas. Normalmente, o ambiente organizacional transaciona diretamente no negócio agrícola e presta serviços de apoio ao agronegócio, tais como: as organizações de pesquisa e desenvolvimento, as de assistência técnica, as agências bancárias, os serviços de transporte, de vendas, de *marketing*, de armazenamento, entre outras. Entretanto, esse conjunto de organizações, ainda que presentes na região, segundo os produtores, tem presença apenas de cunho fiscal ou financeiro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Notou-se que os produtores entrevistados da Lagoa das Flores enfrentavam dificuldades por conta da falta de informação, da desorganização administrativa e da burocracia, que os impedia de ter acesso às políticas públicas e aos financiamentos. Ademais, isso foi agravado em 1998, quando a localidade passou a integrar o município na condição de bairro, dificultando aos produtores o acesso a linhas de crédito agrícola. Dos produtores que relataram acesso a programas de governo, apenas um entrevistado relatou que participava do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). O restante salientou que havia muita dificuldade de acesso ao programa, em função da burocracia existente.

Esses mesmos resultados demonstram que, apesar da importância do programa para a competitividade da agricultura familiar, o PRONAF não havia conseguido atingir o produtor de hortaliças da Lagoa das Flores. Além disso, havia

desconhecimento, dos produtores entrevistados, quanto à existência de outros programas governamentais. Relataram, também, forte presença de atravessadores nas entregas do programa do governo “Compra Direta”, algo que fazia com que perdessem espaço e não conseguissem fechar a cota estipulada por produtor.

Pode-se verificar que a cadeia produtiva de hortaliças da Lagoa das Flores, devido a sua proximidade da zona urbana de Vitória da Conquista, tinha “facilidade” de acesso a diversas instituições e organizações públicas e privadas. No entanto, essa proximidade não gerava estreitamento de relações entre produtores e instituições. Tal afastamento fazia com que a cadeia produtiva fosse pouco integrada e competitiva.

Os fatores de competitividade e sustentabilidade ambiental aqui analisados pelas condicionantes, exceto a “concentração geográfica”, não foram identificados como favoráveis à integração da cadeia. Embora houvesse 120 produtores de hortaliças na região da Lagoa das Flores, não existia uma relação de parceria entre eles sob qualquer forma organizativa, já que a associação existente não era reconhecida pela maioria como propiciadora dessa parceria. Além disso, mesmo havendo mencionado o programa do governo para agricultura familiar “PRONAF” e o “Compra Direta”, os produtores se encontravam desarticulados e desinformados sobre as políticas públicas que poderiam beneficiá-los.

Nesse contexto, os fatores estratégicos que poderiam potencializar vantagens competitivas e sustentabilidade ambiental para os produtores estavam fragilizados, algo que poderia se agravar devido ao pouco nível de escolaridade dos mesmos e ao desconhecimento de certas nuances do perfil do consumidor final. Portanto, a adoção de certas ações poderia viabilizar instrumentos que propiciassem maior coesão entre produtores e mercado, visando a agregar valor aos produtos, a solidificar o mercado e a aumentar a lucratividade.

REFERÊNCIAS

- BATALHA, M. O. *Gestão Agroindustrial*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- BEVILACQUA, H. E. C. R. Classificação das hortaliças. *In*: MARTINS, A. L. C.; BEVILACQUA, H. E. C. R.; SHIRAKI, J. N. (Coords.). *Manual de horta: cultivo de hortaliças*. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente, Programa de Agricultura Urbana e Periurbana, 2006. pp. 3-5.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Hortaliças**. Agenda Estratégica 2010-2015. Secretaria Executiva. Brasília: Mapa/ACS, 2011. 40 p.

BRASIL. (2018). Agência Nacional de Vigilância Sanitária ANVISA; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa Conjunta – INC Nº 2, de 7 de fevereiro de 2018**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/2915263/do1-2018-02-08-instrucao-normativa-conjunta-inc-n-2-de-7-de-fevereiro-de-2018-2915259> Acesso em: 10 dez. 2020.

BRASIL. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo - CEAGESP. **Alface**. São Paulo: CEAGESP, 2013.

CLIMATE-DATA. [s.d.]. Clima de Vitória da Conquista, Bahia. Média Anual de 1982 a 2012. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/vitoria-da-conquista-293/>. Acesso em: 03 jul. 2020.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 2010.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Ed. UFV, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal de Vitória da Conquista**: lavoura permanente e lavoura temporária, 2018. IBGE cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/pesquisa/15/11863>. Acesso em: 03 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sidra**. 2013. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 24 out. 2013.

KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2019**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2018. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2019/07/HortiFruti_2019_DUPLA.pdf> Acesso em: 12 out. 2020.

LOPES, C. A. Controle de doenças de plantas na olericultura orgânica: qual o tamanho do desafio? **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 565, jul./dez., 2012.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**. Palestra Proferida na Reunião Ordinária da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Hortaliças. Brasília, DF: MAPA, 2007.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (ATLAS BRASIL). Fundação João Pinheiro. IDHM de Vitória da Conquista, 2010 – Consulta em Tabela. **Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 3 jul. 2020.

ROCHA, F. A.; SILVA, T. P. Agricultura familiar no bairro Lagoa das Flores, Vitória da Conquista – BA: Planejamento, programas e desenvolvimento local. In: SEABRA, G. (Org.). **Terra**: Qualidade de vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades. v. 3. João Pessoa, Paraíba: Ed. Universitária da UFPB, 2013. pp.1095-1106.

SCOTT, J. **Social Network analysis**. California: Sage Publications, 2000.

SOUZA, R. B.; ALCÂNTARA, F. A. **Adubação no sistema orgânico de produção de hortaliças**. EMBRAPA, jul. 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/758609/adubaca0-no-sistema-organico-de-producao-de-hortalicas>> Acesso em: 28 out. 2013.

TACCONI NETO, E. A.; RAMOS, A. S. M.; TACCONI, M. F. F. S. Fatores que afetam a competitividade na produção de hortaliças orgânicas no estado do Rio Grande do Norte. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 249-262, 2010.

VITÓRIA DA CONQUISTA. (1998). **Lei Municipal Nº 952/98, que alterou limites de bairros instituídos pela Lei nº 798/95 e 850/96 e instituiu novos bairros**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/ba/v/vitoria-da-conquista/lei-ordinaria/1998/96/952/lei-ordinaria-n-952-1998-altera-limites-de-bairros-instituidos-pela-lei-n-798-95-e-850-96-e-institui-novos-bairros?q=+n%C2%BA+952%2F1998>> Acesso em: 28 mar. 2014.

ZACCARELLI, S. B. Novas ideias sobre competição enfatizam a vantagem competitiva, seu uso, valor, ocorrência e impacto nas decisões dos executivos. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 14-21, jan/fev., 1995.

O sul da Bahia tem ...



... uma grande variedade de insetos com grande importância econômica e ecológica a exemplo das abelhas que com a polinização contribui com a agricultura e a biodiversidade da Região, e as libélulas, um grupo de insetos aquáticos amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade de água e da integridade dos sistemas aquáticos.

FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM ENFERMAGEM E MEIO AMBIENTE: UMA PERSPECTIVA DISCENTE

KITIANA CARVALHO PACHECO
CHRISTIANA CABICIERI PROFICE
DAYANNE BATISTA SAMPAIO

RESUMO

Na formação profissional em Enfermagem, destaca-se a abordagem da saúde ambiental como um campo de conhecimento e de prática que relaciona padrões de saúde, ambiente e modos de vida. Em vista disso, este estudo objetivou analisar a inserção da abordagem ambiental da saúde e Educação Ambiental (EA) nos cursos de Enfermagem do eixo Ilhéus-Itabuna, Estado da Bahia, Brasil. Trata-se de um estudo de campo descritivo e de enfoque misto com estudantes do último semestre de Enfermagem a partir da aplicação de questionários semiestruturados. Identificou-se que os participantes do estudo compreendiam a relação entre saúde, meio ambiente e EA, mas sentiam carência destes conteúdos nos seus cursos de graduação. Nesse sentido, os resultados apontaram um desenvolvimento de competências associadas ao modelo tradicional de ensino com concepções superficiais acerca do trabalho em saúde e sua relação com a questão ambiental.

Palavras-chave: Enfermagem; Saúde; Ambiente; Educação Ambiental.



ABSTRACT

In professional training in Nursing, the environmental health approach stands out as a field of knowledge and practice that relates health standards, environment and ways of life. In view of this, this study aimed to analyze the insertion of the environmental approach to health and Environmental Education (EA, in Brazilian acronym) in Nursing courses on the Ilhéus-Itabuna axis, State of Bahia, Brazil. It is a descriptive field study with a mixed focus with students from the last semester of Nursing, using semi-structured questionnaires. It was identified that the study participants understood the relationship between health, environment and EA, but felt a lack of this content in their undergraduate courses. In this sense, the results pointed to a development of skills associated with the traditional teaching model with superficial conceptions about health work and its relationship with the environmental issue.

Keywords: Nursing; Health; Environment; Environmental Education.

1 INTRODUÇÃO

A relação entre ambiente e padrão de saúde de uma população define um campo de conhecimento referido como “saúde ambiental” ou “saúde e ambiente”. Este incorpora questões como poluição química, pobreza, equidade, condições psicossociais e os pressupostos do desenvolvimento sustentável (AGUIJARO *et al.*, 2012). Nesse aspecto, reforça-se o conceito original de saúde como o estado de completo bem-estar físico, mental e social, não sendo apenas a ausência de doenças ou enfermidade (OMS, 1946).

Na formação do profissional de saúde, a abordagem socioambiental ganha destaque, uma vez que crescem as discussões sobre novas estratégias de produção, integração e intervenção com base na perspectiva da saúde pública e da possibilidade de ação interdisciplinar (SCHMIDT, 2007). Contudo, destaca-se que, de modo geral, a formação dos profissionais de saúde sempre foi construída a partir das relações de poder e da fragmentação do conhecimento (ALBUQUERQUE *et al.*, 2009).

Nesse cenário, persistem técnicas e práticas não-preventivas, de modo que a educação em saúde ainda tem sido secundária no modelo de atuação profissional. Por outro lado, a questão ambiental também não ocupa posição de importância nos estudos e nas práticas que relacionam estratégias de saúde na relação pessoa-ambiente (SCHMIDT, 2007).

No que se refere à formação profissional em Enfermagem, verifica-se a relevância da geração de conhecimento e habilidades no campo da saúde ambiental, por meio da educação em saúde e da Educação Ambiental (EA), como processo permanente que amplia ações de promoção e prevenção para contribuir com modos de vida que sejam geradores de qualidade de vida humana (BESERRA *et al.*, 2010).

Dessa forma, a abordagem socioambiental na educação possibilita uma reflexão crítica da prática profissional desafiando o ensino a superar o paradigma formativo atual. Sabe-se que as práticas de saúde compreendidas nos cursos de Enfermagem ainda provocam o distanciamento entre ações preventivas em saúde e EA, favorecendo a fragmentação do conhecimento (RIBEIRO; BERTOLOZZI, 2004; SOARES *et al.*, 2012; KAYSER; SILVA; CREMONESE, 2013).

Portanto, é importante destacar a necessidade de práticas pedagógicas sistêmicas que possibilitem ao estudante o desenvolvimento de competências pertinentes a sua formação profissional, sem perder de vista o diálogo e a articulação com os demais saberes que alicerçam novas práticas multi (aproxima-

ção entre as disciplinas) e interdisciplinares (construção do conhecimento que integra disciplinas e articula teoria e prática) (PIRES, 1998) baseadas na perspectiva socioambiental (SACRISTÁN *et al.*, 2011).

As abordagens da educação e saúde ambiental, quando presentes transversalmente no processo de formação profissional, permitem ao estudante identificar a relação saúde-ambiente nos diversos ciclos e suas respectivas disciplinas, ao longo de toda a sua formação. Além disso, deve conduzir à ruptura dos limites impostos pela organização do saber disciplinar. Isto significa que essa inclusão da temática ambiental no ensino de enfermagem é fundamental para que as/os estudantes se tornem membros informados de um sistema de saúde mais amplo e colaborem com melhores condições de vida e resultados para os pacientes (KITT-LEWIS *et al.*, 2019). Dessa forma, a universidade se coloca como território pulsante de movimentos e mudanças essenciais para a aplicação desses preceitos (SOUZA; ANDRADE, 2014).

Por conseguinte, a formação acadêmica conduzirá um profissional que, nos diversos campos e espaços de promoção à saúde, reconheça saberes e práticas inseridos na relação saúde/EA. Essa expectativa é apontada por Nunes e Siqueira (2012) como uma das questões que recai sobre as instituições de ensino superior. É dever da universidade proporcionar ao discente o desenvolvimento de uma visão crítica, de autonomia, flexibilidade, com postura ética e capacidade de acompanhar a velocidade das demandas ambientais.

Segundo Peres (2014), quando a responsabilidade ambiental está enraizada no processo formativo, são impulsionadas discussões referentes às novas formas de entender a relação do ser humano com o meio ambiente e de promover mudanças de atitudes, reflexões e novos comportamentos. Nessa perspectiva, o docente tem papel de mediador, utilizando-se de práticas educativas abertas e metodologias ativas de ensino, em currículos que traduzam a realidade das demandas sociais, culturais e ambientais e posturas dialógicas (PERES, 2014).

Em se tratando do diálogo ambiental na graduação em Enfermagem, a discussão sobre interdisciplinaridade e práticas pedagógicas engloba temáticas transversais, a exemplo da saúde pública, da saúde coletiva e da EA. Nesse entendimento, o processo saúde-doença se relaciona às formas de interação das pessoas com os eventos do cotidiano, recaindo sobre a análise de fenômenos e fatores complexos, tais como os biológicos, psicológicos, sociais, culturais, econômicos e ambientais (BUSATO; FERRAZ; FRANK, 2015).

Em vista disso, este artigo objetivou descrever a percepção do/da discente/formando(a) em relação ao desenvolvimento de competências para a aborda-

gem ambiental da saúde e da EA no curso de Enfermagem. Os dados são resultantes de um banco de informações obtido na dissertação intitulada: *FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM ENFERMAGEM E MEIO AMBIENTE: práticas pedagógicas e competências*, desenvolvida no ano de 2015 (PACHECO, 2015). A pesquisa foi realizada com estudantes do último semestre dos cursos de Enfermagem das Instituições de Ensino Superior (IES) do eixo Ilhéus-Itabuna-BA, que estivessem devidamente matriculados e regulares no curso. Este artigo enfatizou a associação entre formação profissional e educação ambiental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de campo, exploratório, descritivo, de enfoque quali-quantitativo. Os dados foram coletados a partir de um questionário semiestruturado para atender ao objetivo de descrever a percepção do/da discente/formando(a) em relação ao desenvolvimento de competências para a abordagem ambiental da saúde e a Educação Ambiental (EA) no curso de Enfermagem.

O instrumento de coleta de dados foi composto por 13 questões objetivas e uma questão aberta; e respondido por 109 discentes do último semestre dos cursos de Enfermagem de cinco Instituições de Ensino Superior (IES). Os dados quantitativos foram analisados utilizando estatística descritiva, frequência das variáveis categóricas, com auxílio do *software Microsoft Excel®*, em que foram realizados cruzamento dos dados, originando tabelas e gráficos que nortearam a apresentação e discussão dos resultados. Dessa forma, foi possível apreender o envolvimento das IES no desenvolvimento de competências em saúde ambiental e EA a partir da perspectiva dos futuros profissionais enfermeiros.

A pesquisa envolveu seres humanos e, para tanto, foram cumpridas normas em conformidade com a *Resolução 466, de 12 de dezembro de 2012*, do Conselho Nacional de Saúde, sendo assim respeitados os aspectos éticos e legais (BRASIL, 2012).

Desse modo, o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Estadual de Santa Cruz (CEP/UESC) sob o protocolo 39499814.2.0000.5526 Após apreciação e parecer favorável, foi encaminhada carta de apresentação da coordenação do Curso de Pós-Graduação Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PRODEMA/UESC) às IES envolvidas na pesquisa, especificamente à Diretoria e à Coordenação do Curso de Enfermagem das instituições em questão, a fim de solicitar autorização para a realização da coleta de dados.

Em seguida, os participantes da pesquisa foram contatados para a apresentação do projeto e seus objetivos. Após aceitarem participar do estudo, foi realizada a leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), assegurando sigilo e anonimato às pessoas envolvidas e solicitando permissão para uso e divulgação das informações e dos resultados da pesquisa em eventos científicos e publicações de artigos científicos.

3 RESULTADOS

Nesta seção, os resultados do estudo são sinteticamente apresentados. Observa-se, a seguir, que houve a prevalência do gênero feminino nos cinco cursos de graduação em Enfermagem participantes da pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1 - Distribuição por gênero das/os discentes do último semestre de formação dos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

Gênero	IES 1		IES 2		IES 3		IES 4		IES 5	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
MASCULINO	6	12,5	0	0	1	7,1	2	10,0	2	11,8
FEMININO	42	87,5	10	100	13	92,9	18	90,0	15	88,2
TOTAL	48	100	10	100	14	100	20	100	17	100

Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto à distribuição por faixa etária, foi observado uma maior frequência de estudantes entre 18 e 25 anos de idade em quatro dos cinco cursos pesquisados (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição por faixa etária das/os discentes do último semestre de formação dos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

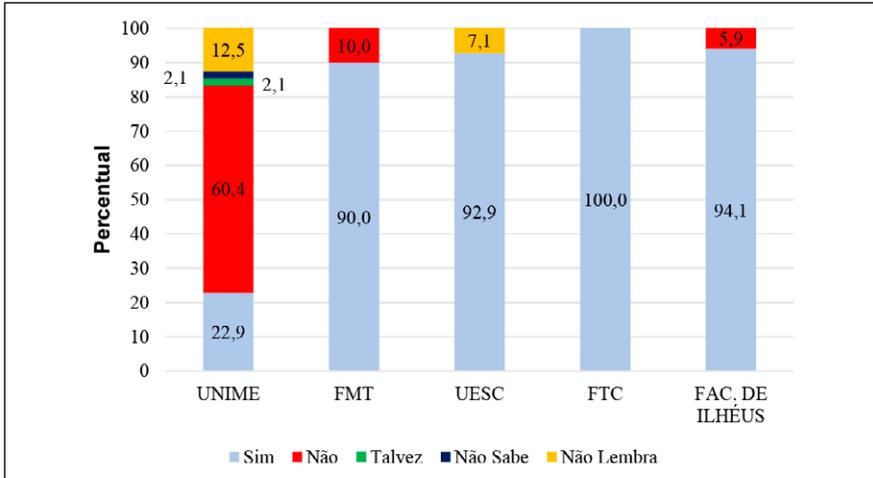
Faixa etária	IES 1		IES 2		IES 3		IES 4		IES 5	
	Freq.	%								
18 - 25	10	20,8	4	40,0	12	85,7	9	45,0	7	41,2
26 - 30	15	31,3	2	20,0	0	0,0	2	10,0	4	23,5
31 - 35	12	25,0	1	10,0	1	7,1	5	25,0	4	23,5
36 - 40	6	12,5	2	20,0	1	7,1	2	10,0	2	11,8
> 40	5	10,4	1	10,0	0	0,0	2	10,0	0	0,0
TOTAL	48	100	10	100	14	100	20	100	17	100

FONTE: Dados da pesquisa.

Quando perguntados sobre o estudo de Educação Ambiental (EA) durante o curso de graduação, foram encontrados percentuais entre 90% a 100% de

respostas positivas em quatro das Instituições de Ensino Superior (IES) participantes. Nesses casos, as/os discentes responderam que estudaram sobre EA em algum momento da graduação (Figura 1).

Figura 1 - Estudo de educação ambiental nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

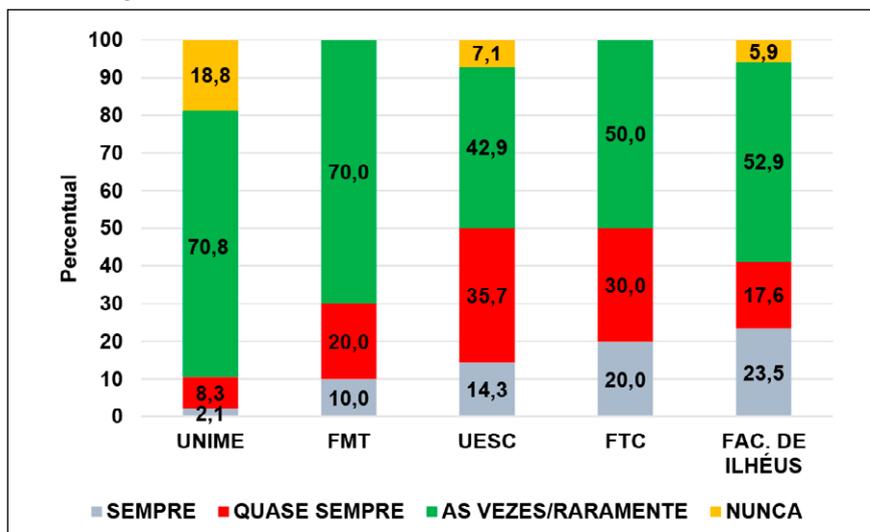


Fonte: Dados da pesquisa.

A respeito da frequência de discussão relacionada ao meio ambiente, identifica-se, na Figura 2, a diferenciação entre cumprimento de conteúdos e carga horária de disciplinas e a promoção de debates e discussões sobre o tema. Na Figura 2, é possível identificar que, mesmo nas IES em que os alunos relataram ter estudado sobre EA (Figura 1), as respostas que indicaram pouca ou nenhuma discussão (às vezes/raramente e nunca) variam entre 50% e 70%. No caso da IES 1, esse percentual alcançou 90%.

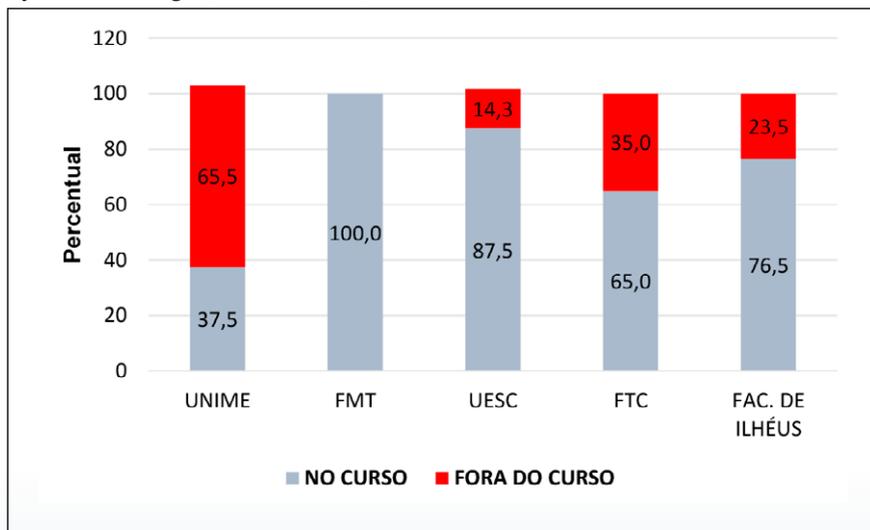
Os dados da Figura 3 apontam a importância do papel das IES como elemento capaz de formar cidadãos conscientes sobre o meio ambiente. O percentual de alunos que têm suas primeiras aproximações com a temática EA no curso de graduação variou entre 65%, alcançando até 100%.

Figura 2 - Frequência de discussão relacionada ao meio ambiente nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3 - Primeiras aproximações com a temática Educação Ambiental nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015



Fonte: Dados da pesquisa.

Realizando o somatório dos percentuais de respostas que compreendem à abordagem sobre EA (Tabela 3) nas disciplinas básicas,¹ teóricas e optativas, por IES (IES 1, com 50%; IES 2, com 90%; IES 3, com 100%; IES 4, com 95%; e IES 5, com 100%), percebe-se que, para a maior parte das/os discentes participantes, os conteúdos são restritos ao espaço formal da sala de aula.

Tabela 3 - Disciplinas que trazem a abordagem sobre meio ambiente nos cursos de graduação de Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

	IES 1		IES 2		IES 3		IES 4		IES 5	
	Freq.	%								
BÁSICA	8	16,7	5	50,0	0	0,0	8	40,0	5	29,4
TEÓRICA	12	25,0	3	30,0	13	92,9	11	55,0	12	70,6
PRÁTICA	4	8,3	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
OPTATIVA	4	8,3	1	10,0	1	7,1	0	0,0	0	0,0
NENHUMA	20	41,7	1	10,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
TOTAL	48	100	10	100	14	100	20	100	17	100

Fonte: Dados da pesquisa.

O conhecimento das/os discentes a respeito da existência de disciplinas sobre meio ambiente na grade curricular do curso de Enfermagem é representado pelos dados da Tabela 4. Para a maioria dos alunos das IES 2 (90%), 3 (92,9%), 4 (70%) e 5 (100%), existem disciplinas na grade curricular que versam sobre meio ambiente. No caso da IES 1, 68,8% afirmaram que não existem disciplinas sobre essa temática.

Tabela 4 - Existência de disciplina sobre meio ambiente nos cursos de graduação de Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

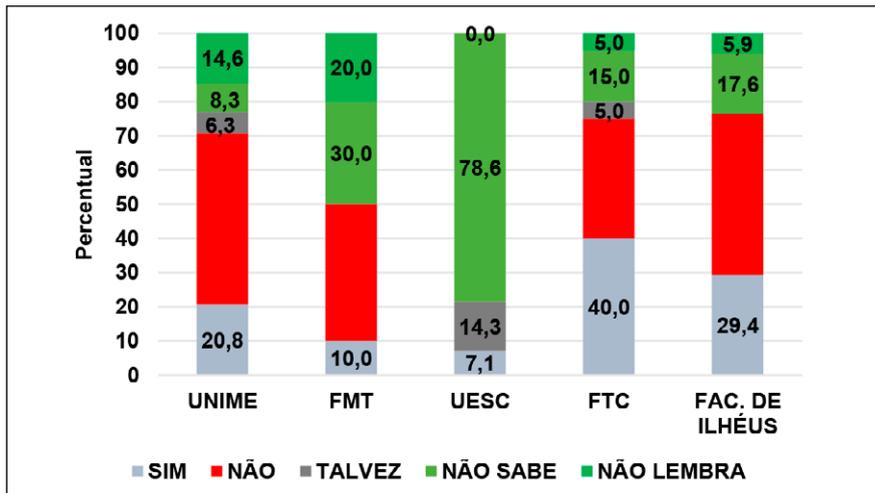
	IES 1		IES 2		IES 3		IES 4		IES 5	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
SIM	4	8,3	9	90,0	13	92,9	14	70,0	17	100
NÃO	33	68,8	0	0,0	0	0,0	3	15,0	0	0,0
TALVEZ	4	8,3	0	0,0	1	7,1	1	5,0	0	0,0
NÃO SABE	1	2,1	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
NÃO LEMBRA	6	12,5	1	10,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
TOTAL	48	100	10	100	14	100	20	100	17	100

Fonte: Dados da pesquisa.

¹ Aqui entendidas como disciplinas comuns ao ciclo inicial dos cursos de saúde direcionadas à compreensão do corpo humano, suas estruturas básicas e seu funcionamento fisiológico e patológico.

Quando questionados sobre a existência de pesquisa e/ou extensão que relacione/relacionem saúde e meio ambiente no curso de graduação (Figura 4), houve diversidade de respostas conforme a IES. Três das instituições apresentaram maior prevalência de resposta negativa (IES 1, com 50%; IES 2, com 40%; IES 5, com 47,1%). Em uma das IES, houve prevalência de resposta positiva (IES 4, com 40%). Percebe-se que, nas IES 2 e 3, há um elevado percentual de estudantes que dizem não saber sobre atividades de pesquisa e extensão que relacionem saúde e meio ambiente no seu curso, 30% e 78,6%, respectivamente.

Figura 4 - Existência de atividade de pesquisa e/ou extensão que relacione/relacionem saúde e meio ambiente nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015



Fonte: Dados da pesquisa.

As respostas dos entrevistados sobre sua participação em atividades extracurriculares com a temática ambiental (Tabela 5) desvelou que, em todas as IES do estudo, houve maior prevalência de alunos que não participaram de tais atividades.

Tabela 5 - Participação em atividades extracurriculares com a temática ambiental nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015

	IES 1		IES 2		IES 3		IES 4		IES 5	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
SIM	16	33,3	0	0,0	1	7,1	2	10,0	4	23,5
NÃO	25	52,1	10	100,0	13	92,9	15	75,0	13	76,5
TALVEZ	3	6,3	0	0,0	0	0,0	2	10,0	0	0,0
NÃO SABE	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
NÃO LEMBRA	4	8,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
TOTAL	48	100	10	100	14	100	20	100	17	100

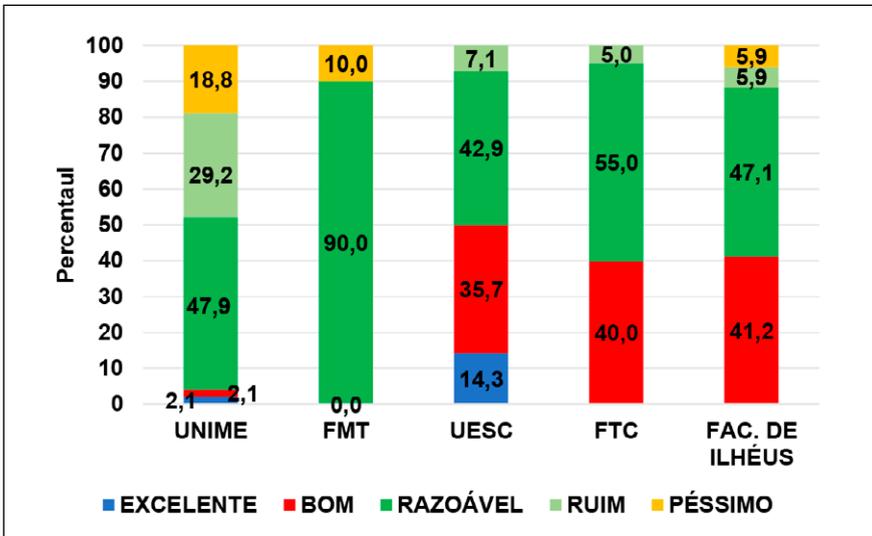
Fonte: Dados da pesquisa.

No que tange à avaliação da matriz curricular, por parte das/dos discentes de graduação em Enfermagem (Figura 5), é possível afirmar que, em três das IES estudadas, houve maior prevalência de resposta razoável, aqui entendida como regular (IES 2, com 90%; IES 4, com 55%; IES 5, com 47,1%). Uma das IES apresentou 50% de respostas entre excelente e bom.

Na IES 1, cujos alunos haviam relatado a ausência de disciplinas voltadas à temática “meio ambiente e saúde” (Tabela 4) e a falta de estudos sobre EA (Figura 3), a prevalência de respostas com avaliação negativa (ruim e péssimo), acerca do currículo de Enfermagem, vai na mesma direção dos dados já discutidos (IES 1, com 48%).

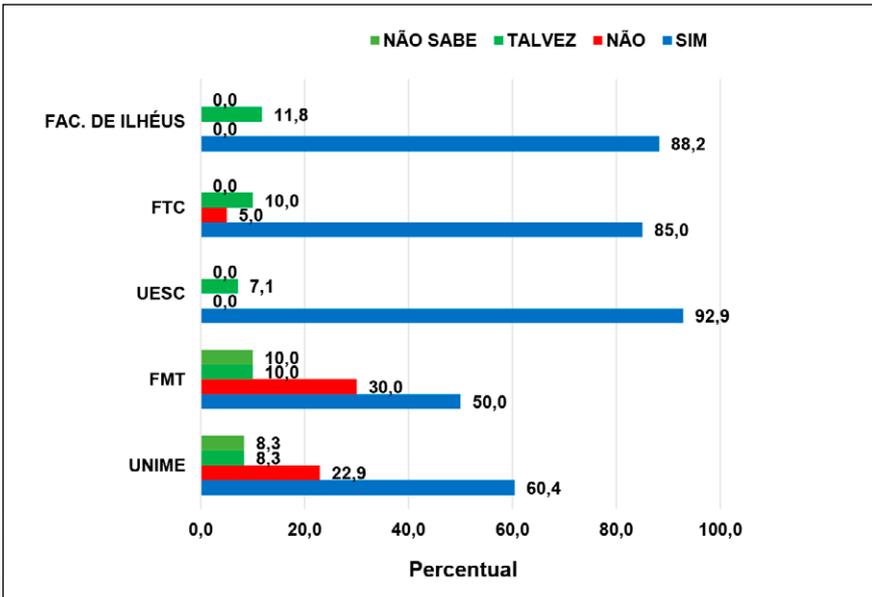
Por fim, quando arguidos sobre a relação entre meio ambiente e saúde no currículo do curso de graduação em Enfermagem, prevaleceram as respostas positivas em todas as IES (Figura 6), apontando que as/os discentes compreendem que existem relações entre meio ambiente e saúde e que estas relações precisam ser contempladas no currículo do curso de Enfermagem.

Figura 5 - Avaliação da matriz curricular do curso em relação ao ensino de questões sobre meio ambiente nos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 - Relação entre meio ambiente e saúde, na perspectiva discente, no currículo dos cursos de graduação em Enfermagem, Ilhéus-Itabuna, 2015



Fonte: Dados da pesquisa.

4 DISCUSSÃO

O fato de se constatar maior predominância de mulheres no curso de Enfermagem confirma uma tendência histórica do cuidar associado à figura feminina, como destaca Lima (1993) sobre o desempenho da arte do cuidar passado de geração para geração. Soma-se a isso a influência de Florence Nightingale, na Inglaterra Vitoriana (1862), quando institucionalizou uma profissão para mulheres, para a qual elas são “naturalmente preparadas” a partir de valores que se consideravam femininos (LOPES; LEAL, 2005).

Essa representatividade feminina da enfermagem vem aos poucos dando lugar à desconstrução da carga cultural de que o cuidado humano deva ser responsabilidade feminina (MACHADO, 2004). Apesar disso, o estudo de Souza (2014) com estudantes de enfermagem demonstrou ainda concepções endurcidas sobre a prática profissional da enfermagem e as diferenças de gênero.

Outro aspecto importante é a presença de indivíduos jovens ingressando nos cursos de Enfermagem, fato que possivelmente relaciona-se à profissão ainda recente, com muitas ofertas e possibilidades no mercado de trabalho (DONATI; ALVES; CAMELO, 2010). Também é relevante a presença de adultos jovens no processo pedagógico dos cursos de graduação em Enfermagem. Esse panorama indica oportunidades de reconfiguração da profissão e da prática, tendo em vista as constantes mudanças sociais, culturais e ambientais.

É nesse sentido que se discute a Educação Ambiental (EA) como tema emergente no ensino de enfermagem (SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2017). Em sua pesquisa com estudantes enfermeiras/os, Souza, Andrade e Silva (2017) identificaram que os participantes reconheciam a importância da relação entre saúde, educação e meio ambiente, mas tiveram dificuldade em abordar a praticidade dessa relação na atuação profissional. O mesmo ocorreu no estudo de Ferreira e Bampi (2018), na qual prevaleceu uma visão generalista sobre o meio ambiente e sua relação com a saúde das pessoas. Isso corrobora a necessidade da EA nas políticas institucionais e públicas de ambientalização da educação superior (BRASIL, 2007b).

No presente estudo, a temática se apresentou relevante para as/os discentes (Figura 1). No entanto, no curso de graduação da IES 1, 60% dos alunos disseram não estudar EA e 12,5% não lembraram de tal abordagem. É possível apreender, destes dados, que as práticas pedagógicas utilizadas pela IES e seu corpo docente podem facilitar ou dificultar a identificação, por parte do discente, de temas transversais, como a EA, nos conteúdos ministrados e discutidos

durante a graduação. Quando o aluno refere não se lembrar se a temática foi discutida, percebe-se que, se a IES tentou fomentar a discussão e a preocupação ambiental, pode não ter obtido êxito nessa tentativa. Esse *feedback* precisa provocar uma reflexão no corpo docente, gestores e discentes sobre a adoção de estratégias e práticas pedagógicas mais eficientes que as adotadas atualmente. Tais mudanças podem dialogar com a necessidade de alterações até mesmo no Projeto Político-Pedagógico (PPP) do curso.

Relacionando o questionamento sobre o estudo da EA nos cursos de Enfermagem (Figura 1) à compreensão sobre a frequência das discussões (Figura 2) acerca da temática, tem-se outro entendimento: as práticas pedagógicas utilizadas não fomentam espaços de discussão. Consequentemente, não fortalecem o desenvolvimento da preocupação ambiental por parte das/os discentes. Também é possível que a inserção da temática na formação do estudante de enfermagem não seja percebida como um tema transversal nem mesmo específico de EA na visão das/os estudantes (FERREIRA; BAMPI, 2018).

Segundo Beserra *et al.* (2010, p. 850), “a questão ambiental deve fazer parte das discussões nas ações educativas, pois este debate favorece para que as pessoas reflitam o que seja ecologicamente saudável”. Assim, no ensino superior, mais especificamente no curso de Enfermagem, esse fato se torna relevante na medida em que a promoção à saúde está intimamente relacionada à temática ambiental e a atitudes de proteção do meio ambiente. São questões-chave desse debate, a intersetorialidade e a interdisciplinaridade nas práticas do cotidiano profissional e dos territórios assistidos. Portanto, a promoção de saúde está associada ao saber ambiental (SOUZA; ANDRADE, 2014).

Nesse sentido, foi possível apreender que as primeiras aproximações com a temática da saúde ambiental foram viabilizadas pelo ambiente acadêmico. Essa informação é apresentada na Figura 3 e indica que, para a maior parte dos entrevistados, a vivência acadêmica lhes permitiu o primeiro contato com temas de importância para a sua saúde, como indivíduo, e para a saúde da coletividade. Ainda, mesmo com experiências prévias nos ensinamentos fundamental e médio, em outros espaços sociais e meios de comunicação, o espaço acadêmico pode se apresentar para as/os discentes como promotor do desenvolvimento da experiência consciente acerca de temas da EA, tais como: saúde ambiental, ecologia e proteção do meio ambiente.

Vale notar que 62,5% dos alunos da IES 1 que disseram ter tido aproximação com o tema EA fora do curso são alunos com faixa etária entre 26 a 30 anos, o que provavelmente pode ter influenciado no fato de já terem tido contato com

a temática anteriormente. Por outro lado, além de promover a aproximação do discente com a temática ambiental, o curso de graduação deve promover o aprofundamento do debate sobre a EA (BRASIL, 2007a). As práticas pedagógicas e as demais estratégias de ensino e aprendizagem precisam emancipar o aluno em seu papel de cidadão, pautando suas ações profissionais e pessoais nos princípios de sustentabilidade e defesa da coletividade. O desenvolvimento das competências voltadas para a EA são elementos importantes nesse sentido.

Assim, a educação superior é desafiada a adentrar em uma formação coerente com as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para o Curso de Graduação em Enfermagem em alinhamento com as necessidades profissionais, sociais, culturais e ambientais (BRAID; MACHADO; ARANHA, 2012), pois ainda persiste o distanciamento entre formação profissional e cotidiano social. Os dados apresentados na Tabela 3 demonstram que o/a estudante não compreende os campos de desenvolvimento das disciplinas práticas como espaço de aprendizagem sobre EA. É possível que esta situação seja um reflexo de práticas pedagógicas conteudistas em detrimento da utilização de novas/outras metodologias de ensino e aprendizagem direcionadas à maior participação do estudante na construção do próprio saber (BRAID; MACHADO; ARANHA, 2012).

Em relação ao conhecimento das/os discentes sobre a existência de disciplinas na grade curricular do curso que abordem a temática ambiental, apresentou-se a Tabela 4 com a maioria indicando a presença de disciplinas no currículo e um percentual mínimo que afirma não lembrar ou não saber. Dessa forma, considerou-se satisfatório o conhecimento das/os discentes sobre suas grades curriculares. Além disso, apreende-se que as pessoas pesquisadas conseguem interpretar, a partir das ementas e práticas pedagógicas desenvolvidas nas aulas, os objetivos e a natureza das disciplinas vivenciadas ao longo do curso. Em todos os casos, é possível inferir que as disciplinas das grades curriculares dos cursos de Enfermagem em estudo apresentam transparência e clareza para os alunos.

Além do campo de ensino, este estudo identificou a visão das/dos estudantes acerca da existência das ações de pesquisa e extensão relacionadas com a temática ambiental. A Figura 4 demonstrou a prevalência de respostas positivas e negativas sobre atividades que relacionem saúde e meio ambiente, destacando-se o desconhecimento das/dos estudantes sobre a realização dessas atividades nas IES. Assim, o desconhecimento das ações de pesquisa e extensão promovidas por sua IES voltadas à temática ambiental leva à baixa participação das/os estudantes nesses tipos de atividades, conforme exposto na Tabela 5.

Mais uma vez, sinaliza-se que a falta de uma discussão ampliada sobre a temática da EA favorece o distanciamento do discente da praticidade da relação saúde-ambiente. Ressalta-se, pois, a necessidade de uma política de ações de pesquisa e extensão por parte das IES que estimulem o graduando em Enfermagem a desenvolver a curiosidade pelas questões que relacionam ambiente e saúde. A utilização de estratégias e ações interdisciplinares e transdisciplinares em novos espaços que favoreçam essas práticas pode ser uma proposta interessante para ampliar as ações de extensão e pesquisa na área (BRASIL, 2007b). Esse processo perpassa por mudanças na estrutura curricular pensada para os cursos de Enfermagem, assim como pela capacitação docente.

Perspectivas possíveis estão sendo desenvolvidas na Universidade Estadual da Pensilvânia, Penn State College of Nursing, Estados Unidos, a fim de incorporar iniciativas de sustentabilidade nos cursos de enfermagem. Além de projetos específicos, é fundamental a revisão do currículo e de metodologias de ensino orientadas pelos objetivos do desenvolvimento sustentável delineados pelas Nações Unidas (KITT-LEWIS *et al.*, 2019).

Faz-se mister utilizar-se da predisposição dos corpos discente e docente em participar de processos inovadores e relacionados à EA para alavancar processos de mudança de atitudes e comportamentos ambientais. Por exemplo, os dados sobre a avaliação da matriz curricular (Figura 5) identificaram que, mesmo nos casos em que as discussões sobre saúde e meio ambiente sejam pouco estimuladas (IES 2, 3, 4, 5), ocorre algum processo de construção da preocupação ambiental por parte das/os discentes, o que se configura como um passo inicial da formação no tema. A oferta, ainda que pouco substancial, de disciplinas e práticas pedagógicas voltadas para a EA é muito mais positiva que nenhuma ação. Em todos os questionários respondidos, as/os discentes revelaram a importância de processos de discussão e debate sobre ambiente e saúde.

Por fim, a percepção da/do discente sobre a relação entre meio ambiente e saúde no currículo de Enfermagem (Figura 6) sinaliza uma predisposição à consciência da importância de discussões, conteúdos e atividades de pesquisa e extensão que envolvam a temática ambiental. As/Os estudantes sentem a necessidade de desenvolver as competências em EA, no entanto, requerem o auxílio do corpo docente e da estrutura da IES para essa finalidade. Cabe ao docente exercer o papel de facilitador nesse processo e às IES prover os meios e recursos necessários para a realização de ações interdisciplinares que sustentem o tripé ensino, pesquisa e extensão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A saúde possui um caráter multidimensional e, portanto, transcende o conhecimento compartimentalizado. Além dos diversos saberes científicos, os saberes local, territorial e popular compõem a abordagem em saúde que deve ser práxis dos diversos profissionais da área. Por conseguinte, a questão da saúde é também uma questão ambiental.

Nesse sentido, a assistência e o cuidado prestados pela/o Enfermeira/o requerem suas bases em uma formação profissional reflexiva, crítica e atualizada nas demandas ambientais e articulada com as diferentes realidades, tal como exigem os campos da saúde pública, da saúde coletiva e da saúde ambiental. Todavia, os resultados deste estudo demonstram que a formação em saúde nos cursos do eixo Ilhéus-Itabuna (Bahia, Brasil) demanda avanços na abordagem temática da EA no trabalho em saúde e sua relação com a questão ambiental.

Isso fica claro no estudo quando as/os estudantes apresentaram apenas visões básicas sobre a praticidade da educação ambiental no contexto da formação profissional e da atuação em enfermagem. São resultados focais porque não permitem generalizações, porém relevantes para aprofundamento em estudos posteriores por desencadearem uma discussão mais ampla: a ambientalização do ensino superior, já preconizada pelas DCN. Diante disso, a EA é apontada como estratégia de operacionalização de competências e práticas pedagógicas que contemplem a questão ambiental na atuação em saúde. Para tanto, é necessário que a EA se torne vivência curricular e institucional para os acadêmicos.

REFERÊNCIAS

AGUJARO, L. F.; SPERANDIO, A. M. G.; VEDOVATO, L. R.; MENDES, I. Reflexões em saúde e ambiente: tecendo políticas integradas em rede para o saudável. **Revista Intellectus**, ano VIII, n. 22, p. 119-127, 2012.

ALBUQUERQUE, V. S.; BATISTA, R. S.; TANJI, S.; MOCO, E. T. M. Currículos disciplinares na área de saúde: ensaio sobre saber e poder. **Interface (Botucatu)**, v. 13, n. 31, p. 261-272, 2009.

BESERRA, E. P.; ALVES, M. D. S.; PINHEIRO, P. N. C.; VIEIRA, N. F. C. Educação ambiental e enfermagem: uma integração necessária. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 63, n. 5, p. 848-852, 2010.

BRAID, L. M. C.; MACHADO, M. F. A. S.; ARANHA, A. C. Estado da arte das pesquisas sobre currículo em cursos de formação de profissionais da área da saúde: um levantamento

a partir de artigos publicados entre 2005 e 2011. **Interface (Botucatu)**, v. 16, p. 42, p. 679-692, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Educação Ambiental**: aprendizes de sustentabilidade. Brasília, DF: MEC, 2007a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Subsídios para a Construção da Política Nacional de Saúde Ambiental**. Brasília, DF: Editora do Ministério da Saúde, 2007b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 dez. 2012.

BUSATO, M. A.; FERRAZ, L.; FRANK, N. L. P. Reflexões sobre a relação saúde e ambiente: a percepção de uma comunidade. **HOLOS**, ano 31, v. 6, p. 460-468, 2015.

DONATI, L.; ALVES, M. J.; CAMELO, S. H. H. O perfil do estudante ingressante no curso de graduação em enfermagem de uma faculdade privada. **Revista de Enfermagem**, UERJ, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 446-450, 2010.

FERREIRA, R. T.; BAMPI, A. C. Crise ambiental, educação ambiental e saúde: desafios no processo formativo em enfermagem. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 35, n. 3, p. 114-132, 2018.

KAYSER, A. M.; SILVA, M. A.; CREMONESE, D. Ações da Educação Ambiental como estratégia prática na saúde. **Educação Ambiental em AÇÃO**, v. 12, n. 45 (online), 2013.

KITT-LEWIS, E; ADAM, M.; BUCKLAND, P.; CLARK, D.; HOCKENBERRY, K.; JANKURA, D.; KNOTT, J. Creating a generation of sustainable nurses sustainability efforts in nursing education. **Nursing Clinics of North America**, v. 55, n. 1, p. 1-10, 2019.

LIMA, M. J. **O que é enfermagem**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

LOPES, M. J. M.; LEAL, S. M. C. A feminização persistente na qualificação profissional da enfermagem brasileira. **Cadernos Pagu**, n. 24, p. 105-125, 2005.

MACHADO, W. C. A. Gender, health and nursing: the male inclusion in the nursing care. **Online Brazilian Journal of Nursing (OBJN)**, v. 3, n. 2, p. 58-68, 2004.

NUNES, S. C.; SIQUEIRA, L. O projeto pedagógico e a orientação para a formação por competências: um estudo em curso superior de uma universidade brasileira. **Revista Ibero-Americana de Educação**, v. 60, n. 2, p. 1-11, 2012.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Constituição da Organização Mundial da Saúde** (OMS/WHO). 1946.

PACHECO, K. C. Formação Profissional em Enfermagem e Meio Ambiente: Fundamentos, Práticas Pedagógicas e Competências. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Santa Cruz, 2015.

PERES, R. R. **Percepções de enfermeiros docentes sobre a interface saúde e meio ambiente na formação profissional**. 2014. 198 p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

PIRES, M. F. C. Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade no ensino. **Interface (Botucatu)**, v. 2, n. 2, p. 173-181, 1998.

RIBEIRO, M. C. S.; BERTOLOZZI, M. R. A questão ambiental como objeto de atuação da vigilância sanitária: uma análise da inserção das enfermeiras nesse campo. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 12, n. 5, p. 736-744, 2004.

SACRISTÁN, J. G.; GÓMEZ, Á. I. P.; RODRÍGUEZ, J. B. M.; SANTOMÉ, J. T.; RASCO, F. A.; MÉNDEZ, J. M. Á. **Educar por competências: o que há de novo?** Porto Alegre: Artmed, 2011.

SCHMIDT, R. A. C. A questão ambiental na promoção da saúde: uma oportunidade de ação multiprofissional sobre doenças emergentes. **PHYSIS: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 373-392, 2007.

SOARES, S. G. A.; CAMPONOGARA, S.; TERRA, M. G.; SANTOS, T. M.; TREVISAN, C. M. O que pensam os enfermeiros sobre a problemática ambiental. **Revista RENE**, v. 13, n. 5, p. 971-982, 2012.

SOUZA, C. L.; ANDRADE, C. S. Saúde, meio ambiente e território: uma discussão necessária na formação em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, p. 4113-4122, 2014.

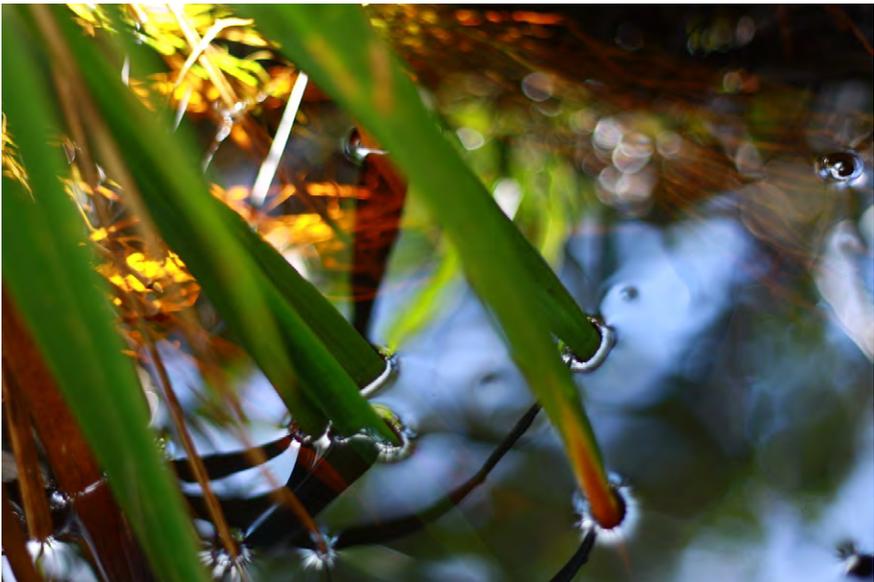
SOUZA, C.; ANDRADE, C. S.; SILVA, E. S. A discussão sobre meio ambiente na formação do enfermeiro. **Revista de Enfermagem**, UERJ, Rio de Janeiro, v. 25, p. 1-6, 2017.

SOUZA, L. L. Representações de gênero na prática de enfermagem na perspectiva de estudantes. **Ciências & Cognição**, v. 19, n. 2, p. 218-232, 2014.

O sul da Bahia tem...



chapadas, onde águas esculpem pedras,



e da mesma, que curva a dureza da rocha, consegue fazer brotar em sua doçura líquida o vivo firme e vibrante verde.

SAÚDE E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: PARASITOSE E CONDIÇÕES SOCIOAMBIENTAIS NO SUL DA BAHIA

LOUISE SANTOS FERNANDES DE JESUS
PATRÍCIA CARLA BARBOSA PIMENTEL
WESLEY DUARTE DA ROCHA
POLLYANNA ALVES DIAS COSTA
SOFIA CAMPIOLO

RESUMO

As relações entre sustentabilidade ambiental e saúde têm sido amplamente discutidas, reconhecidas e evidenciadas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que compõem a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Dentre os temas, destacam-se o ODS 3.3, que se refere à Saúde e ao Bem-estar, e o ODS 3.9, sobre Saneamento. Ambos são comprovadamente relacionados entre si e entre outros ODS, como: ODS 1 e ODS 6. Neste trabalho, buscou-se avaliar a incidência de parasitoses e as condições sanitárias, socioeconômicas e ambientais em comunidades escolares da zona rural do entorno do Parque Estadual Serra do Conduru (PESC) e da zona urbana dos municípios que integram o polígono do PESC, como forma de embasar políticas públicas que busquem atingir os ODS. Foram feitas análises coprológicas e aplicação de questionários. Os dados mostraram que mais de 90% dos indivíduos apresentam parasitoses, com predominância dos protozoários, seguidos por helmintos. Dentre as ocorrências mais frequentes por protozoários, destacou-se a *Endolimax nana* e *Entamoeba coli*. Foi registrado uma ocorrência de *Schistosoma mansoni*, agente causador da esquistossomose, problema de Saúde Pública que integra a lista de doenças de notificação compulsória. O agravo foi devidamente notificado e acompanhado conforme preconizado por diretrizes técnicas do Ministério da Saúde do Brasil. As condições socioambientais, como baixos níveis de renda e educação, condições de vida e de saúde precárias evidenciaram nuances da pobreza multidimensional. As variáveis explanatórias (sanitárias, ambientais e socioeconômicas) apresentaram pouca ou nenhuma relação com a ocorrência de parasitoses, provavelmente decorrente de aspectos gerais que estão abaixo dos níveis de condições mínimas de sobrevivência e que afetam efetivamente a situação de vida e a saúde da população.

Palavras-chave: saúde ambiental, infecção parasitária, doenças tropicais, saneamento, condições socioeconômicas,



ABSTRACT

The relationship between sustainability and health has been broadly discussed, recognized and evidenced in the Sustainable Development Goals (SDG), that composes 2030 Agenda, of the United Nations (UN). We highlight the SDG 3.3, about Health and Wellness, and SDG 3.9, about Sanitation, proven to be related to each other, and among other SDGs, such as: SDG 1 and SDG 6. We evaluated parasites incidence, and sanitary, socioeconomic and environmental conditions, in school communities in the rural area surrounding the Serra do Conduru State Park (PESC, in Brazilian acronym), and the urban area of the municipalities that integrate the PESC polygon, in order to support public policies that seek to achieve the SDG. Coprological analysis were carried out and questionnaires were applied. The data showed that more than 90% of the children and adult samples register parasites, with a predominance of protozoa, followed by helminths. *Endolimax nana* and *Entamoeba coli* were the most frequent protozoa. We registered one *Schistosoma mansoni* occurrence, causative agent of schistosomiasis, a Public Health problem, included in the list of compulsory notification diseases. The condition was duly notified and followed up as recommended by technical guidelines of the Brazilian Health Ministry. Socio-environmental conditions, such as low levels of income and education, poor living and health conditions, characterized multidimensional poverty. We did not find covariation among parasites occurrence and sanitary, socioeconomic and environmental conditions, probably due to the general aspects below minimum levels of survival conditions and effectively affect life and health situation of the population.

Keywords: environmental health, parasitic infection, tropical diseases, sanitation, socioeconomic conditions

1 INTRODUÇÃO

As relações entre sustentabilidade ambiental e saúde têm sido discutidas ao longo do século XX e, a partir dos anos 1990, foram iniciadas as tentativas de se institucionalizar este vínculo (VEIGA, 2020). Desde então, a saúde ambiental é campo de atuação da saúde pública e pode ser definida pela relação entre fatores do meio ambiente que exercem influência sobre a saúde e o bem-estar das pessoas.

Esta relação é amplamente reconhecida e evidenciada nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que compõem a Agenda 2030 das Nações Unidas, uma resolução da Organização das Nações Unidas (ONU), da qual o Brasil é signatário. Essa agenda estabelece 169 metas distribuídas em 17 objetivos que intencionam orientar políticas públicas consonantes com o desenvolvimento sustentável (UNDP, 2016).

O terceiro Objetivo do Desenvolvimento Sustentável estabelece que as nações devem “assegurar uma vida saudável e promover o bem estar para todas e todos, em todas as idades”. Portanto, institucionaliza globalmente a saúde como aspecto imprescindível para a sustentabilidade global. Este objetivo é subdividido em nove metas, entre elas: acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas e combater a hepatite, doenças transmitidas pela água e outras doenças transmissíveis, até 2030.

As chamadas doenças tropicais negligenciadas são provocadas por agentes infecciosos e parasitários e estão intimamente relacionadas com o índice de desenvolvimento humano e as condições de pobreza. No Brasil, parasitoses como esquistossomose, além de dengue, tuberculose, hanseníase, leishmaniose, malária e doença de chagas assumem importância na carga de adoecimento negligenciado. Nesse sentido, o saneamento configura-se como um dos fatores condicionantes e determinantes para a ocorrência de parasitoses. A falta de acesso a serviços adequados de saneamento ambiental expõe a população da América Latina e do Caribe a maiores riscos de adoecimento e de morte por doenças infecciosas e parasitárias (GALVÃO; FINKELMAN; HENAO, 2011).

A questão do saneamento também integra a Agenda 2030, mais especificamente no ODS 6: “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e todas”. Dentre as seis metas deste ODS, destacam-se, especificamente, as de número 6.1 e 6.2, onde se lê: “até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos e alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a de-

fecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade” (UNDP, 2016, p. 21).

Aspectos relativos à condição de pobreza, tratadas no ODS 1, “acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares”, possuem interfaces com a temática proposta. Um estudo sobre condições socioeconômicas das famílias situadas na mesma região desta pesquisa revelou que 99% se apresentaram sob algum grau de vulnerabilidade (PIMENTEL, 2016). O mesmo estudo indica que além de privação de renda, as famílias ainda careciam de pelo menos um indicador composto de privação social; neste caso, o padrão de vida – abastecimento de água, rede de esgoto, coleta de lixo e energia elétrica. Localidades carentes de condições mínimas de infraestrutura, como, por exemplo, o saneamento básico, quase sempre estão associadas a outras dimensões da pobreza.

Desde a elaboração da Agenda 2030, a interdependência entre os ODS para atingimento destas metas é reconhecida (GRIGGS *et al.*, 2017) e tem sido extensamente abordada pela ciência (ALLEN; METTERNICHT; WIEDMANN, 2019; SINGH *et al.*, 2018).

Com a perspectiva dos ODS, utilizando diversos índices, Djonú *et al.* (2018) constataram que o atingimento das metas do ODS 3, de Saúde e Bem-estar, poderia ser inviabilizada pela falta de infraestrutura de saneamento, baixa escolaridade e baixa renda familiar. Nota-se, nesse contexto, que a interdependência entre ODS é muito comum em países em desenvolvimento e que não há como garantir o cumprimento de algumas metas sem que um conjunto de indicadores sejam contemplados. A ciência pode contribuir com o entendimento destas inter-relações, facilitando o atingimento dos objetivos. Para tanto, é necessário o monitoramento dos processos (COLGLAZIER, 2015), que, por sua vez, depende do estabelecimento de uma base de evidências que sirvam como ponto de partida para o planejamento de ações (ALLEN; METTERNICHT; WIEDMANN, 2019). As relações entre ocorrência de parasitoses e as condições sanitárias, vinculadas à situação socioeconômica, ilustram bem essa demanda de dados para fundamentar uma ação eficiente.

Alguns estudos corroboram a afirmativa de que há uma influência significativa entre as condições socioeconômicas dos filhos, tais como renda familiar, escolaridade dos pais e condição de moradia, e a ocorrência de casos positivos para doenças causadas por parasitos intestinais, as enteroparasitoses (SEIXAS *et al.*, 2011; VASCONCELOS *et al.*, 2011; CAVAGNOLLI *et al.*, 2015; BACELAR *et al.*, 2018; RODRIGUES; DAVID; ESPINHEIRA, 2019). Para Camello *et al.* (2016), aspectos higiênico-sanitários da população são fatores determinantes na trans-

missibilidade de enteroparasitoses, constituindo um grave problema de saúde pública e estabelecendo uma relação causal de morbimortalidade. Mais especificamente, Mariano (2014) afirma que boas condições de saneamento básico estão diretamente associadas às menores taxas de infecção parasitária.

O objetivo deste estudo foi identificar a ocorrência de infecções parasitárias intestinais e os aspectos sociodemográficos, econômicos, sanitários e ambientais relacionados a essas infecções em comunidades escolares, rurais e urbanas, no sul da Bahia, como forma de embasar políticas públicas regionais de enfrentamento, tendo como pano de fundo os ODS.

2 MÉTODOS

A área de estudo teve como ponto central o Parque Estadual Serra do Conduru (PESC). O PESC ocupa áreas dos municípios de Ilhéus, Itacaré e Uruçuca, cidades da Bahia, e é elemento-chave na conservação da biodiversidade e de outros aspectos relacionados à sustentabilidade regional, como prestação de serviços ambientais. O parque e seu entorno têm sido alvo de diversos estudos de grupos de pesquisa multidisciplinares, vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UESC, buscando contribuir com o desenvolvimento sustentável da região.

Para cada município, foram selecionadas uma escola urbana e uma escola da zona rural, que estejam sediadas no entorno do PESC. A seleção das escolas da zona urbana teve como condição o atendimento a alunos residentes das proximidades da escola, ou seja, residentes de área urbana com o intuito de comparar efeito das diferentes condições, em especial, relativas ao saneamento básico, na ocorrência de enteroparasitoses.

No decorrer do estudo, a escola urbana de Itacaré declinou tardiamente da participação e a coleta não foi possível na escola rural de Uruçuca em função das condições de acesso, decorrentes de condições climáticas. Desta forma, o estudo foi realizado abrangendo a comunidade escolar de quatro escolas, duas urbanas e duas rurais. As escolas participantes do estudo foram: da zona rural, Tibina (em Ilhéus) e Tiradentes (em Itacaré); e da zona urbana, Barão de Macaúbas (em Ilhéus) e Elies Haun (em Uruçuca).

A população estudada foi composta por 82 indivíduos: 32 adultos e 50 crianças, de zonas rural e urbana dos municípios de Ilhéus, Itacaré e Uruçuca. Participaram do estudo: alunos, tutores legais e funcionários de cada escola selecionada, totalizando 15 tutores legais, 30 alunos e dois funcionários das esco-

las rurais e 16 tutores, 19 alunos e dois funcionários das escolas urbanas. Como critérios de inclusão para participar do estudo, foram estabelecidos: ser funcionário responsável pela escola; ser responsável legal pela criança, residir na mesma casa e responder a um questionário para cada criança matriculada na mesma instituição de ensino. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), cujo protocolo de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-BA, sob parecer nº 2.568.667.

Entre os meses de junho e dezembro de 2018, os responsáveis legais foram esclarecidos sobre o projeto e foram aplicados os questionários sobre o perfil epidemiológico e dos fatores facilitadores para a transmissão de enteroparasitas (adaptado de: MARIANO *et al.*, 2005).

Durante a reunião com os responsáveis legais, foram fornecidos três coletores universais de fezes para cada participante, de forma a viabilizar a coleta de três amostras fecais por indivíduo, em dias alternados, com o objetivo de aumentar a sensibilidade dos resultados, devido ao padrão intermitente de eliminação de ovos, cistos e oocistos de enteroparasitas. As amostras fecais foram coletadas em datas previamente agendadas nas escolas e levadas ao Laboratório de Parasitologia (LAPAR), da UESC, em caixas térmicas resfriadas (2 °C a 8 °C). Um total de 246 amostras foram processadas, referentes as três coletas realizadas por cada um dos 82 indivíduos.

A pesquisa de enteroparasitas gerais foi realizada pelo método de Mariano e Carvalho (MARIANO *et al.*, 2005). Por meio deste método, é possível pesquisar a presença de ovos de helmintos e cistos de protozoários, além de promover a migração das larvas de nematódeos por meio de associação dos métodos: Sedimentação Espontânea – os organismos são sedimentados por igual pela gravitação, no qual os cistos, oocistos, ovos e larvas ficam retidos no fundo do corpo cônico, enquanto os detritos são suspensos para a superfície (SANT'ANNA; OLIVEIRA; MELO, 2013); Baermann-Moraes – que utiliza o termotropismo, calor e umidade, para estimular a motilidade larval para a superfície da massa fecal (GRACILIANO NETO; FARIAS; MATOS-ROCHA, 2017).

Os laudos foram emitidos após análise das três séries de amostras e foram entregues aos responsáveis em reunião na escola. Na oportunidade, foi ministrada uma palestra sobre as vias de transmissão das parasitoses, bem como as formas de controle e prevenção. Além da palestra, foram distribuídos panfletos informativos para auxiliar na compreensão e sensibilização para que pudessem adotar novos hábitos.

Os indivíduos que apresentaram resultado positivo para parasitos patogênicos foram aconselhados a procurar o serviço de saúde para que pudessem receber o tratamento adequado.

Para comparar variáveis que compõem o perfil sanitário e socioeconômico dos participantes do estudo, entre áreas rurais e urbanas, foi utilizada a tabela de contingência, com teste qui-quadrado. Para análise de covariação entre ocorrência de parasitos e fatores sanitários e socioeconômicos, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson. (SOKAL e ROHLF, 1981).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES COPROLÓGICAS

No presente estudo, 93,9% dos indivíduos apresentaram algum tipo de parasita nas amostras coprológicas, com 67,5% de poliparasitismos. Resultados negativos foram encontrados apenas na zona rural (Tabela 1).

As infecções com poliparasitismo têm estreita relação com os elevados níveis de contaminação do ambiente externo, agravando as infecções por tornarem o tratamento mais difícil, além de apresentarem grau de debilidade e manifestações clínicas mais acentuadas (JALCA VIVAR, 2016; PEREIRA *et al.*, 2016; MAIA *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Perfil do parasitismo em populações rurais e urbanas dos municípios de Ilhéus, Itacaré e Uruçuca

PARASITOLÓGICO	RURAL	URBANA	Nº Total	% Total
Negativo	5	0	5	6,1
Positivo	42	35	77	93,9
Monoparasitismo	19	6	25	32,5
Poliparasitismo	23	29	52	67,5
Total de amostras	47	35	82	100

Fonte: Dados da pesquisa.

As infecções mais frequentes foram de protozoários, com prevalência de *Entodolimax nana* e *Entamoeba coli* nas amostras (Tabela 2). Esses parasitos não são considerados patogênicos, mas sua presença indica uma contaminação fecal do ambiente. Por ser um parasito intestinal do homem, pode sugerir condições higiênico-sanitárias precárias ou manipulação e higienização inadequadas das hortaliças antes do consumo (COLOMBO *et al.*, 2018).

Tabela 2 - Ocorrência de enteroparasitas entre adultos e crianças, de zona rural e urbana, nos municípios de Ilhéus, Itacaré e Uruçuca, Bahia

PARASITA	ADULTOS		CRIANÇAS		Nº Total	% Total
	Rural	Urbana	Rural	Urbana	77*	100
HELMINTOS						
<i>Ascaris lumbricoides</i>	4	3	9	4	20	20
<i>Trichuris trichiura</i>	1	0	3	1	5	6,5
<i>Schistosoma mansoni</i>	0	1	0	0	1	1,3
PROTOZOÁRIOS						
<i>Endolimax nana</i>	8	11	12	18	49	63,6
<i>E. histolytica</i> / <i>E. dispar</i>	2	10	10	14	36	46,8
<i>Entamoeba coli</i>	3	8	15	7	33	42,9
<i>Giardia lamblia</i>	1	5	4	1	11	14,3
<i>Balantidium coli</i>	0	0	2	0	2	2,6

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: * = Variável testada pelo teste qui-quadrado com significância estatística $p < 0,05$;

Além disso, são considerados indicadores de contaminação via fecal-oral, pois esses agentes compartilham os mesmos meios de transmissão das espécies patogênicas (BACELAR *et al.*, 2018). Pode-se inferir que a contaminação fecal do ambiente se deve ao saneamento ambiental precário e ao fato de que aproximadamente 17% dos domicílios do entorno do Parque Estadual Serra do Conduru (PESC) realizam as dejeções domésticas ao ar livre (PIMENTEL, 2016).

Infecções causadas por *Balantidium coli* são raras e, em geral, são encontradas em países de clima tropical. Os principais meios de transmissão são através do contato com fezes de suínos, da água e alimentos, migrando para o intestino grosso onde pode causar infecção (PAULINO *et al.* 2017). Mesquita *et al.* (2015) afirmam que, por ter potencial de contaminação de solo e água, este parasito pode estar presente em hortaliças, como alface. Sugerem, também, que o adubo utilizado pode ser de origem animal, cujas fezes poderiam estar contaminando o solo.

Os helmintos encontrados nas amostras fecais foram: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* e *Schistosoma mansoni*. O caso de *S. mansoni*, agente causador da esquistossomose, trata-se de um adulto, do sexo feminino, com 36 anos de idade, que reside próximo a uma represa situada na Vila de Serra Grande, zona urbana do município de Uruçuca. Afirmou ter água encanada e rede coletora de esgoto em sua residência e fazer filtração da água para consumo.

A ocorrência do agravo foi imediatamente notificada ao serviço de saúde, pois consta na lista de doenças de notificação compulsória e pode levar a óbito, na sua fase crônica (BRASIL, 2014; MARCULINO *et al.*, 2017). O caso foi acompanhado para garantia de tratamento gratuito e adequado, de acordo com o regulamento sanitário internacional e as diretrizes técnicas do Ministério da Saúde do Brasil.

3.2 PERFIL SOCIOECONÔMICO E SANITÁRIO

A população estudada apresenta baixo grau de escolaridade paterna e materna e baixa renda familiar, tanto na zona rural quanto na urbana. No que se refere à renda familiar, 85,35% sobrevivem com auxílio de Bolsa Família ou com uma renda de até um salário mínimo; e 65,85% das famílias são constituídas por quatro a seis pessoas.

Sobre a moradia, foi possível observar que, apesar de 69,6% das famílias possuírem quatro ou mais integrantes, 73,9% das residências possuem de um a dois quartos (Tabela 3). Isso pode contribuir para o aumento da incidência de espécies parasitárias encontradas, decorrente da associação de condições sanitárias desfavoráveis e maior contato interpessoal, favorecendo a disseminação (ANDRADE; SÁ; BEZAGIO, 2018; VIEIRA; BENETTON, 2013).

Houve diferença significativa, entre zona rural e urbana, para as variáveis: água encanada e rede de esgoto. No conjunto de residências, rurais e urbanas, 67,4% não possuem água encanada e 76,1% não tem acesso à rede de esgoto (Tabela 4). Importante observar que nenhuma das residências da zona rural possuía rede coletora de esgoto. A quase ausência de sistema de saneamento básico em zonas rurais é o principal fator de contaminação do solo e dos recursos hídricos, o que, por sua vez, compromete a qualidade e a saúde ambiental dos usuários dos recursos e serviços ambientais da área de entorno do PESC (PIMENTEL, 2016).

Tabela 3 - Perfil socioeconômico dos indivíduos participantes do estudo (Análise bivariada – qui-quadrado, $p < 0,05$)

VARIÁVEL	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
*SEXO (CRIANÇAS)	31	19	50	100
Masculino	15 (35,7)	6 (14,3)	21	42
Feminino	16 (32)	13 (26)	29	58
IDADE (CRIANÇAS)	31	19	50	100
0 – 5	3 (100)	0 (0)	3	6
6 – 13	28 (56)	19 (36)	47	94
*NÍVEL DE ESCOLARIDADE (MÃE)	31	19	50	100
Não saber ler/escrever	3 (9,7)	0 (0)	3	6
Fundamental	17 (54,8)	6 (31,6)	23	46
Médio	11 (35,5)	7 (36,8)	18	36
Superior	0 (0)	4 (21,1)	4	8
Não Souber/Não quis responder	0 (0)	2 (10,5)	2	4
*NÍVEL DE ESCOLARIDADE (PAI)	31	19	50	100
Não saber ler/escrever	1 (3,2)	0 (0)	1	2
Fundamental	19 (61,3)	6 (31,6)	25	48
Médio	4 (12,9)	13 (68,4)	17	14
Superior	1 (3,2)	0 (0)	1	2
Não Soube/Não quis responder	6 (19,4)	0 (0)	6	12
*RENDA FAMILIAR	27	19	46	100
Sem renda	10 (76,9)	3 (23,1)	13	28,2
Até 1 SM	16 (59,2)	11 (40,8)	27	58,7
2 a 3 SM	1 (16,7)	5 (83,3)	6	13,1
HABITAÇÃO	27	19	46	100
Quartos por residência				
1 – 2	20 (74,1)	14 (73,7)	34	73,9
3 – 4	7 (25,9)	5 (26,3)	12	26,1
Moradores por residência				
Até 3 pessoas	8 (29,6)	6 (31,6)	14	30,4
De 4 a 6 pessoas	17 (63)	13 (68,4)	30	65,2
> 6 pessoas	2 (7,4)	0 (0)	2	4,4

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: * = Variáveis testadas pelo teste qui-quadrado com significância estatística $p < 0,05$; SM = salário mínimo.

Tabela 4 - Perfil ambiental dos indivíduos participantes do estudo (Análise bivariada – qui-quadrado, $p < 0,05$)

VARIÁVEL	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
*ÁGUA ENCANADA	27	19	46	100
Sim	0 (0)	15 (78,9)	15	32,6
Não (Poço, Rio, Cisternas, Outros)	27 (100)	4 (21,1)	31	67,4
*ESGOTO	27	19	46	100
Sim	0 (0)	11 (57,9)	11	23,9
Não (Rio, Fossa, Rua, Outros)	27 (100)	8 (42,1)	35	76,1

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: * = Variáveis testadas pelo teste qui-quadrado com significância estatística $p < 0,05$.

A maioria dos residentes da zona rural, que não possuem sistema de esgotamento sanitário, faz uso de fossa para eliminação dos dejetos. As fossas rudimentares servem a 48% da população rural do país (SILVA; MOREJON; LESS, 2014). Nas localidades que compõem os três municípios que fazem parte do entorno do PESC, a fossa prevalece em 62,5% das residências (PIMENTEL, 2016). A implantação e o uso de tecnologias convencionais de coleta e tratamento de efluentes domésticos são inviáveis para quem reside em área rural. A fossa rudimentar, por não dispor de um sistema de impermeabilização, possibilita a contaminação do solo e, por sua vez, dos lençóis freáticos (COSTA; GUILHOTO, 2014;). SOUZA *et al.* (2018) compararam a ocorrência de parasitose à presença de fossa rudimentar e séptica. Constataram que 27,8% das casas que possuíam fossa séptica apresentaram parasitose contra 7,9% dos que não possuíam; 32,5% das que possuíam fossa rudimentar apresentaram positividade.

Neste estudo, verificou-se que 76,1% dos indivíduos da zona rural fazem uso de fossa rudimentar para destinação do esgoto. No entanto, não houve correlação entre a positividade e o percentual de fossas (Tabela 4).

3.3 FATORES DE RISCO PARA A OCORRÊNCIA DE PARASITOSE

Dentre os 27 domicílios que não possuem água encanada, na zona rural, apenas 7 (25,9%) realizam algum tipo de tratamento na água para consumo. É possível observar que existe diferença significativa entre a zona rural e a zona urbana ($p < 0,05$). O tratamento de água, por meio de cloração, embora eficaz contra vírus e bactérias, nem sempre é capaz de reter ou eliminar protozoários patogênicos, a exemplo da *Giardia sp.* Por isso, é importante que a disponibi-

lidade da água para o consumo humano atenda aos padrões de potabilidade recomendados pela legislação em vigor (MASTROPAULO; RAZZOLINI, 2018).

No que diz respeito aos hábitos de higiene das crianças, 98% (n=49) afirmam lavar as mãos. Desse total, 65,3% lava as mãos com água e sabão, 28,6% usam somente água e 6,13% utilizam água, sabão e bucha (Tabela 5). Apesar do alto índice de higienização, não houve relação significativa entre a lavagem de mãos e a positividade ($p>0,05$).

Tabela 5 - Fatores facilitadores na transmissão de enteroparasitas (Análise bivariada – qui-quadrado, $p<0,05$)

VARIÁVEL	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
Tratamento da água para consumo	27	19	46	100
Não	20 (74,1)	4 (21,1)	24	52,2
Sim	7 (25,9)	15 (78,9)	22	47,8
Filtrada	7 (100)	9 (60)	16	72,7
Clorada	0 (0)	4 (26,7)	4	18,2
Fervida	0 (0)	1 (6,66)	1	4,55
Fervida e Filtrada	0 (0)	1 (6,66)	1	4,55
Hábitos de higiene da criança	31	19	50	100
Não	1 (3,2)	0 (0)	1	2
Sim	30 (96,8)	19 (100)	49	98
Somente água	18 (60)	14 (73,7)	32 (65,3)	65,3
Água, sabão e bucha	9 (30)	5 (26,3)	14 (28,6)	28,6
Água e sabão	3 (10)	0 (0)	3 (6,1)	6,1

Fonte: Dados da pesquisa.

Apesar do alto potencial zoonótico de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia lamblia*, foi observado que não houve diferença significativa entre crianças com ou sem contato direto com animais, embora 64% (n= 32) das crianças tenham tido contato (Tabela 6). Quando avaliado o contato direto com as fezes contaminadas (14%, $p>0,05$), nota-se que não há significância estatística.

Tabela 6 - Distribuição do contato de animais domésticos com crianças (Análise bivariada – qui-quadrado, $p < 0,05$)

VARIÁVEL	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
Contato com animais				
Sim	19 (61,3)	13 (68,4)	32	64
Não	12 (38,7)	6 (31,6)	18	36
TOTAL	31 (62)	19 (38)	50	100
Contato com as fezes de animais				
Sim	6 (19,4)	1 (5,3)	7	14
Não	12 (38,7)	11 (57,9)	23	46
Não sabe/Não respondeu	13 (41,9)	7 (36,8)	20	40
TOTAL	31 (62)	19 (38)	50	100

Fonte: Dados da pesquisa.

A infecção de crianças pelo contato direto com animais tem maior relação com os protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia lamblia* devido à eliminação dos oocistos e cistos diretamente pelas fezes (DIAS *et al.*, 2018; CARVALHO; GOMES, 2014). Dentre os helmintos, os ovos mais frequentemente encontrados, nas fezes dos animais e no solo, são de *Ascaris lumbricoides*

Alguns parasitos, como *Trichuris trichiura* e *Giardia lamblia*, possuem potencial zoonótico, podendo parasitar inclusive animais silvestres, tornando-os novos reservatórios para disseminação de doenças (SOUSA *et al.*, 2019).

Do total de respostas fornecidas pelos responsáveis que responderam ao questionário, foi possível observar que 21% (42, $p < 0,05$) das crianças utilizam corpos d'água para divertimento e lazer (Tabela 7). Houve diferença significativa entre esta variável e a positividade.

Tabela 7 - Atividade recreativa realizadas em água por crianças (Análise bivariada – qui-quadrado, $p < 0,05$)

*Hábito de nadar	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
Sim	19 (61,3)	2 (10,5)	21	42
Não	10 (32,3)	11 (57,9)	21	42
Não sabe/Não respondeu	2 (6,4)	6 (31,6)	8	16
TOTAL	31 (62)	19 (38)	50	100

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: * = Variável testada pelo teste qui-quadrado com significância estatística $p < 0,05$.

3.4 ATENÇÃO À SAÚDE DA CRIANÇA

Ao avaliar os aspectos relacionados à atenção em saúde e ao histórico de parasitoses em crianças participantes da pesquisa (Tabela 8), foi possível observar que 100% das crianças já foram à consulta médica e que 36% só vai ao médico quando adoecer.

Tabela 8 - Distribuição dos aspectos relacionados a atenção em saúde e histórico de parasitose das crianças participantes do estudo (Teste qui-quadrado, $p < 0,05$)

VARIÁVEL	RURAL n e (%)	URBANA n e (%)	Nº Total	% Total
*Exame parasitológico anterior				
Sim	27	19	46	92
Entre 6 e 12 meses	10 (37)	10 (52,6)	20	43,5
Mais de 1 ano	16 (59,3)	3 (15,8)	19	41,3
Menos de 6 meses	1 (3,7)	5 (23,6)	6	13
2 anos ou mais	0 (0)	1 (5,3)	1	2,2
Não	4	0	4	8
Resultado do exame				
Negativo	14 (51,9)	13 (68,4)	27	54
Positivo	10 (37)	4 (21,1)	14	28
Não sabe/Não respondeu	7 (25,9)	2 (10,5)	9	18

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: * = Variável testada pelo teste qui-quadrado com significância estatística $p < 0,05$.

Ao analisar o total de respostas para o item “exame parasitológico anterior”, foi constatado que 92% (n= 46) das crianças já haviam realizado exame parasitológico, dos quais: 28% tiveram resultado positivo; e 54%, resultado negativo. A realização anual do exame parasitológico é um fator que auxilia na detecção e no combate de parasitoses patogênicas (LIMA, 2020).

É importante frisar que o exame parasitológico precisa ser corretamente prescrito pelo médico (três amostras), devendo ser coletado e acondicionado de maneira adequada, para que um profissional experiente possa ter maior confiabilidade no diagnóstico de enteroparasitas, prevenindo casos graves e adotando as medidas cabíveis à situação (MARIANO *et al.*, 2005).

Neste estudo, as variáveis sanitárias, ambientais e socioeconômicas não apresentaram covariação com a ocorrência de parasitoses.

4 CONCLUSÕES

Na região estudada, as protozooses são mais frequentes que as helmintoses. Foi registrado um caso de *Schistosoma mansoni* na zona urbana e, conforme as orientações, imediatamente notificado para que o tratamento do paciente pudesse ser iniciado.

Não houve covariação entre positividade e os seguintes fatores: escolaridade materna e paterna, renda, habitação, água encanada, tipo de tratamento de água, rede coletora de esgoto, hábitos de higiene das crianças e último exame parasitológico realizado.

Características relacionadas a fatores que cursam com a ocorrência de entereoparasitoses, como ausência de água encanada e saneamento sanitário, foram observadas nas zonas rurais investigadas. Já as condições de habitação, hábitos de higiene de crianças, origem e consumo de hortaliças, contato com animais e suas fezes, consulta médica, realização de exame coprológico e manifestações clínicas não diferiram entre zonas rural e urbana.

Com a realização do estudo, foi possível constatar que as parasitoses intestinais constituem um problema de saúde pública presente nas áreas estudadas, com uma prevalência alta entre os pré-escolares e seus responsáveis legais. Desse modo, do que se observa na literatura, não foi possível estabelecer associação direta entre estas variáveis explanatórias estudadas e a taxa de infecção parasitária.

Consideramos que, visto que a quase totalidade dos indivíduos apresentou resultados positivos para parasitose, as condições sanitárias e socioeconômicas observadas não apresentarem padrões mínimos que permitissem observar impacto nas condições de saúde, evidenciando a urgência do estabelecimento de políticas públicas que viabilizem condições sanitárias e ambientais mínimas para populações urbanas e rurais da região. Além disso, a situação de pobreza observada precisa ser atacada nas diferentes dimensões, incluindo, além da saúde, a educação e o padrão de vida.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, C.; METTERNICHT, G.; WIEDMANN, T. Prioritising SDG targets: assessing baselines, gaps and interlinkages. **Sustainability Science**, v. 14, n. 2, p. 421-438, 2019.
- ANDRADE, A. O.; SÁ, A. R. N.; BEZAGIO, R. C. Prevalência de parasitoses intestinais em crianças de um centro municipal de educação infantil de Campo Mourão, PR/Brasil. **Revista Uningá Review**, v. 29, n. 3, p. 36-41, 2018.

BACELAR, P. A. A.; SANTOS, J. P.; MONTEIRO, K. J. L.; CALEGAR, D. A.; NASCIMENTO, E. F.; CARVALHO-COSTA, F. A. Parasitoses intestinais e fatores associados no estado do Piauí: uma revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 10, n. 4, p. 1802-1809, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1.271, de 6 de junho de 2014**. Define a Lista Nacional de Notificação Compulsória de doenças, agravos e eventos de saúde pública nos serviços de saúde públicos e privados em todo o território nacional, nos termos do anexo, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: <https://goo.gl/c4aGmz>. Acesso em: 13 nov. 2018.

CAMELLO, J. T.; CAVAGNOLLI, N. I.; SPADA, P. K. W. D. S.; POETA, J.; RODRIGUES, A. D. Prevalência de parasitoses intestinais e condições de saneamento básico das moradias em escolares da zona urbana de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. **Scientia Medica**, v. 26, n. 1, p. 1-6, 2016.

CARVALHO, N. E. D. S.; GOMES, N. P. Prevalência de enteroparasitoses em crianças na faixa etária de 6 a 12 anos em uma escola municipal de Teresina-PI. **Revista Interdisciplinar**, v. 6, n. 4, p. 95-101, 2014.

CAVAGNOLLI, N. I.; CAMELLO, J. T.; TESSER, S.; POETA, J.; RODRIGUES, A. D. Prevalência de enteroparasitoses e análise socioeconômica de escolares em Flores da Cunha-RS. **Revista de Patologia Tropical/Journal of Tropical Pathology**, v. 44, n. 3, p. 312-322, 2015.

COLGLAZIER, W. Sustainable development agenda: 2030. **Science**, v. 349, n. 6252, p. 1048-1050, 2015.

COLOMBO, M. S.; MOURA, R. G. F.; FERREIRA, G. L. S.; HERNANDÉZ, C. G.; OLIVEIRA, K. R. Enteroparasitos em amostras de *Lactuca sativa* em um município no estado de Minas Gerais. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 21, n. 1, p. 33-36, 2018.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. especial, p. 51-60, 2014.

DIAS, M. G. P. F.; FREGONESI, B. M.; ZAGUI, G. S.; TONANI, K. A. A.; JULIÃO, F. C.; BEDA, C. F.; MACHADO, C. S.; MACHADO, G. P.; SILVA, T. V.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Enteroparasitos em crianças de instituição de ensino filantrópica: ênfase para *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. **Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 25, n. 1, p. 51-55, 2018.

DJONÚ, P.; RABELO, L. S.; LIMA, P. V. P. S.; SOUTO, M. V. S.; SABADIA, J. A. B.; SUCUPIRA JUNIOR, P. R. G. Objectives of sustainable development and conditions of health risk areas. **Ambiente e Sociedade**, v. 21, p. 2-20, 2018.

GALVÃO, L. A. C.; FINKELMAN, J.; HENAO, S. **Determinantes ambientais e sociais da saúde**. Washington, DC: OPAS, FIOCRUZ; 2011.

GRACILIANO NETO, J. J.; FARIAS, J. A. C.; MATOS-ROCHA, T. J. Contaminação de areia por parasitos de importância humana detectados nas praias da orla marítima de Maceió-AL.

Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, v. 62, n. 2, p. 81-84, 2017.

GRIGGS, D. J.; NILSSON, M.; STEVANCE, A.; MCCOLLUM, D. **A guide to SDG interactions: from Science to Implementation**. Paris: International Council for Science, 2017.

JALCA VIVAR, B. P. **Factores incidentes de parasitosis intestinal en pacientes adultos atendidos en Consulta Externa del Hospital Manglaralto**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) – Universidad de Guayaquil, Escuela de Graduados, 2016.

LIMA, F. L. O. Um século do exame parasitológico de Lutz e sua relevância atual. **RBAC**, v. 52, n. 1, p. 32-34, 2020.

MAIA, C. V. A.; VALLADARES, G. S.; HASSUM, I. C.; SANTOS, A. C. Distribuição espacial de enteroparasitos na zona rural de Limoeiro do Norte–CE. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1050-1060, 2020.

MARCULINO, H. H. S.; NASCIMENTO, K. P.; PACHECO, R. A.; SAMPAIO, M. G. V. Esquistossomose: uma questão de saúde pública. **Mostra Interdisciplinar do curso de Enfermagem**, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2017.

MARIANO, A. P. M. **Prevalência de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia lamblia* em crianças menores de 6 anos de creches/pré-escolas de zona urbana de um município do interior da Bahia, Brasil**. 2014. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, 2014.

MARIANO, M. L. M.; CARVALHO, S. M. S.; MARIANO, A. P. M.; ASSUNÇÃO, F. R.; CAZORLA, I. M. Uma nova opção para diagnóstico parasitológico: Método de Mariano e Carvalho. **NewsLab**, v. 68, p. 132-140, 2005.

MASTROPAULO, A. A.; RAZZOLINI, M. T. P. Qualidade da água de sistema alternativo coletivo de abastecimento para consumo humano: ocorrência de cistos de *Giardia* oocistos de *Cryptosporidium* em Poços de São Paulo-SP. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, v. 22, n. 3, p. 237-246, 2018.

MESQUITA, D. R.; SILVA, J. P.; MONTE, N. D. P.; SOUSA, R. L. T.; SILVA, R. V. S.; OLIVEIRA, S. S.; LEAL, A. R. S.; FREIRE, S. M. Ocorrência de parasitos em alface-crespa (*Lactuca sativa* L.) em hortas comunitárias de Teresina, Piauí, Brasil. **Revista de Patologia Tropical/Journal of Tropical Pathology**, v. 44, n. 1, p. 67-76, 2015.

PAULINO, F. A. P.; CASTRO JÚNIOR, A. S.; VIDAL, F. A.; ALMEIDA, M. S. C.; SILVA, E. S. L.; SAMPAIO, M. G. V. Aspectos sobre *Balantidium Coli*: uma abordagem bibliográfica. **Mostra Científica em Biomedicina**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2017.

PEREIRA, V. R. D.; HERNANDES, J. C.; CORRÊA, K.; CORRÊA, L. B. Aspectos socioambientais e parasitológicos de catadores (as) de uma cooperativa de triagem de resíduos sólidos. **Higieia – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 12, n. 22, p. 123-133, 2016.

PIMENTEL, P. C. B. **Conservação da biodiversidade e pobreza no Parque Estadual da Serra do Conduru, Bahia, Brasil**. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2016.

RODRIGUES, J. M. N.; DAVID, I. R.; ESPINHEIRA, M. J. C. L. Prevalência de enteroparasitoses humanas no município de Itacaré estado da Bahia, no ano de 2018 e fatores agravantes. **ID on line – Revista de Psicologia**, v. 13, n. 48, p. 168-174, 2019.

SANT'ANNA, L. M. L.; OLIVEIRA, F. J.; MELO, C. M. Estudo comparativo de técnicas parasitológicas baseada no princípio de sedimentação espontânea (Hoffman) e Parasitokit®. **Scire Salutis**, v. 3, n. 1, p. 6-15, 2013.

SEIXAS, M. T. L.; SOUZA, J. N.; SOUZA, R. P.; TEIXEIRA, M. C. A.; SOARES, N. M. Avaliação da frequência de parasitos intestinais e do estado nutricional em escolares de uma área periurbana de Salvador, Bahia, Brasil. **Revista de Patologia Tropical**, v. 40, n. 4, p. 304-314, 2011.

SILVA, D. F.; MOREJON, C. F. M.; LESS, F. R. Prospecção do panorama do saneamento rural e urbano no Brasil. **REMEA- Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 31, n. especial, p. 245-257, 2014.

SINGH, G. G.; CISNEROS-MONTEMAYOR, A. M.; SWARTZ, W.; CHEUNG, W.; GUY, J. A.; KENNY, T. A.; MCOWEN, C. J.; ASCH, R.; GEFFERT, J. L.; WABNITZ, C. C. C.; SUMAILA, R.; HANICH, Q.; OTA, Y. A rapid assessment of co-benefits and trade-offs among Sustainable Development Goals. **Marine Policy**, v. 93, p. 223-231, 2018.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 1981.

SOUSA, T. N.; SILVA, R. V. S.; EVANGELISTA, B. B. C.; FREIRE, S. M. Prevalência das zoonoses parasitárias e a sua relação com as aves silvestres no nordeste do Brasil. **Jornal Interdisciplinar de Biociências**, v. 3, n. 2, p. 39-44, 2019.

SOUZA, F. R.; GONÇALVES, M. L.; COELHO, N. B.; MAIA, M. C.; VALADÃO, A. F. Diagnóstico epidemiológico de parasitos intestinais em uma comunidade rural de Ipatinga-MG. **Revista Uningá**, v. 55, n. 2, p. 200-213, 2018.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. New York: UNDP, 2016. Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.

VASCONCELOS, I. A. B.; OLIVEIRA, J. W.; CABRAL, F. R. F.; COUTINHO, H. D. M.; MENEZES, I. R. A. Prevalência de parasitoses intestinais entre crianças de 4-12 anos no Crato, Estado do Ceará: um problema recorrente de saúde pública. **Acta Scientiarum, Health Sciences**, v. 33, n. 1, p. 35-41, 2011.

VEIGA, J. E. Saúde e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 99, p. 303-310, 2020.

VIEIRA, D. E. A.; BENETTON, M. L. F. N. Fatores ambientais e sócioeconômicos associados à ocorrência de enteroparasitoses em usuários atendidos na rede pública de saúde em Manaus/AM, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 487-498, 2013.

AVALIAÇÃO LABORAL DOS POSTOS DE TRABALHO DA SALA DE ABATE DE UM FRIGORÍFICO NO SUDOESTE BAIANO

LIONIDIO ARAGÃO VIEIRA,
TIAGO MEIRA LIMA
SÔNIA MARTINS TEODORO

RESUMO

Atividades laborais em frigoríficos são geralmente repetitivas, exigindo frequentemente que os trabalhadores mantenham posturas inadequadas ao longo de toda sua jornada de trabalho, o que pode ocasionar problemas de saúde. Para avaliar as condições ambientais e ergonômicas na sala de abate de um frigorífico de bovinos, no sudoeste da Bahia, por meio do método Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho (LEST), foram realizadas entrevistas, observações *in loco*, aplicação de questionários, filmagens e mensurações das variáveis ambientais. Problemas com relação à qualidade ambiental, à carga física do trabalho, à carga mental e aos aspectos psicossociais foram observados. Esses problemas, associados ao tempo de trabalho, afetaram negativamente a saúde dos trabalhadores do frigorífico. O método LEST se mostrou uma ferramenta eficiente para a avaliação das condições de trabalho em frigoríficos e sua adequação aos preceitos legais estabelecidos pela NR-36. A análise da sala de abate possibilitou inferir algumas medidas operacionais e físicas que, caso implementadas, poderão trazer um maior nível de conforto ergonômico para os trabalhadores do setor, além de contribuir para a redução de afastamentos por acidentes do trabalho e doenças ocupacionais. Isso refletirá em maior eficiência das tarefas desenvolvidas, aumento de produtividade e, conseqüentemente, benefícios econômicos para a empresa.

Palavras-chave: Ergonomia; Método LEST; Riscos ocupacionais.



ABSTRACT

Work activities in slaughterhouses are generally repetitive, often requiring workers to maintain inadequate postures throughout their working hours, health problems for workers. To assess the environmental and ergonomic conditions in a cattle slaughterhouse's, in southwest Bahia, using the LEST method (Labor Economics and Sociology Laboratory), interviews, on-the-spot observations, questionnaires, filming and measurements of environmental variables were carried out. Problems environmental quality, physical workload, mental load and psychosocial aspects were observed. These problems, associated with working time, negatively affected the health of the slaughterhouse workers. The LEST method proved to be an adequate and efficient tool for the evaluation of working conditions in slaughterhouses and their adaptation to the legal precepts established by NR-36. The analysis of the slaughter room using the LEST method, made it possible to infer some operational and physical measures that, if implemented, could bring relevant benefits to workers in the sector, in addition to contributing to the reduction of leaves due to work accidents and occupational diseases. Reflecting greater efficiency in the tasks performed, increased productivity and, consequently, economic benefits for the company.

Keywords: Ergonomics; LEST method; Occupational risks.

1 INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário do setor industrial no mundo globalizado e com um mercado consumidor cada vez mais exigente, as empresas necessitam encontrar soluções inovadoras e estratégicas para se tornarem mais competitivas. Entre as prerrogativas adotadas nos frigoríficos para aumentar a competitividade e atender a requisitos legais, as boas condições do ambiente de trabalho devem ser priorizadas, pois irão proporcionar mais segurança, saúde e bem-estar aos trabalhadores. A competitividade requer maior desempenho e eficácia na cadeia produtiva, o que demanda um ritmo mais intenso de trabalho e, até mesmo, alterações nas jornadas de trabalho. Um exemplo são os frigoríficos que, perante novos desafios, mudam frequentemente as condições de trabalho, com o objetivo de alcançar a produtividade esperada (TAKEDA *et al.*, 2010).

O abate de bovinos é uma das atividades econômicas mais importantes no mercado brasileiro, levando-se em conta que o Brasil, com o maior rebanho comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina (USDA, 2020). Apesar da importante participação da indústria frigorífica na economia brasileira, verifica-se que esse crescimento ainda acompanha problemas laborais. Trabalhadores de empresas do segmento frigorífico estão entre os grupos mais vulneráveis ao risco ergonômico (OLIVEIRA *et al.*, 2019). De acordo com órgãos fiscalizadores, o crescimento do setor tem sido responsável pelo aumento de doenças musculoesqueléticas e de acidentes de trabalho sofridos pelos trabalhadores do setor de produção (SANTANA; RODRIGUES, 2014).

O setor frigorífico se consagrou como um segmento da indústria com elevado número de acidentes do trabalho e trabalhadores acometidos com doenças ocupacionais. Em 2017, foram registrados 20.595 acidentes de trabalho, de acordo com o *Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho* (BRASIL, 2017). Essa realidade coloca a indústria frigorífica entre os setores com maior número de acidentes do trabalho registrados no Brasil.

As atividades laborais nos frigoríficos, em geral, são realizadas em ambientes com condições precárias de conforto e segurança, além de um nível elevado de exigências técnica e físicas. Os trabalhadores realizam manualmente o manuseio de cargas em alta frequência, incluindo elevação, movimentação, rotação de cargas pesadas entre os postos de trabalho (BOTTI; MORA; REGATTIERI, 2015). Segundo Sarda, Ruiz e Kirtschig (2009), a maioria das atividades realizadas nesses ambientes é classificada como repetitiva, monótona e fatigante. Além dos riscos relacionados ao ambiente de trabalho e às atividades

repetitivas, as operações exigem, dos trabalhadores, a adoção de posturas inadequadas, de forma frequente, durante toda a jornada de trabalho. Estudos comprovam que as atividades laborais em frigoríficos expõem os trabalhadores a condições inadequadas, com elevados índices de desconforto corporal, o que pode evoluir para doenças osteomusculares relacionadas ao trabalho (DIAS, 2019). Além disso, podem causar graus variados de fadiga física e mental e problemas psicossociais, o que incide no surgimento das doenças ocupacionais e na ocorrência de acidentes do trabalho (TAKEDA, 2010).

O adoecimento dos trabalhadores afeta a produtividade da empresa. Sundstrup e colaboradores (2014) comentam que essas condições de trabalho, além de degradarem a saúde dos trabalhadores, impõem um ônus socioeconômico devido à utilização de serviços de saúde, ao absenteísmo, às indenizações, à pensão por invalidez e à perda de produtividade. A implementação de melhorias eficientes no ambiente de trabalho se faz necessária de forma que se elimine ou atenuar a exposição dos trabalhadores aos fatores de risco presentes nesse ambiente.

Diante disso, no ano de 2013, foi estabelecido um marco regulatório em termos de Segurança e Saúde do Trabalho para os frigoríficos, que foi a criação da Norma Regulamentadora 36 (NR-36), que trata de Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados (BRASIL, 2013). O objetivo desta norma é estabelecer os requisitos mínimos para avaliação, controle e monitoramento de riscos em atividades realizadas em indústrias brasileiras de processamento de carne. Nesta norma, foram instituídas medidas ergonômicas, como as pausas psicofisiológicas, os rodízios entre atividades, as melhorias de postos de trabalho, as adequações de manuseio de cargas, as ferramentas e os equipamentos de trabalho, as condições ambientais de trabalho, entre outras orientações (BRASIL, 2013).

A instituição da NR-36 foi um ganho importante para o setor frigorífico (CARDOSO, 2017), sendo que os aspectos ergonômicos são seu foco. Para Ribeiro (2017), no setor frigorífico, os aspectos ergonômicos têm uma contribuição direta sobre a saúde, segurança e o bem-estar dos trabalhadores.

A ergonomia se constitui em uma importante ferramenta para a melhoria do ambiente de trabalho. De acordo com Másculo e Vidal (2011), a ergonomia foca na atividade de trabalho das pessoas, objetivamente a situação onde ela ocorre e tendo como finalidade a transformação e melhoria do sistema. Ainda contribui para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade das operações industriais, podendo ser feita de três maneiras: (a) aperfeiçoamento do

sistema homem-máquina-ambiente, (b) organização do trabalho e (c) melhoria das condições de trabalho (IIDA; GUIMARÃES, 2016). Além disso, a ergonomia promove uma abordagem holística, na qual fatores físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros fatores relevantes devem ser levados em consideração (DIAS, 2019).

Diversos métodos e ferramentas são utilizados pela ergonomia para avaliar as condições do ambiente de trabalho. De acordo com Shida e Bento (2012), facilitam a identificação de situações que prejudicam a saúde e o bom desempenho do trabalhador no seu local de trabalho, sejam elas posturais, organizacionais, ambientais. Entre eles, está o método do Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho (LEST).

O método LEST foi desenvolvido na França, nos anos 1970, pelo Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho da *Aix Provence França*, por Guy Roustang e seus funcionários Françoise Guélaud, Marie Beauchessne e Jaques Gautrat (GUÉLAUD *et al.*, 1975). Tornou-se um método consagrado por ser um dos raros que contempla a análise de carga mental em trabalhos repetitivos e manuais, sendo investigado por meio de critérios perceptíveis e fornecendo uma ponderação através de tabelas de pontuação (CARDOSO, 2010). Sua contribuição é significativamente valiosa para a ergonomia, especialmente pela objetividade com que as condições de trabalho podem ser descritas e pela possibilidade de obtenção de um diagnóstico sobre a realidade das condições de trabalho (FUNDACIÓN MAPFRE, 1995). Esse método é considerado um dos melhores pontos de partida para estudos mais detalhados e adaptados às particularidades de cada trabalho (BUSTILLOS, 2005). A aplicação desse método permite à empresa o reconhecimento dos vários elementos que influenciam nas condições de trabalho e que podem interferir na produtividade, além do estabelecimento de indicadores da qualidade do ambiente (FUNDACIÓN MAPFRE, 1995).

A análise das condições de trabalho proposta pelo método LEST considera os seguintes fatores: ambiente físico, posturas de trabalho, gasto de energia, carga mental e pressões de tempo sofridas pelo trabalhador, além de analisar sua autonomia e relações sociais no ambiente laboral.

Os autores do método desenvolveram um questionário para observação e coleta das informações objetivas sobre os diversos elementos das condições de trabalho. Para sua aplicação, faz-se necessário uma análise tanto de caráter objetiva como subjetiva. A primeira é necessária devido às variáveis quantitativas: iluminação, temperatura, ruído e vibração. Já a segunda, por se considerar imprescindível também a análise do ambiente de trabalho e da opinião do

próprio trabalhador sobre o trabalho que realiza, para avaliar a carga física e mental, além de aspectos sociais e tempos de trabalho.

O diagnóstico do método é determinado por meio de 16 variáveis que são agrupadas em cinco dimensões: (i) o ambiente físico (04 variáveis); (ii) a carga física (02 variáveis); (iii) a carga mental (04 variáveis); (iv) os fatores psicossociais (05 variáveis); e (v) os tempos de trabalho (01 variável) (SANCHÉZ; REYES, 2016). A avaliação se baseia nas pontuações alcançadas a partir de cada uma das variáveis nos respectivos postos de trabalho.

Para dimensionar o Ambiente Físico, são analisadas as variáveis: térmica, lumínica, ruído e vibrações. Para a Carga Física, são analisadas as variáveis: estática (postura) e a dinâmica. Para a Carga Mental, são analisadas as variáveis: restrição de tempo, complexidade e rapidez, atenção e minúcia. Para os Aspectos Psicossociais, as variáveis analisadas são: iniciativa, status social, comunicação, cooperação e identificação do produto. A dimensão Tempo de Trabalho avalia apenas a duração da atividade desenvolvida.

A pontuação é definida de acordo com o grau de danos de cada variável e dimensão, em uma escala de 0 a 10, conforme indicado no Quadro 1.

264

Quadro 1 - Sistema de pontuação do método LEST

Pontuação	Situação
0, 1, 2	Situação satisfatória.
3, 4, 5	Baixo desconforto. Melhorias podem aumentar o conforto do trabalhador.
6, 7	Incômodo médio. Risco de fadiga para o trabalhador.
8, 9	Incômodo intenso. Fadiga relevante para o trabalhador.
10	Nocivo.

Fonte: Adaptado de Guélaud et al. (1975).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) estima que 4% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial seja destinado para despesas com doenças e acidentes relacionados a atividades laborais. A indústria frigorífica aparece no topo do *ranking* de acidentes de trabalho do ramo alimentício (ILO, 2003; FAVERIN, 2019). Segundo o procurador do Trabalho Sandro Sardá, “o trabalho em frigoríficos é a atividade industrial que mais gera adoecimentos no país” (ANPT, 2017, p. 01).

Dada a magnitude do problema, considera-se de suma importância o conhecimento dos fatores de riscos aos quais os trabalhadores estão expostos no ambiente de trabalho para planejamento e implementação de medidas de prevenção que proporcionem mais segurança e conforto. Logo, o objetivo ge-

ral desse estudo foi avaliar as condições ambientais e ergonômicas na sala de abate de um frigorífico de bovinos utilizando o método Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho (LEST).

2 METODOLOGIA

Foi realizado um estudo descritivo e transversal, com abordagens qualitativa e quantitativa de um frigorífico localizado no município de Brumado, no Estado da Bahia, entre fevereiro e abril de 2018, para análise das condições ambientais e ergonômicas do trabalho na sala de abate de um frigorífico de bovinos pelo método Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho (LEST).

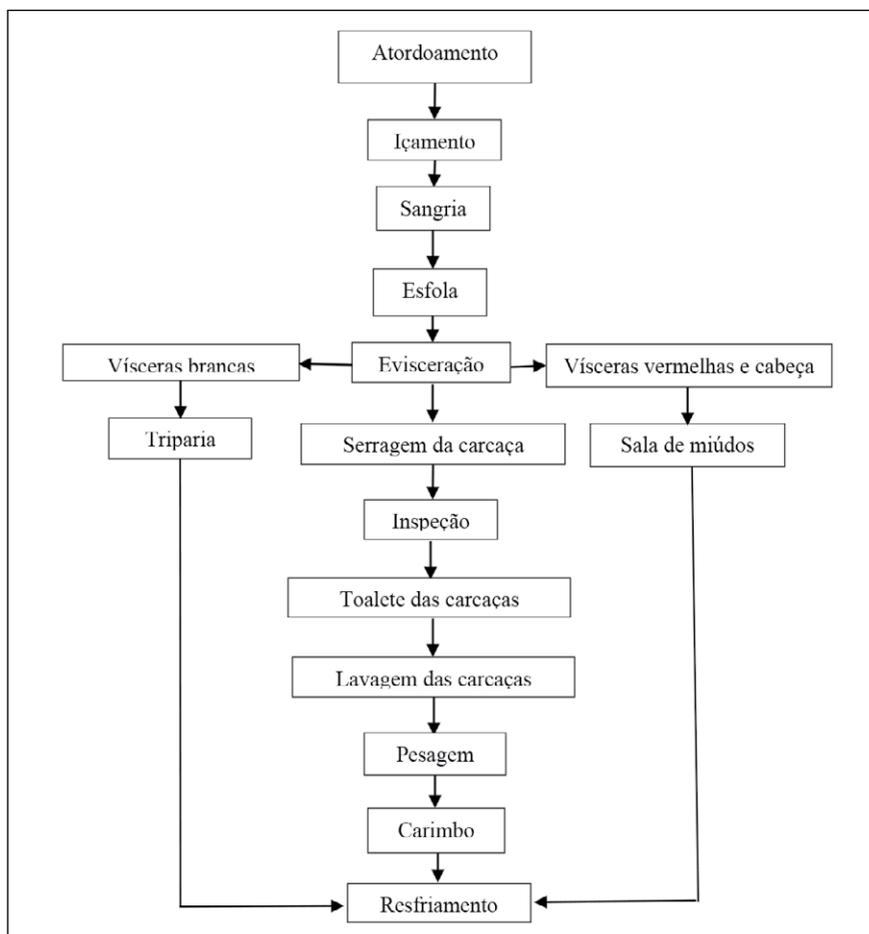
A empresa frigorífica analisada segue os padrões de abate preconizados pelo Serviço de Inspeção Estadual (SIE), emprega cerca de 80 funcionários e abate em média 700 animais por semana. Na sala de abate, trabalham em média 24 a 26 funcionários, com jornada de trabalho de 8 horas, que pode variar de acordo com a quantidade de animais que chegam para o abate. Os animais são abatidos, resfriados e transportados até os estabelecimentos dos clientes em caminhões frigoríficos.

Os funcionários foram informados individualmente sobre o objetivo do estudo e o conteúdo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Parecer nº 2.325.215). Foram entrevistados todos os funcionários da sala de abate nos dias da coleta, além do encarregado de produção. Assim, resultando em 24 trabalhadores (18 homens e 06 mulheres) que responderam individualmente aos questionários para coleta de informações sobre o perfil do trabalhador e as condições do ambiente de trabalho.

A opção de analisar a sala de abate se justifica por ser o setor com o maior número de funcionários, além de se constituir como um dos locais que apresenta maior risco para os trabalhadores na indústria frigorífica. A sala de abate é composta por trilhos aéreos, nórias, plataformas, mesas, bancadas, carrinhos de transporte, guinchos, serras elétricas e centrifugas. Nas atividades laborais, os trabalhadores utilizam as seguintes vestimentas: calça e camisa de tecido, touca e máscaras descartáveis, conjunto de calça e camisa impermeáveis, confeccionados em resina de polietileno, além de luvas e calçados também impermeáveis.

Os trabalhadores se dividem em diversos postos de trabalho, desde o atordamento até o acondicionamento das carcaças nas câmaras frias. Alguns postos de trabalho são sobre plataformas e outros são diretamente no chão (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção na sala de abate.



Fonte: Elaboração própria.

Para facilitar a realização do estudo, o setor foi dividido em dez postos de trabalho, considerando todas as etapas do processo de produção, conforme descreve o Quadro 2.

Para a coleta de dados, foram utilizadas as seguintes ferramentas: entrevistas, observações, aplicação de questionários, filmagens, mensuração e análise das variáveis ambientais, que serviram de subsídio para a aplicação do método LEST. As variáveis ambientais nos postos de trabalhos foram mensuradas através de avaliações quantitativas, com equipamento específico para cada agente físico, seguindo os parâmetros legais e técnicos vigentes no país. Para a ava-

liação da exposição dos funcionários ao ambiente térmico, foram utilizados o termômetro de globo e medidor de estresse térmico, modelo HT-30 da marca Extech, e o anemômetro termohigro luxímetro digital THAL-300, da marca Instrutherm. A análise da pressão sonora foi obtida por meio do dosímetro de ruído, modelo DOS-500 da marca Instrutherm. Para a análise da iluminação, foi empregado o luxímetro digital, modelo LD-400 da marca Instrutherm. A avaliação da carga física foi realizada com base nas análises das filmagens realizadas nos postos de trabalho. A coleta das informações referentes à carga mental, aos aspectos sociais e aos tempos de trabalho foi realizada por meio de uma análise subjetiva, com a aplicação de um questionário aos funcionários.

Quadro 2 - Descrição dos postos de trabalho avaliados e atividades desenvolvidas

Posto de trabalho	Atividades desenvolvidas
P1 - Atordoamento	Atordoamento ou insensibilização dos animais no <i>box</i> de atordoamento. Uso de choque na parte superior da cabeça por uma pistola pneumática com pino retrátil, que deixa o animal inconsciente.
P2 - Sangria	Secção dos grandes vasos sanguíneos do pescoço com uma faca, desarticulação dos mocotós traseiros e remoção do couro da pata e de parte da cabeça.
P3 - Serra de chifre	Serragem dos chifres, esfolagem da cabeça e identificação do lote.
P4 - Esfolagem	Em uma plataforma, um funcionário faz a retirada do couro da cauda e a oclusão do reto, para evitar a contaminação da carcaça por excrementos. A seguir, ocorre a retirada dos mocotós e a esfolagem das costas e da barriga com facas. A remoção do couro é feita com equipamento de tração. Seguindo-se da desarticulação e retirada da cabeça, que é transferida para outro setor.
P5 - Serra de peito	Serragem do osso do peito com o auxílio de uma serra elétrica para a retirada das vísceras e do intestino.
P6 - Evisceração	Com faca manual, faz-se uma abertura nas cavidades pélvica, abdominal e torácica para retirar previamente os úteros grávidos e o tubo gastrintestinal. Em seguida, faz-se a retirada das vísceras torácicas, do fígado, pulmões e coração. As vísceras são separadas e inspecionadas. As vísceras vermelhas seguem para a sala de miúdos, onde são limpas e embaladas; e as vísceras brancas, para a triparia, onde se faz a limpeza, desinfecção e embalagem.
P7 - Serra de carcaça	As carcaças são serradas longitudinalmente ao meio, seguindo o cordão espinal, resultando em duas metades.
P8 - Toalete das carcaças	A toalete das carcaças é realizada com o auxílio de facas manuais e ganchos. São retirados os coágulos decorrentes da sangria, a gordura excedente, além da limpeza de contusões superficiais. Também são retirados músculo da região do pescoço (sangria), diafragma e seus pilares, além do vergalho, que seguem através de caixas brancas específicas para a secção de carne industrial e miúdos. Na fase final da toalete, é realizado o levantamento do antebraço para eliminar a maior quantidade de sangue possível.
P9 - Câmara de resfriamento	Após a identificação, as carcaças são encaminhadas para as câmaras de resfriamento, onde são mantidas em temperaturas abaixo de 7°C.
P10 - Sala de miúdos	Limpeza, separação e embalagem das vísceras vermelhas e de carnes industriais.

Fonte: Elaboração própria.

Na versão do método LEST desta pesquisa, foram consideradas 14 das 16 variáveis apresentadas, sendo desconsiderada a variável *vibração*, pela ausência de equipamento para a medição, e a variável *minúcia*, por não se aplicar às tarefas do setor estudado. Após a análise e interpretação dos dados coletados, procedeu-se a avaliação com base nas pontuações definidas pelos autores do método. A pontuação de cada dimensão foi determinada pela média aritmética das variáveis correspondentes, enquanto que a pontuação das variáveis foi determinada pela média aritmética de cada parâmetro analisado, seguindo a metodologia preconizada por Guélaud *et al.* (1975) que estabeleceram o método LEST.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises realizadas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da aplicação do método LEST nos postos de trabalho avaliados

Dimensão	Variável	Nota por variável/posto de trabalho									
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Ambiente físico	Térmico	8	8	8	8	8	8	8	8	2	8
	Lumínico	10	10	10	10	8	8	10	10	10	8
	Ruído	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Nota por dimensão		9,3	9,3	9,3	9,3	8,7	8,7	9,3	9,3	7,3	8,7
Carga física	Estática	8	8	8	9	6	8	6	7	6	8
	Dinâmica	4	4	4	8	4	6	5	6	7	9
Nota por dimensão		6	6	6	8,5	5	7	5,5	6,5	6,5	8,5
Carga mental	Restrição de tempo	4	4	5	6	7	7	6	7	7	7
	Complexidade e rapidez	7	2	5	5	2	6	0	5	0	6
	Atenção	5,3	7,5	8	9	9	9	8	9	8	9,5
Nota por dimensão		5,4	4,5	6	6,7	6	7,3	4,7	7	5	7,5
Aspectos psicossociais	Iniciativa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Status social	4	3	3	3	3	3	2	4	2	2
	Comunicação	2	2	0	6	6	6	4	2	2	2
	Cooperação	0	3	3	3	3	3	2	1,5	3	3
	Identificação do produto	8	5	5	5	5	5	3	3	7	5
Nota por dimensão		3,8	3,6	3,2	4,4	4,4	4,4	3,2	3,1	3,8	3,4
Tempo de trabalho	Tempo de trabalho	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Fonte: Dados da pesquisa.

Legenda: P1 = Atordoamento; P2 = Sangria; P3 = Serra de chifre; P4 = Esfola; P5 = Serra de peito; P6 = Evisceração; P7 = Serra de carcaça; P8 = Toailete das carcaças; P9 = Câmaras de resfriamento; P10 = Sala de miúdos.

O **Ambiente Físico** obteve pontuação elevada em praticamente todos os postos de trabalho avaliados, indicando uma situação de incômodo intenso a uma condição de nocividade, segundo a pontuação estabelecida por Guélaud *et al.* (1975) – conforme pontuações apresentadas no Quadro 1.

O *ambiente térmico* manteve-se entre 14,1 a 27,8 °C nos postos analisados, com risco expressivo para indução de incômodos e fadiga por conta do calor excessivo. Diversos fatores ambientais contribuíram para essas condições de desconforto, nos diversos postos de trabalho, como a falta de ventilação (0 m/s), elevada taxa de umidade relativa (UR) (59,2% a 85,9%) e altas temperaturas. Para os locais onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, a NR-17 (BRASIL, 1978) recomenda que as temperaturas estejam entre 20 °C e 23 °C; e determina que a UR não deve ser inferior a 40%, porém não estipula um limite máximo. Entretanto, quanto maior a taxa de umidade relativa do ar, menor é a eficiência da evaporação na perda de calor. Essa situação se agrava ainda mais quando associada à falta de circulação de ar, altas temperaturas e trabalhos pesados. A combinação desses fatores cria condições para o desconforto térmico (BRASIL, 1978; MARRA *et al.*, 2017).

Essas condições podem influenciar negativamente no desempenho dos trabalhadores, causando perda de produtividade, falta de motivação e aumento da incidência de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais (VIELRA, 2008). Quando exposto a uma sobrecarga térmica, o organismo humano está sujeito a várias reações fisiológicas, entre elas a sudorese e a vasodilatação periférica, visando a manter o equilíbrio térmico. Porém, essas reações provocam outras alterações que, somadas, podem resultar em distúrbios fisiológicos (SALIBA, 2011).

O posto de trabalho **P9** – Câmara de resfriamento – obteve nota 2. Isso pressupõe uma baixa importância da variável térmica, por conta das baixas temperaturas de 14,1 °C. Entretanto, o funcionário desse posto de trabalho se expõe a uma oscilação térmica grande devido à alternância de ambiente de forma repetitiva. Essas condições térmicas podem causar danos para a saúde do funcionário. Segundo Padovani (2008), variações térmicas superiores a 4 °C já se mostram prejudiciais à saúde humana, sendo registrada, na linha de abate, temperaturas com amplitude térmica de 13,7 °C. Dentre as complicações respiratórias, a rinite costuma se manifestar na presença de variação brusca de temperatura (FERREIRA *et al.*, 2008).

O *ambiente lumínico* apresentou resultados de iluminância de 1,0 a 193 lux, que caracteriza o setor de trabalho como altamente prejudicial para os traba-

lhadores, por conta das condições lumínicas inadequadas. A Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1/2013 determina que, para o ambiente de trabalho estudado, o nível de iluminância recomendado é de 500 lux. As condições inadequadas de iluminação podem provocar sinais de fadiga e irritabilidade visual, dores de cabeça, dores musculares, *stress* e dificuldade de concentração (PAIS, 2011). Ressalta-se que as atividades na sala de abate requerem atenção e concentração, por conta do uso constante de ferramentas perfurocortantes, tais como facas afiadas e serras elétricas. Tavares (2006) cita que uma iluminação deficiente interfere nos níveis de desempenho do indivíduo decorrendo em: diminuição do ritmo de trabalho, menor percepção de detalhes, aumento de erros ao executar determinados trabalhos e elevação dos índices de acidentes do trabalho.

A sala de abate possui iluminação artificial. Contudo, apresentou níveis de iluminância insuficientes, em especial durante o início e o final da jornada de trabalho, momentos nos quais a iluminação natural tem menor incidência no ambiente laboral. Fatores como o sombreamento causado pelas carcaças penduradas nos trilhos aéreos e a oscilação da iluminação natural contribuem para as condições inadequadas de iluminação do setor. O *Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal* (RIISPOA) determina que os locais de trabalho devem possuir sistema de iluminação permanente, que possibilite boa visibilidade dos detalhes do trabalho, para evitar zonas de sombra ou de penumbra e efeito estroboscópico (BRASIL, 1952).

O ruído obteve pontuação máxima em todos os postos de trabalho, com intensidade sonora que variou de 87,5 a 94,5 dB, caracterizando-se como nociva em todo o setor estudado. Os níveis de ruído estabelecidos para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias – NEN (Nível de Exposição Normalizado), foram excedidos em todos os postos de trabalho monitorados, caracterizando o ambiente de trabalho como insalubre, de acordo com a NR-15 (BRASIL, 1978), além de desconfortável conforme a NR-17 (BRASIL, 1978). As principais fontes de ruído observadas foram os equipamentos com serras elétricas e pistola pneumática, atrito entre carretilhas e os trilhos aéreos, centrífugas utilizadas para processamento de vísceras brancas e os trocadores de calor das câmaras de resfriamento.

Todos os trabalhadores usam protetor auditivo. A atenuação média dos protetores auditivos – NRRsf (*Noise Reduction Rate Subject Fit* ou Taxa de Nível de Redução do Ruído) – variaram entre 16 e 23 dB. Com isso, o ruído total, que é o nível de ruído medido em cada posto de trabalho menos o nível de atenuação do protetor auditivo, ficou abaixo de 80 dB. O uso dos Equipamentos de Prote-

ção Individual (EPIs) fornecidos pela empresa eliminou a exposição à insalubridade por conta do ruído, porém não descaracterizou o desconforto acústico.

Os efeitos negativos da exposição ao ruído para o organismo humano podem ir além dos danos ao sistema auditivo. Alguns sinais e sintomas, como aumento dos batimentos cardíacos, hipertensão arterial, alterações digestivas, irritabilidade, insônia, ansiedade, nervosismo, redução da libido, dentre outros, vêm sendo relacionados à exposição ao ruído (MENESES; PAULINO, 2016). A presença do ruído durante a jornada de trabalho, de formas contínua, intermitente ou de impacto, pode levar a perturbações, como a redução da concentração, e, com o tempo, à perda auditiva, denominada Perda Auditiva Induzida pelo Ruído – PAIR (MARRA *et al.*, 2017).

Uma das principais dificuldades do estudo foi avaliar o ambiente físico, que varia em função da jornada de trabalho e sua duração ser dependente da quantidade de animais a serem abatidos no período. Outra limitação foi a ausência da análise da vibração, devido à não disponibilidade do equipamento específico para sua medição.

A **Carga Física** obteve resultados que indicaram a presença de incômodo médio a intenso, que podem gerar desconfortos e fadiga. A *carga física estática* (postura) obteve pontuação que configura as atividades laborais da sala de abate como prejudiciais para a saúde dos trabalhadores. A maioria das tarefas constitui-se de movimentos de ciclo curto com intensa repetitividade e exige esforço físico intenso, o que potencializa o surgimento de fadiga e dores nas articulações, que podem ocasionar problemas osteomusculares. Jakobi e colaboradores (2015) ressaltam que os problemas musculoesqueléticos são as doenças ocupacionais mais frequentes entre os profissionais de frigoríficos. Essas doenças são causadas pelo uso excessivo, contínuo e inadequado de determinada articulação. Entre essas doenças, estão: a LER/DOT, com queixas de dores, parestesias e problemas articulares, além das lesões dos nervos ulnar e radial, artrite, artrose, reumatismo, espondilose e epicondilites (MARRA *et al.*, 2017).

Os trabalhadores permanecem em pé durante toda a jornada de trabalho, movimentando apenas parte do corpo, principalmente os braços e o tronco, enquanto as pernas permanecem estáticas. Essa posição é altamente fatigante porque exige muito trabalho estático da musculatura envolvida para manter essa posição. O coração encontra mais resistência para bombear sangue para os extremos do corpo, o que torna o consumo de energia elevado (IIDA, 2005). Algumas tarefas exigem ainda que os trabalhadores assumam posturas consideradas inadequadas, como inclinação e ou torção do tronco, braços com ex-

tensão frontal ou acima dos ombros. As posturas inadequadas surgem a partir de um posto de trabalho ou de máquinas, ambos projetados de forma errônea e podem causar distúrbios psicológicos e danos ao sistema musculoesquelético (EVANGELISTA; BORGES, 2015).

A *carga dinâmica* obteve resultados que indicaram desde um pequeno desconforto em alguns postos até incômodos e fadiga relevante, com destaques para os postos de trabalhos **P4** – Esfolia – e **P10** – Sala de miúdos. Este último registrou a maior pontuação, por conta da necessidade de movimentação de peso, além de maior flexão dos braços.

O sistema de produção em cadeia adotado pelos frigoríficos requer dos trabalhadores agilidade na execução das tarefas, uma vez que os animais devem ser abatidos e resfriados dentro de um determinado intervalo de tempo. Isso exige mais esforço muscular de forma repetitiva. Consequentemente, também exige um maior desgaste físico, o que gera muitas queixas por conta de dores nas articulações, principalmente nas costas, pernas e braços. Os esforços excessivos, estáticos ou dinâmicos, se forem repetidos durante um tempo mais longo, podem ocasionar dores. Inicialmente, essas dores são leves e, depois, mais intensas, não só nos músculos, mas também nas articulações, nos tendões e em outros tecidos (GRANDJEAN, 1998).

272

A **Carga Mental** obteve resultados com bastante variação, mas todos com potencial para causar algum tipo de incômodo e/ou fadiga para os trabalhadores. Das três variáveis analisadas, a atenção apresentou os maiores índices observados, principalmente a partir do posto de trabalho **P2** – Sangria. Esse comportamento sofre influência das atividades repetitivas, do manuseio de ferramentas perfurocortantes, como facas e serras, e do ritmo com que as tarefas são executadas. De acordo com Guélaud *et al.* (1975), quanto mais curtos forem os intervalos entre os períodos de mobilização da consciência, mais importante é a carga mental.

A *restrição de tempo* apresentou maiores notas a partir do posto **P4** – Esfolia. O sistema de produção em cadeia induz a um ritmo intenso de trabalho, à impossibilidade de se ausentar do posto de trabalho ou de paralisar o processo de produção.

A *complexidade e rapidez* apresentaram resultados inconstantes, sendo que, nos postos **P1** – Atordoamento, **P3** – Serra de chifre, **P4** – Esfolia, **P6** – Evisceração, **P8** – Toalete das carcaças e **P10** – Sala de miúdos, apresentou resultados que podem causar algum incômodo ou fadiga aos trabalhadores. Nos demais postos avaliados, foram averiguadas condições satisfatórias para essa variável.

De forma geral, as tarefas na sala de abate são executadas em cadeia, em consonância com as regras sanitárias, e requerem um nível de atenção bastante elevado em função das condições de trabalho. Guélaud e colaboradores (1975) definiram que a carga mental depende das exigências da tarefa e do grau de mobilização do sujeito e da fração de sua capacidade de trabalho que investiu na tarefa. As atividades industriais que estão condicionadas à atenção prolongada causam sobrecargas mentais nos trabalhadores e reduzem a atenção ao longo da jornada de trabalho (GRANDJEAN, 1998).

A sobrecarga mental pode resultar na redução de desempenho dos trabalhadores, em erros na execução das tarefas e acidentes do trabalho. Outros transtornos em decorrência da sobrecarga mental foram relatados por Goldberg (1994). Dentre os mais comuns, estão: irritabilidade, fadiga, insônia, dificuldade de concentração, déficit de memória e sintomas de ansiedade e depressão. Estudos realizados por Faoro e colaboradores (2018) verificaram uma associação significativa entre transtornos mentais comuns e dor musculoesquelética em trabalhadores na indústria frigorífica e alertam para a importância de medidas preventivas visando à diminuição da dor e à melhoria da saúde mental dos trabalhadores.

Os **Aspectos Psicossociais** obtiveram pontuação variável, que, de forma genérica, apresentaram baixo potencial para causar incômodos e fadiga em todos os postos de trabalho avaliados, mas com destaque pontual para algumas variáveis. Das variáveis analisadas, todas obtiveram resultados que representam baixo potencial para causar danos à saúde dos trabalhadores na maioria dos postos de trabalho avaliados. Pontualmente, algumas variáveis apresentaram resultados mais expressivos. A comunicação nos postos de trabalho **P4** – Esfola – e **P6** – Evisceração – obteve potencial em grau médio para causar incômodos e fadiga, por conta do maior número de pessoas no seu entorno e da impossibilidade de se moverem durante o trabalho. A identificação do trabalho nos postos **P1** – Atordoamento – e **P9** – Câmaras de resfriamento – apresentou resultados mais relevantes para causar incômodos e fadiga aos trabalhadores. As modificações realizadas por esses trabalhadores no produto final são perceptíveis e a localização dos postos de trabalho foram os fatores que mais contribuíram para o resultado.

Os riscos relacionados aos aspectos psicossociais podem afetar negativamente a saúde dos trabalhadores e o desempenho da empresa. A exposição a riscos psicossociais pode causar problemas como: a insatisfação no trabalho, distúrbios psicológicos, reações de comportamento, consequências psicofisio-

lógicas e, até mesmo, incidentes e acidentes de trabalho (MATOS, 2014; ILO, 2016). Além disso, podem causar ainda perturbações das funções cognitivas como: a atenção, a memória, o pensamento, a concentração (WHO, 2010).

Os riscos psicossociais, estresse, violência relacionada com o trabalho, assédio e assédio moral são agora reconhecidamente grandes desafios para a saúde e a segurança ocupacionais (BRUN; MILCZAREK, 2007), mas, apesar da sua relevância, a prevenção e a gestão de riscos não têm sido priorizadas na agenda da formulação de políticas públicas nem por parte das empresas. A falta de uma abordagem mais ampla da ergonomia cognitiva e dos riscos psicossociais na legislação trabalhista brasileira tem feito com que as empresas não deem a devida atenção ao problema; enquanto isso, os trabalhadores sofrem os efeitos negativos a nível psicossocial por conta das condições precárias de trabalho. Especificamente, no setor frigorífico, a NR-36 (BRASIL, 2013) cita apenas que os superiores hierárquicos diretos dos trabalhadores da área industrial devem ser treinados. No entanto, estudos ressaltam também que os distúrbios psicossociais são patologias que também afetam os trabalhadores em frigoríficos. Entre elas, destacam-se: depressão, angústia, estresse, alteração no comportamento e uso de drogas e álcool (TAVOLARO *et al.*, 2007; JAKOBI *et al.*, 2015).

274

...
O Tempo de Trabalho obteve nota 4 em todos os postos de trabalho, o que representa baixo potencial para causar incômodos e fadiga aos trabalhadores e indica que a implementação de melhorias pode aumentar o conforto dos trabalhadores. O baixo desconforto dessa variável decorre do fato de que todos os funcionários dos postos de trabalho possuem o mesmo regime de trabalho. Além disso, a empresa cumpre com as exigências legais em relação à jornada de trabalho e às pausas psicofisiológicas.

As análises realizadas pelo Método LEST, na sala de abate, permitiram sugerir algumas medidas operacionais e físicas para benefícios relevantes aos trabalhadores do setor, que devem contribuir para a redução de afastamentos por acidentes do trabalho e doenças ocupacionais. Isso deverá refletir na otimização e no aumento de produtividade e, conseqüentemente, em uma maior economia para a empresa. Como melhorias para a sala de abate, são indicadas:

- Instalação de um sistema de ventilação e exaustão para promover a circulação efetiva do ar em todo o setor e proporcionar conforto térmico e qualidade do ar no ambiente de trabalho. Devendo-se atentar para o atendimento das exigências legais do serviço de inspeção sanitária;
- Fornecer EPIs e vestimentas de trabalho compatíveis com os valores da temperatura do local e os riscos inerentes às tarefas executadas (por

exemplo: para ambiente artificialmente climatizados: bota de segurança branca impermeável com proteção térmica; calça térmica para baixas temperaturas; capacete branco com aba frontal (com jugular); capuz balaclava para câmara fria; japonsa frigorífica; luvas para baixas temperaturas; meia térmica de algodão para baixa temperatura; óculos de segurança com proteção lateral; protetor auditivo).

- Adequação da iluminação em todo o setor de produção, de forma a atender aos 500 lux de requisitos técnicos e legais;
- Controlar a exposição ao ruído, com implementação de um Programa de Conservação Auditiva – PCA, conforme preconiza a NR-36. Adotar medidas que priorizem a eliminação, redução da emissão e exposição dos trabalhadores ao ruído. Para isso, deve-se realizar a manutenção periódica preventivamente dos equipamentos e maquinários visando à redução dos níveis de ruído, mantendo-os sempre lubrificados e em bom estado de conservação; buscar a eliminação de atritos e impactos por meio do revestimento com material absorvente das superfícies e peças metálicas, como nos trilhos aéreos e *box* de atordoamento; substituir as rodas metálicas dos carrinhos de transporte por rodas de borracha; e, por último, mesmo já sendo uma política já adotada pela empresa, recomenda-se que seja fornecido protetores auditivos de acordo com o nível de ruído de cada posto de trabalho e que fiscalize o seu uso;
- Avaliar a implementação de um sistema de rodízio de funções que considere todos os aspectos ergonômicos dos postos de trabalho e dos funcionários do setor;
- Readequação, em alguns postos de trabalho, para eliminar a adoção de posturas inadequadas e desconfortáveis pelos trabalhadores durante a realização de algumas tarefas, como, por exemplo, no caso da serra de chifre e esfola;
- Instalar assentos nos postos de trabalho onde as tarefas tenham viabilidade técnica para serem realizadas na posição sentada;
- Mecanização do sistema de trilhos aéreos, para evitar o esforço físico aplicado pelos trabalhadores na movimentação dos animais nos trilhos;
- Orientar os trabalhadores para a realização de exercícios de aquecimento e alongamento antes do início de cada expediente; durante as pausas, a sugestão é que se faça ginástica laboral;
- Promover periodicamente a orientação e o treinamentos dos funcionários sobre saúde ocupacional, importância, uso correto e conservação

dos EPIs, postura correta durante a realização das tarefas, riscos inerentes ao trabalho, medidas de controle, primeiros socorros e ações emergenciais e aspectos cognitivos ligados ao trabalho;

- Promover a interação entre os funcionários através da realização de eventos recreativos e palestras;
- Levar em consideração a carga mental e os aspectos psicossociais dos trabalhadores nas avaliações ergonômicas e nas novas pesquisas.

4 CONCLUSÕES

Existem fatores de riscos na sala de abate que podem gerar transtornos à saúde dos trabalhadores. O ambiente físico e a carga física afetam negativamente a saúde de operários da indústria frigorífica. A carga mental, os aspectos psicossociais e o tempo de trabalho também são fatores de risco à saúde dos trabalhadores que atuam na sala de abate de frigoríficos. Os fatores de riscos não podem ser analisados de forma individualizada, por haver condições de associação entre si, o que agrava ainda mais as condições de trabalho.

O método Laboratório de Economia e Sociologia do Trabalho (LEST) foi uma ferramenta adequada e eficiente para a avaliação das condições laborais em frigoríficos e sua adequação aos preceitos legais estabelecidos pela NR-36. O LEST permite identificar e avaliar a magnitude e a complexidade dos fatores de risco relacionados ao trabalho, além de fornecer conhecimento sobre os riscos a que os trabalhadores estão expostos e os fatores que podem influenciar nas condições de trabalho e produtividade da função executada.

O método LEST pode ser utilizado como base para Programas de Gestão com vistas à otimização dos processos de produção, padronização e qualidade do produto e para melhorias das condições ambientais de trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação brasileira de normas técnicas. **NBR ISO/CIE 8995-1** do ano de 2013 - Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

ANPT – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROCURADORES DO TRABALHO. O trabalho em frigoríficos é a atividade industrial que mais gera adoecimentos no país. Associação Nacional dos Procuradores do Trabalho. **Notícias**, 17 maio 2017. Disponível em: <http://www.anpt.org.br/imprensa/noticias/3092-o-trabalho-em-frigorificos-e-a-atividade-industrial-que-mais-gera-adoecimentos-no-pais>. Acesso em: 25 out. 18.

BOTTI, L.; MORA, C.; REGATTIERI, A. Improving ergonomics in the meat industry: a case study of an Italian ham processing company. **IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing INCOM**, v. 48, n. 3, p. 598-603, 2015.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Anuário estatístico de acidentes do trabalho**: AEAT 2017. Ministério da Fazenda *et al.* Brasília, DF: Ministério da Fazenda, 2017.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **Norma regulamentadora nº 15 (NR15): atividades e operações insalubres**. Brasília, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma regulamentadora nº 17 (NR17): ergonomia**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-36 – Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados**. Portaria MTE n. 555, de 18 de abril de 2013. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2013. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-36.pdf. Acesso em: 1 jul. 2018.

BRASIL. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA**. Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952. Brasília, DF: 1952. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/decreto-30691-de-1952.pdf/view>. Acesso em: 3 jul. 2018.

BRUN, E.; MILCZAREK, M. European Agency for Safety and Health at Work. **Expert forecast on emerging psychosocial risks related to occupational safety and health**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. Disponível em: <https://osha.europa.eu/en/publications/report-expert-forecast-emerging-psychosocial-risks-related-occupational-safety-and> Acesso em: 20 nov. 2019.

BUSTILLOS, E. L. V. Listas de verificación, métodos y modelos matemáticos para evaluación ergonómica de ambientes de trabajo. **Estrucplan**, México, p. 1, 2005. Disponível em: <https://estrucplan.com.ar/listas-de-verificacion-metodos-y-modelos-matematicos-para-evaluacion-ergonomica-de-ambientes-de-trabajo-segunda-parte/> Acesso em: 20 nov. 2019.

CARDOSO, M. S. **Avaliação da carga mental de trabalho e o desempenho de métodos de mensuração**: Nasa Tlx e Swat. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103281>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CARDOSO, R. SST nos frigoríficos. **Revista Proteção**, Novo Hamburgo, v. 305, n. 1, p. 38-55, 2017.

DIAS, N. F. **Efeito de rodízio de atividades como mecanismo de prevenção ao risco de adoecimento em trabalhadores de um frigorífico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/198998>. Acesso em: 23 out. 2019.

EVANGELISTA, W. L.; BORGES, L. J. A. Análise postural do setor de embalagens secundárias e expedição de um frigorífico típico da indústria suinícola do Brasil. **Ação Ergonômica, Revista da Associação Brasileira de Ergonomia**, v. 10, n. 1, p. 89-98, 2015. Disponível em: <http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/468> Acesso em: 10 mar. 2019.

FAORO, M. W.; OLINTO, M. T. A.; PANIZ, V. M. V.; MACAGNAN, J.; HENN, R. L.; GARCEZ, A.; PATTUSSI, M. P. Dor musculoesquelética relacionada ao trabalho e sua associação com transtornos mentais comuns em trabalhadores de um frigorífico do Sul do Brasil. **Rev. Bras. Med. Trab.**, v. 16, n. 2, p. 136-144, 2018.

FAVERIN, V. Frigoríficos registram média de 54 acidentes por dia. **Notícias**, 6 maio 2019. Disponível em: <https://revistacipa.com.br/frigorificos-registram-media-de-54-acidentes-por-dia/>. Acesso em: 22 out. 2019.

FERREIRA, L. P.; AKUTSU, C. M.; LUCIANO, P.; VIVIANO, N. A. G. Condições de produção vocal de teleoperadores: correlação entre questões de saúde, hábitos e sintomas vocais. **Rev. Soc. Bras. Fonoaudiol.**, v. 13, n. 4, p. 307-315, 2008.

FUNDACIÓN MAPFRE. **Manual de ergonomía**. Madrid, Spain: Fundación Mapfre, 1995.

GOLDBERG, D. A bio-social model for common mental disorders. **Acta Psychiatrica Scandinavica**, v. 90, n. s385, p. 66-70, 1994. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0447.1994.tb05916.x> Acesso em: 20 mar. 2019.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. Trad. João Pedro Stein. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

GUÉLAUD, F.; ROUSTANG, G.; BEAUCHESSNE, M. N.; GAUTRAT, J. **Pour une analyse des conditions du travail ouvrier dans l'entreprise**. Lest methode. Laboratoire d'Économie et de sociologie de travail. Provence, France: Librairie Armand Colin, 1975. Disponível em: <http://www.santecom.qc.ca/Bibliothequevirtuelle/santecom/35567000076312.pdf> Acesso em: 15 ago 2018.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia: projeto e produção**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016.

ILO – INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Safety in numbers: pointers for the global safety at work**. Geneva: International Labour Organization, 2003.

ILO – INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. **Workplace stress: a collective challenge** Internet. Geneva: International Labour Organization, 2016.

JAKOBI, H. R.; BRANCO, A. B.; BUENO, L. F.; FERREIRA, R. G. M.; CAMARGO, L. M. A. Benefícios auxílio-doença concedidos aos trabalhadores empregados no ramo de carne e pescado no Brasil em 2008. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 194-207, 2015.

MARRA, G. C.; COHEN, S. C.; AZEVEDO, N. F. P. B.; TAO, C. Avaliação dos riscos ambientais na sala de abate de um matadouro de bovinos. **Rev. Saúde Debate**, v. 41, n. especial, p. 175-187, 2017.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia**: trabalho adequado e eficiente. Rio de Janeiro: Elsevier Ltda, 2011.

MATOS, S. S. **Riscos psicossociais em trabalhadores na Arábia Saudita**. 2014. Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho) – Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2014. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.26/8202_ Acesso em: 20 mar. 2019.

MENESES, J. S. R.; PAULINO, N. J. A. Efeito do ruído no organismo. In: SALIBA, T. M. (Org.). **Manual prático de avaliação e controle do ruído**. 9. ed. São Paulo: LTr, 2016. p. 143-195.

OLIVEIRA, A. C., XAVIER, A. A. P., MICHALOSKI, A. O., OLIVEIRA, K. A.; STRADIOTO, J. P. A contribuição da avaliação ergonômica em um processo de inovação tecnológica de ambientes de trabalho de desossa de carne. **Revista Produção Industrial & Serviços**, v. 6, n. 2, p. 82-89, 2019.

PADOVANI, A. **Segurança do trabalho em indústrias alimentícias**: uma abordagem geral. 2008. 27p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2459151-Seguranca-do-trabalho-em-industrias%20-alimenticias-uma-abordagem-geral.html>_ Acesso em 18 mar. 2019.

PAIS, A. M. G. **Condições de iluminação em ambiente de escritório**: influência no conforto visual. 2011. Dissertação (Mestrado em Ergonomia na Segurança no Trabalho) – Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/3048/1/Microsoft%20Word%20-%20Tese%20de%20EFINITIVA2.pdf>_ Acesso em: 13 abr. 2019.

RIBEIRO, M. O. **Contributos da NR 36 para melhorias das condições de trabalho no frigorífico**: o caso do processamento de carne suína. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186600>. Acesso em: 22 out. 2019.

SALIBA, T. M. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. 4. ed. São Paulo: LTr, 2011.

SANCHÉZ, M. G. O.; REYES, D. I. El Método LEST, Su aplicación y evaluación en las prácticas ergonómicas. **European Scientific Journal**, v. 12, n. 35, p. 34-49, 2016. Disponível em: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/8504/8203> Acesso em 20 abr. 2019.

SANTANA N. I., RODRIGUES G. R. S. Acidentes do trabalho em frigoríficos. **Científico**, v. 14, n. 29, p. 75-96, 2014. Disponível em: <https://cientefico.emnuvens.com.br/cientefico/article/view/6/0> Acesso em: 18 ago 2019.

SARDA, S.; RUIZ, R. C.; KIRTSCHIG, G. Tutela jurídica da saúde dos empregados de frigoríficos: considerações dos serviços públicos. **Acta Fisiátrica**, v. 16, n. 2, p. 59-65, 2009.

SHIDA, G. J.; BENTO, P. E. G. Métodos e ferramentas ergonômicas que auxiliam na análise de situações de trabalho. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, VIII.

Rio de Janeiro, 2012. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012. p. 1-13. Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T12_0496_3097.pdf Acesso em: 20 mar 2019.

SUNDSTRUP, E.; JAKOBSEN, M. D.; JAY, K.; BRANDT, M.; ANDERSEN, L.L. High intensity physical exercise and pain in the neck and upper limb among slaughterhouse workers: cross-sectional study. **Biomed Research International**, Cairo, p. 1-5, 2014.

TAKEDA, F. **Configuração ergonômica do trabalho em produção contínua: o caso de ambiente de cortes em abatedouro de frangos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, 2010.

TAKEDA, F.; XAVIER, A. A. P.; OLIVEIRA, C. C.; KUNH, P. D. Avaliação biomecânica dos trabalhadores de linha contínua de cortes de frangos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXX. **Anais...** São Carlos, SP, 12-15 out. 2010. p. 1-12. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_127_817_14747.pdf Acesso em: 15 fev. 2019.

TAVARES, J. C. **Tópicos de administração aplicada à segurança do trabalho**. 5. ed. São Paulo: Editora Senac, 2006.

TAVOLARO, P.; PEREIRA, I. M. T. B.; PELICIONI, M. C. F.; OLIVEIRA, C. A. F. *Empowerment* como forma de prevenção de problemas de saúde em trabalhadores de abatedouros. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 307-312, 2007.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Livestock and poultry**: world markets and trade. Washington: USDA; FAS, 2020. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 25 out. 2020.

VIEIRA, J. L. R. **Análise de atendimentos de emergência a trabalhadores rurais num hospital de Nova Friburgo – RJ**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/2289>. Acesso em: 18 out. 2019.

WHO – World Health Organization. **Health impact of psychosocial hazards at work**: an overview. Geneva: World Health Organization, 2010.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE METAIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ILHÉUS E ITABUNA, NO SUL DA BAHIA

ORLEANE SOUZA DE BRITO
LÍVIA OLIVEIRA CORREIA
FRANCISCO HERIBERTO MARTINEZ LUZARDO
FERMIN GARCIA VELASCO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações de metais e a eficiência de sua remoção em duas Estações de Tratamento de Água (ETA) localizadas nas cidades de Ilhéus e Itabuna (Bahia, Brasil). Foram realizadas coletas de amostras de água nas Estações para cada etapa do tratamento. Foi utilizada a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia (FRXED) e o sistema de análise de água Spectroquant com Kits da Merck para determinar as concentrações dos seguintes elementos na água: Fe, Ni, Mn, Zn, Cu, Co e Pb. Foram encontradas concentrações acima dos limites máximos permitidos na água tratada para Fe, Mn e, principalmente, Al. O índice de eficiência da remoção de metais mostrou valores variáveis entre as ETA estudadas durante o período de tempo trabalhado. Os resultados sugerem a existência de problemas no controle de qualidade dos processos de tratamento da água que podem ser a causa de valores negativos obtidos na eficiência de remoção de metais, especialmente de Al residual, metal que é adicionado à água na etapa de floculação. Os resultados sugerem aprimorar os processos das ETA estudadas.

Palavras-chave: Metais tóxicos, Qualidade da água, Estação de Tratamento de Água.



ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the concentrations of metals and the efficiency of their removal in two Water Treatment Plants (ETA) located in the cities of Ilhéus and Itabuna (Bahia, Brazil). Collections of water samples were made at the stations for each stage of treatment. The Energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometry and the Spectroquant water analysis system with Merck Kits were used to determine the concentrations of the following elements in the water: Fe, Ni, Mn, Zn, Cu, Co and Pb. Concentrations above the maximum permitted limits were found in the treated water for Fe, Mn and, mainly, Al. The metal removal efficiency index showed variable values among the ETA studied during the period of time worked. The results suggest the existence of problems in the quality control of water treatment processes that may be the cause of negative values obtained in the efficiency of removing metals, especially residual Al, a metal that is added to the water in the flocculation stage. The results suggest improving the processes of the studied ETA.

Keywords: Toxic metals, Water quality, Water treatment plant.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água potável tornou-se um problema muito importante e difundido em todo o mundo devido à rápida urbanização e industrialização. A poluição de corpos d'água é um problema que, a cada dia, aumenta sua importância por conta de seus impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Os principais contaminantes ambientais são oriundos de atividades antrópicas, como: indústria, agricultura e mineração. Dentre os contaminantes, encontram-se os metais tóxicos. Vários autores reportam resultados sobre a presença de metais em águas em concentrações acima dos níveis permitidos pela legislação brasileira, tanto em águas superficiais quanto em águas tratadas em estações de tratamento de água (ALMEIDA *et al.*, 2013; ROCHA; AZEVEDO, 2015; SOUZA; CORDEIRO, 2005).

Várias são as formas pelas quais os metais tóxicos atingem os corpos d'água. A maioria dos elementos químicos que atingem os rios é oriunda da lixiviação dos solos; A água da chuva arrasta o material particulado para os rios; ou por meio de processos bioquímicos e sob a influência do pH, podem ocorrer transformações químicas que mudam a composição e a concentração destes metais nas águas. Santos, Souza e Santos (2013) reportam altas concentrações de metais, como Zn, Pb e Cu, na fração residual dos sedimentos superficiais em águas do rio Cachoeira, na região sul de Bahia. Os autores ainda apontam que suas fontes de origem são provavelmente oriundas de atividades industriais e urbanas.

Altas concentrações de metais e outros elementos na água demandam sistemas de tratamento mais eficientes para oferecer água potável com a qualidade necessária a fim de garantir segurança para o consumo humano. Geralmente, uma estação de tratamento de água convencional é projetada para retirar matéria orgânica, carbono, nitrogênio, fósforo etc. O tratamento convencional da água inclui diversas etapas para que seja possível adequar a água captada nos mananciais aos padrões de potabilidade, os quais são exigidos por órgãos de saúde e agências reguladoras nos diferentes países do mundo (WHO, 2004; PINTO, 2006). No tratamento convencional, é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante na segunda etapa do processo (ROBERTS *et al.*, 2018; DAHHOUA *et al.*, 2017). No Brasil, os parâmetros vigentes de qualidade da água para consumo humano foram estabelecidos pela *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Para o adequado fornecimento de água potável, é importante observar a qualidade e a quantidade de água natural disponível em cada região. Nesse

sentido, o órgão brasileiro competente tem estabelecido um conjunto de normas e regulações de utilidade. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na *Resolução 357/2005* (BRASIL, 2005), alterada pelas resoluções CONAMA: 393/2007 (BRASIL, 2007), 397/2008 (BRASIL, 2008), 410/2009 (BRASIL, 2009) e 430/2011 (BRASIL, 2011), estabeleceu uma classificação dos diferentes tipos de corpos d'água e os padrões de lançamento de efluentes. No documento, são definidos os valores máximos permitidos para metais em águas naturais, que são passíveis de tratamento para consumo humano. Entretanto, alguns autores apontam que as concentrações de metais em muitos rios não atendem à resolução (GIODA; GOMES; SERAFIM, 2000; HENNINGA *et al.*, 2014).

Os rios Cachoeira e Almada, nos municípios de Ilhéus e Itabuna (Bahia, Brasil), foram reportados na literatura (GIODA; GOMES; SERAFIM, 2000) com concentrações de metais acima dos limites estabelecidos pela *Resolução 357/2005* do CONAMA (BRASIL, 2005). Esses rios são as principais fontes de abastecimento de água desses municípios. Por conta disso, as concentrações de metais tóxicos na água podem apresentar risco à população. Para a minimização dos riscos, é necessário que o sistema de tratamento de água seja eficiente e consiga reduzir as concentrações de elementos químicos tóxicos ou potencialmente tóxicos na água até os níveis permitidos. As estações de tratamento de água de Ilhéus e Itabuna são convencionais e realizam análises diárias dos parâmetros básicos de qualidade, como: pH, turbidez, alcalinidade, cor, dureza, cálcio, magnésio, cloro e parâmetros microbiológicos. A determinação das concentrações de metais tóxicos e/ou potencialmente tóxicos na água distribuída à população é realizada a cada semestre por um laboratório credenciado.

O quadro de insegurança na saúde da população, relacionado à qualidade da água distribuída pelas estações de tratamento de Ilhéus e Itabuna, pode ser ainda maior devido às alterações nos regimes de chuva e estiagem que vêm acontecendo nos últimos anos. A circulação e a distribuição dos elementos químicos nos corpos d'água geralmente são bem definidas, entretanto, sua dinâmica é influenciada pelas variações climáticas. As sucessões de estações chuvosas e secas correspondem, para as águas dos rios, à alternância de diluição e concentração das espécies químicas (SANTOS; SOUZA; SANTOS, 2013). Por isso, com a redução das chuvas na região, as concentrações de metais nas águas dos rios Almada e Cachoeira poderiam estar aumentando nos últimos anos.

Até o momento, não foram encontradas publicações científicas que reportassem sobre a qualidade da água distribuída à população de Ilhéus e Itabuna e sobre a eficiência dos processos das estações de tratamento de água (ETA).

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi determinar as concentrações de metais tóxicos e potencialmente tóxicos e a estimativa da eficiência da remoção destes nas águas tratadas pelas ETA nos municípios de Itabuna e Ilhéus, ambos localizados na Bahia. Para isso, foram analisadas as águas tratadas nas principais etapas do sistema de tratamento, tomando como base os padrões estabelecidos na *Portaria 2.914/2011*, do Ministério de Saúde do Brasil (BRASIL, 2011).

2 METODOLOGIA

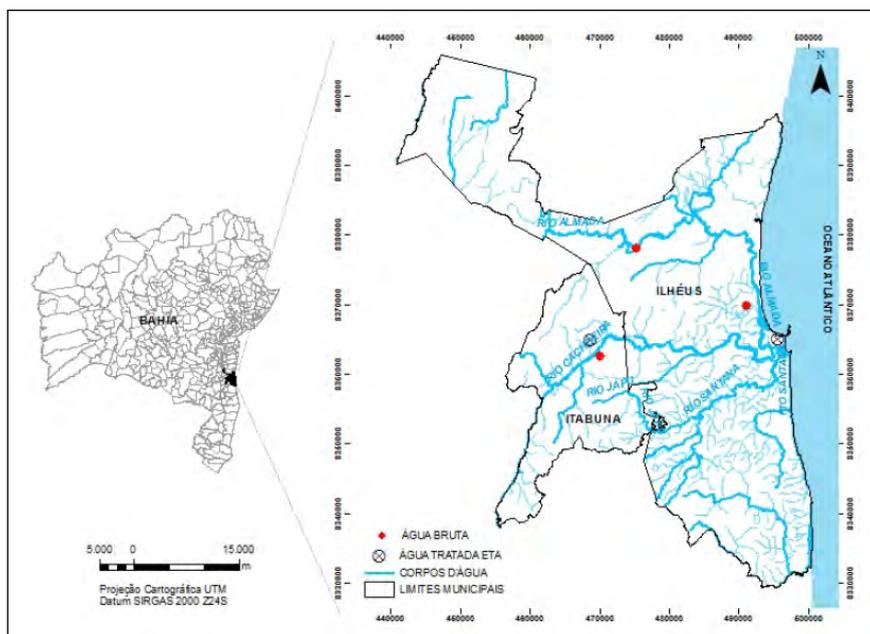
O estudo foi realizado nos municípios de Itabuna e Ilhéus, localizados na região sul do estado da Bahia. Esses municípios são consideradas macropolos regionais, exercendo influência sobre vários outros municípios da região. Foi selecionada uma estação de tratamento de água (ETA) com maior representatividade em cada um desses municípios. No município de Itabuna (BA), foi selecionada uma ETA da Empresa Municipal de Saneamento Ambiental S. A. (EMASA), responsável pelo saneamento básico em toda a cidade. No município de Ilhéus (BA), uma ETA da Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA), responsável pelo saneamento básico em Ilhéus.

A ETA escolhida da EMASA em Itabuna conta com dois pontos de captação de água bruta, sendo um no Rio do Braço (P01), distante 24 km da estação de tratamento, e outro no Rio Cachoeira (P02), que está situado a 13 km da estação. Os pontos de tomadas de amostras foram os mesmos onde as estações frequentemente realizam coletas para acompanhar a qualidade da água em todas as etapas do tratamento, inclusive da água bruta. Os pontos de amostragem da EMASA foram: na captação de água bruta do Rio do Braço, localizado na Rodovia Uruçuca–Ilhéus, BA 001, próximo ao distrito de Rio do Braço (Ilhéus-BA), este ponto de captação abastece uma grande parte dos bairros do município de Itabuna; o outro ponto de água bruta foi na rua da EMASA, no bairro Nova Ferradas (Itabuna-BA), que corresponde a 20% do abastecimento do município. Os demais pontos de amostragem foram na Estação de Água principal da empresa, localizada na BR 101, no km 506, no município de Itabuna-BA.

A ETA da EMBASA foi selecionada por sua importância para o abastecimento de água para o município de Ilhéus (BA). Esta estação possui vazão de $147 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e abastece a maior parte da população da cidade. Os pontos de coleta da estação foram na captação de água bruta no Rio Iguape, localizada no bairro Iguape, em Ilhéus; e os demais foram na ETA, localizada no centro do município.

As coletas de amostras de água da EMASA e da EMBASA foram realizadas entre os meses de agosto e dezembro de 2013, totalizando sete amostragens para cada estação. Todos os pontos foram georreferenciados utilizando GPS. Os pontos de coleta e as coordenadas em UTM estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água nos municípios de Ilhéus e Itabuna (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da Pesquisa.

As coletas das amostras de água foram realizadas conforme recomendação pelo Guia nacional de coleta e preservação de amostras, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB e Agência Nacional de Águas - ANA (CETESB, 2011), considerando o volume necessário para análise, a preservação de amostra e o prazo para a realização da análise de cada elemento. As amostras de água foram coletadas utilizando recipientes plásticos de 1 litro, transferidas com auxílio de funil plástico para garrafas de policloreto de vinilo com tampa e volume de 1,5 L, os quais foram previamente lavados e tratados com solução de **ácido nítrico 10 % (v/v)** durante 48 h. Nos pontos de coleta de água bruta, coletou-se aproximadamente 1,5 L de água a 2 m da margem e 0,5 m da superfície. As coletas nas estações de tratamento foram realizadas a uma profundidade aproximada de 30 cm e a 1,0 m de distância das bordas. Após

as coletas, as amostras foram filtradas utilizando papel de filtro quantitativo e acidificadas com 1 mL de ácido nítrico concentrado, resultando em uma concentração de 0,1 % de ácido nítrico. Foram mantidas sob refrigeração até o momento da análise.

As concentrações de metais nas amostras de água foram determinadas utilizando duas técnicas analíticas. Inicialmente, foi aplicada a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia (FRXED), utilizando o equipamento Minipal 4 da PanAnalytical, para realizar uma avaliação panorâmica das concentrações de todos os metais com maiores probabilidades de serem encontrados nos corpos de água bruta da região (Fe, Ni, Mn, Zn, Cu, Co e Pb). O objetivo desta primeira avaliação foi determinar os metais que estariam em concentrações mais elevadas.

Na segunda etapa, foi utilizada a técnica de Espectrofotometria de Absorção com o equipamento Spectroquant da Merck com Kits analíticos a fim de determinar as concentrações dos metais selecionados como mais importantes para o estudo. Foi determinado o alumínio nesta etapa, considerando seu estudo importante, visto que esse elemento é componente do sulfato de alumínio, um dos reagentes utilizados na etapa de floculação estação de tratamento.

As amostras de água foram filtradas utilizando papel de filtro quantitativo. Posteriormente, com o uso de uma pipeta volumétrica, foram coletados o volume de 10 mL de cada amostra e colocados em um recipiente específico para as análises por FRXED. Foram estabelecidas curvas de calibração elementares no laboratório de pesquisas ambientais do **Centro de Pesquisas em Ciências e Tecnologias das Radiações (CPqCTR)** da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). As condições ambientais do laboratório foram: temperatura 20 ± 1 °C e umidade abaixo de 50%. Para obtenção das curvas analíticas, as soluções de referência foram preparadas por diluição de Soluções-padrão da Specsol, de concentrações 1000 mg L^{-1} de cada elemento (Fe, Ni, Mn, Zn, Cu, Co e Pb). Para isso, foram preparadas as soluções com concentrações máximas de 40 mg L^{-1} para Fe, Mn, Cu, Pb e Zn. Para o Ni e para o Co, a concentração máxima foi de 20 mg L^{-1} .

A Tabela 1 mostra os parâmetros de calibração usados para as análises com espectrômetro de FRXED.

Tabela 1 - Características analíticas das curvas usadas na espectrometria de fluorescência de raios-X

Metal	R ²	LD (mg L ⁻¹)	Sensibilidade (cps/mg L ⁻¹)	Faixa de análise (mg L ⁻¹)
Fe	0,9991	0,50	0,35	1,6-40
Mn	0,9991	0,36	1,6	1,2-40
Ni	0,9900	3,0	0,66	10,1-20
Cu	0,9995	0,57	0,88	1,9-40
Pb	0,9999	0,34	1,2	1,1-40
Co	0,9901	2,8	0,37	9,3-20
Zn	0,9988	0,30	1,3	1,0-40

Fonte: Dados da Pesquisa.

Legenda: R² = coeficiente de determinação; LD = limite de detecção.

Os metais analisados por FRXED, que apresentaram concentrações nas águas tratadas acima dos limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira na *Portaria 2.914/2011* (BRASIL, 2011), foram determinados pela técnica de espectrofotometria Spectroquant (Kit Merck). As condições de confiabilidade do equipamento, utilizando os kits da Merck, encontram-se apresentados na Tabela 2. Para cada metal analisado com o kit, seguiu-se o procedimento metodológico contido nas fichas técnicas de cada metal específico.

288

Tabela 2 - Características analíticas do Spectroquant com os kits da Merck

Metal	Desvio Padrão (mg L ⁻¹)	Sensibilidade (mg L ⁻¹)	Faixa de análise (mg L ⁻¹)
Fe	± 0,016	0,02	0,005-5,0
Mn	± 0,014	0,02	0,05-2,0
Al	± 0,012	0,01	0,1-1,2

Fonte: Merck, 2016.

Após a determinação dos metais nas amostras de águas, foi realizada a avaliação da eficiência de sua remoção durante as principais etapas do tratamento da água. Nesse estudo, considerou-se a eficiência como a capacidade de remoção dos metais encontrados nas águas durante o processo de cada etapa do tratamento. A avaliação de eficiência foi calculada a partir dos dados de concentração (mg L⁻¹) obtidos pelas análises com uso do espectrofotômetro Spectroquant (Kit Merck). Com base nesses dados de concentração, calculou-se a eficiência (E %) de remoção dos metais durante o tratamento, segundo a Equação 1.

$$E(\%) = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: C_i é a concentração do metal na água bruta e C_f é a concentração desse metal na água tratada. Foi calculada também a Eficiência Limite a ser atingida na água tratada de acordo com os padrões de valores máximos permitidos (VMP), utilizando a mesma equação (1). Porém, no lugar de C_f colocou-se o valor de VMP para cada metal, de acordo a Portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da primeira etapa são apresentados na Tabela 3. É possível observar que os metais com maiores valores de concentração na água bruta são Fe e Mn. As concentrações de Cu, Pb, Co, Ni e Zn tiveram valores abaixo dos limites de detecção em praticamente todas as campanhas de amostragem, não sendo possível incluí-los nas análises.

Tabela 3 - Concentrações (mg L⁻¹) dos metais em amostras de águas brutas determinadas por FRXED.

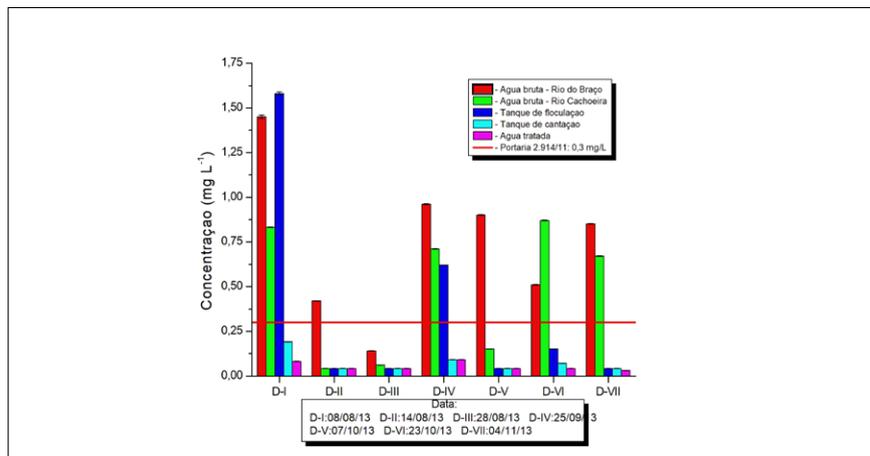
Datas das amostragens	EMASA			EMBASA		
	Fe	Mn	Zn	Fe	Mn	Zn
08 ago. 2013	1,46	1,30	<LD	<LD	<LD	<LD
14 ago. 2013	0,54	0,15	0,40	1,22	0,83	0,52
28 ago. 2013	0,89	0,61	<LD	1,15	0,90	<LD
25 set. 2013	5,00	4,21	<LD	3,25	2,60	<LD
07 out. 2013	4,74	1,54	<LD	3,05	2,49	<LD
23 out. 2013	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
04 out. 2013	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir desses resultados, a segunda etapa do estudo compreendeu a análise detalhada do comportamento das concentrações de Fe, Mn e Al nos quatro pontos ou etapas de tratamento nas duas estações de tratamento de água (ETA) estudadas. Nesse sentido, é importante destacar que a presença do ferro e manganês nas águas dos rios é muito comum no Brasil e pode ser resultante da erosão do solo e das emissões industriais (MORUZZI; REALI, 2012). O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude de seu comportamento geoquímico.

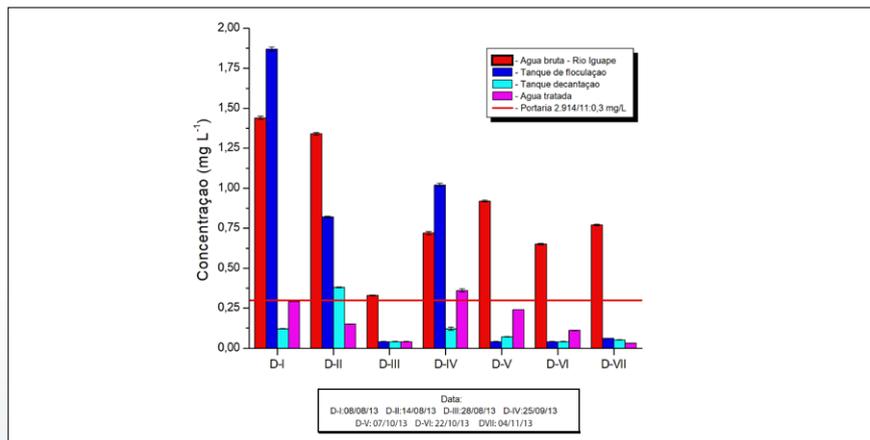
Os resultados obtidos das concentrações de Fe estão representados nas Figuras 2 e 3. Tanto para a EMASA quanto para a EMBASA, observa-se que as concentrações de ferro das amostras coletadas no ponto de água bruta (P01) apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pela *Resolução CONAMA 357/05* (BRASIL, 2005): $0,30 \text{ mg L}^{-1}$ em quase todas campanhas. É importante observar que, em uma campanha (D-I para EMBASA), foi registrada concentração de ferro na água tratada (P05) acima dos valores máximos permitidos (VMP), de acordo com a *Portaria 2.914/2011* (BRASIL, 2011).

Figura 2 - Concentração de Fe em mg L^{-1} nas amostras de água da ETA da EMASA



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 3 - Concentração de Fe em mg L^{-1} nas amostras de água da ETA da EMBASA



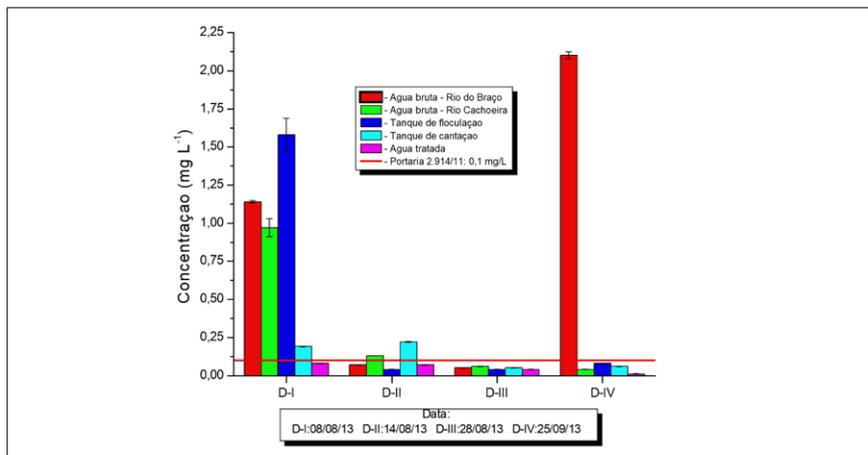
Fonte: Dados da Pesquisa.

No tratamento de águas para abastecimento, deve-se observar a influência da presença de ferro na etapa de coagulação e floculação. O agente floculante mais utilizado é $Al_2(SO_4)_3$ e, geralmente, vem acompanhado de determinada quantidade de Fe_2O_3 em concentrações de até 3%. Este valor adicional de Fe, que é cumulativo nos tanques de floculação, quando são tratadas águas brutas com altas concentrações de Fe, pode contribuir com a elevação da concentração deste metal a valores significativos na água tratada. Porém, nos resultados obtidos, evidenciou-se que, para o caso do Fe, em geral, a remoção deste metal conseguiu atingir os padrões exigidos de qualidade pela *Portaria 2.914/2011* (BRASIL, 2011), que é de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$.

A alta concentração de ferro encontrada nas águas de ambas ETA sugere que a presença de ferro nas águas brutas, tanto do rio Cachoeira quanto no rio Almada, pode também ser originada pela lixiviação de altas concentrações naturais de ferro presentes nos solos das bacias hidrográficas da região. Resultados similares são relatados por Almeida *et al.* (2013), que encontraram, nas águas tratadas nas ETA de municípios da Região Metropolitana de Recife (PE), concentrações de ferro acima do estabelecido pela *Portaria 2.914/2011* (BRASIL, 2011). Os autores concluíram que a água fornecida à população apresenta padrões organolépticos de potabilidade que não atendem à legislação e recomendam que devam ser feitos ajustes no processo de tratamento para garantir uma boa qualidade da água.

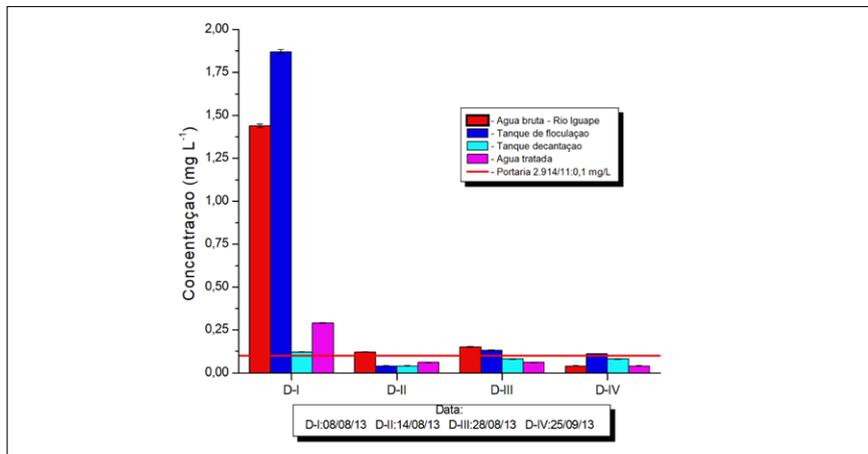
Os resultados obtidos para concentrações de Mn estão representados nas Figuras 4 e 5. Observa-se que, tanto para a EMASA quanto para a EMBASA, as concentrações de manganês nas amostras coletadas no ponto de água bruta (P01), na primeira campanha amostral (D-I), para ambas ETA, e, também na quarta campanha amostral (D-IV), para a EMASA, apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pela *Resolução CONAMA 357/05* (BRASIL, 2005), que é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Apenas na primeira campanha (D-I), para a EMBASA, foi registrada concentração de manganês na água tratada acima dos valores máximos permitidos (VMP), de acordo com a *Portaria 2.914/2011* (BRASIL, 2011), que é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Dessa forma, é possível concluir que, em termos gerais, a presença de Mn na água tratada não constitui um problema significativo e frequente nas ETA estudadas.

Figura 4 - Concentração de Mn em mg L⁻¹ encontrada nas amostras de água da ETA da EMASA



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 5 - Concentração de Mn em mg L⁻¹ encontrada nas amostras de água da ETA da EMBASA

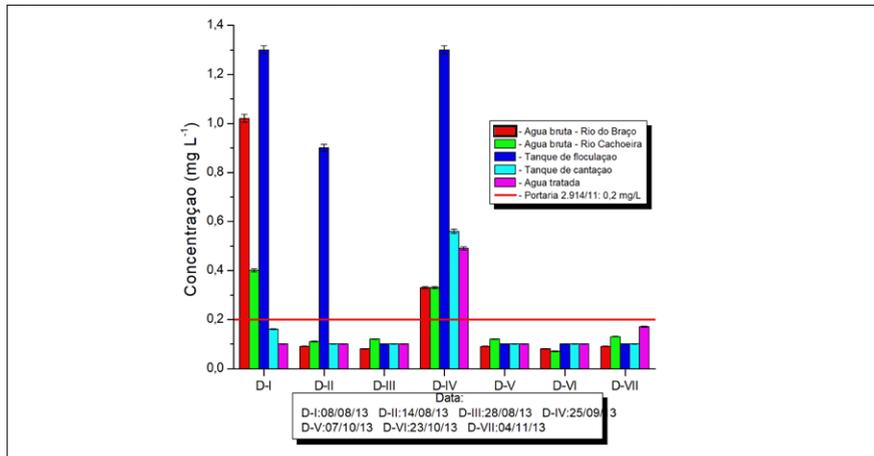


Fonte: Dados da pesquisa.

A presença de alumínio na água bruta geralmente encontra-se associada a coloides inorgânicos ou ligada a grandes moléculas orgânicas, mas em concentrações baixas. Já na água tratada, após os processos de coagulação, decantação e filtração, as concentrações de alumínio podem ultrapassar os níveis das concentrações estabelecidas pela Portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011), influenciadas pela utilização de compostos, como sulfato de alumínio, usados como coagulantes no tratamento das águas (ALMEIDA *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2014).

As concentrações de alumínio nas águas das ETA estudadas mostraram que, em duas amostragens para a estação da EMASA (Figura 6) e em uma amostragem para a EMBASA (Figura 7), as concentrações de alumínio na água bruta estão acima dos valores máximos permitidos (VMP) pela Portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Um resultado importante do presente trabalho é que encontramos problemas na remoção de alumínio em ambas ETA. As concentrações de Al na água tratada foram encontradas acima dos limites de VMP (BRASIL, 2011) em uma campanha na EMASA e em seis das sete campanhas na EMBASA. Outros autores relatam a presença de Al em concentrações acima das permitidas depois do tratamento e estudaram alternativas para a sua redução usando tratamento terciário com algas ou outros métodos (ROBERTS *et al.*, 2018; DAHHOUA *et al.*, 2017).

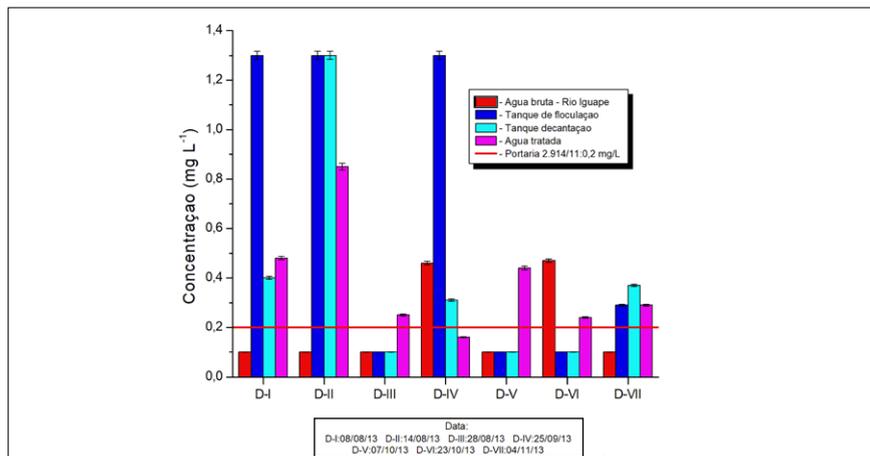
Figura 6 - Concentração de Al em mg L⁻¹ encontrada nas amostras de água da ETA da EMASA



Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados apontam que, para a maioria das amostragens, as concentrações de Al na água tratada foram mais elevadas do que na água bruta, como se observa para cinco campanhas na EMBASA e seis campanhas na EMASA. Estes resultados evidenciam que, nas ETA estudadas, permanecem problemas de controle da qualidade nos processos de tratamento, em particular na etapa de floculação que utiliza $Al_2(SO_4)_3$.

Figura 7 - Concentração de Al em mg L⁻¹ encontrada nas amostras de água da ETA da EMBASA



Fonte: Dados da pesquisa.

Durante o processo de tratamento das águas nas ETA estudadas, é adicionado o sulfato de alumínio como coagulante, que promove o aumento das concentrações dos metais Al, Fe e Mn. O mesmo foi constatado por Achon, Barroso e Cordeiro (2013), que comprovaram que aproximadamente 37% da carga total de resíduos produzidos na ETA são derivados dos produtos químicos adicionados. Parte do coagulante é transformada em um subproduto do tratamento, formando o lodo. Além dos coagulantes, a presença de carvão ativado, cal e polímeros é comum nos lodos gerados nas ETA. Logo, as características do lodo é resultado da qualidade da água bruta, dos produtos químicos utilizados em seu tratamento, além do tempo de permanência nos decantadores.

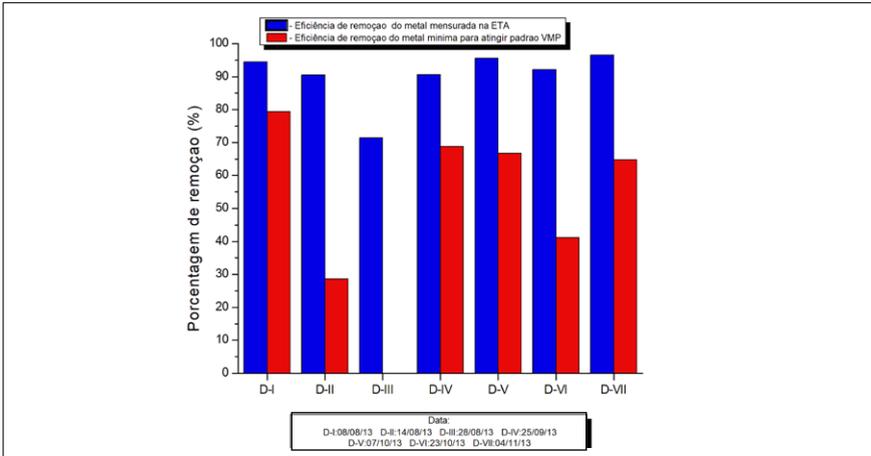
A presença de concentrações de alumínio dissolvido na água tratada é proveniente do sulfato de alumínio utilizado em excesso na etapa de coagulação, resultando em concentrações acima dos VMP. Essa concentração elevada é um fato importante, pois se relaciona com a saúde pública. O caráter tóxico do alumínio pode provocar danos à saúde do ser humano, tais como: *doenças de coordenação motora, demência, Alzheimer, mal de Parkinson, entre outras* (SRINIVASAN *et al.*, 1999; EXLEY, 2013; 2020).

Com base nos dados de concentração para cada metal encontrado na água tratada, calculou-se a eficiência do processo de tratamento nas ETA. Nas Figuras de 8 a 13, estão expostos os resultados da eficiência de remoção. No eixo x, são as datas das amostragens; e, no eixo y, a eficiência em %, calculada pela Equação 1, separadamente, por elemento químico e por estação de tratamento. O

funcionamento adequado da ETA é verificado quando a eficiência real (barra azul) é maior que a eficiência limite para atingir os VMP estabelecidos (barra vermelha). Dessa forma, quando a água bruta apresenta valores do metal abaixo do limite de VMP, a eficiência limite é zero.

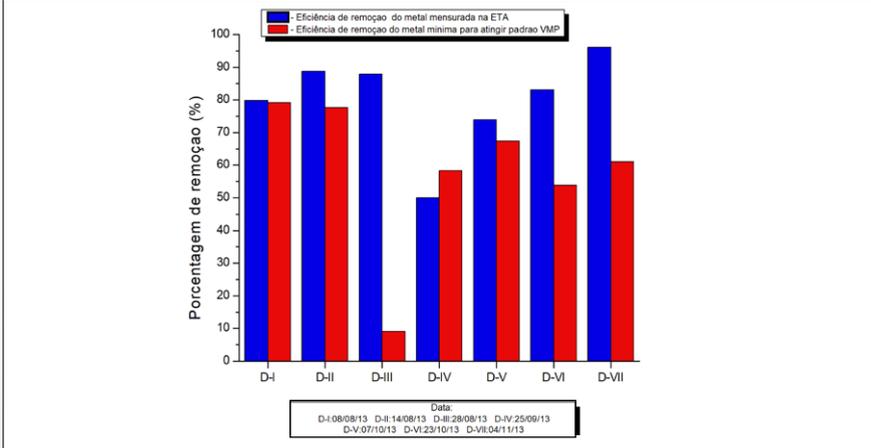
Como pode-se observar nas Figuras 8 e 9, para o caso do Fe, em geral, as ETA mostram uma eficiência adequada e acima da eficiência limite necessária para atingir os padrões exigidos de VMP. Apenas em uma campanha da EMBASA (D-IV) a eficiência da ETA não alcançou o valor mínimo necessário.

Figura 8 - Eficiência para remoção do Fe nas águas da estação EMASA - Itabuna (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da pesquisa. Dados da pesquisa.

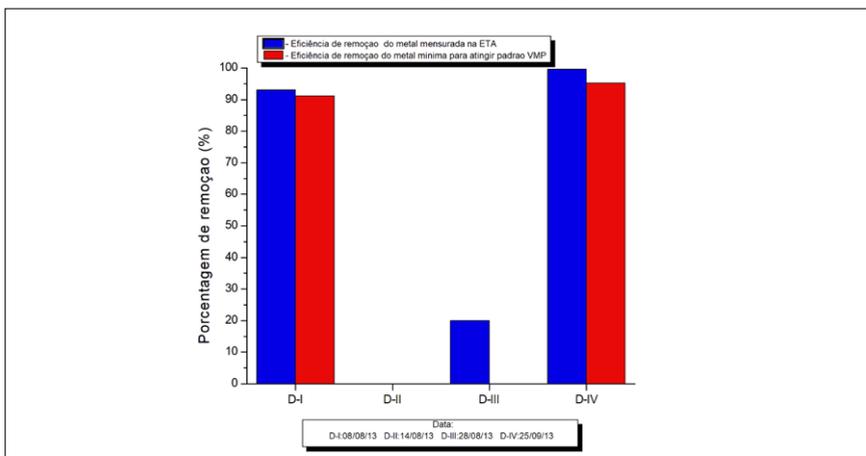
Figura 9 - Eficiência para remoção do Fe nas águas da estação EMBASA - Ilhéus (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da pesquisa.

Nas Figuras 10 e 11, observa-se que, para o caso do Mn, em geral, as ETA mostram uma eficiência adequada e acima da eficiência limite necessária para atingir os padrões exigidos de VMP. Apenas em uma campanha da EMBASA (D-I) a eficiência da ETA não alcançou o valor mínimo necessário.

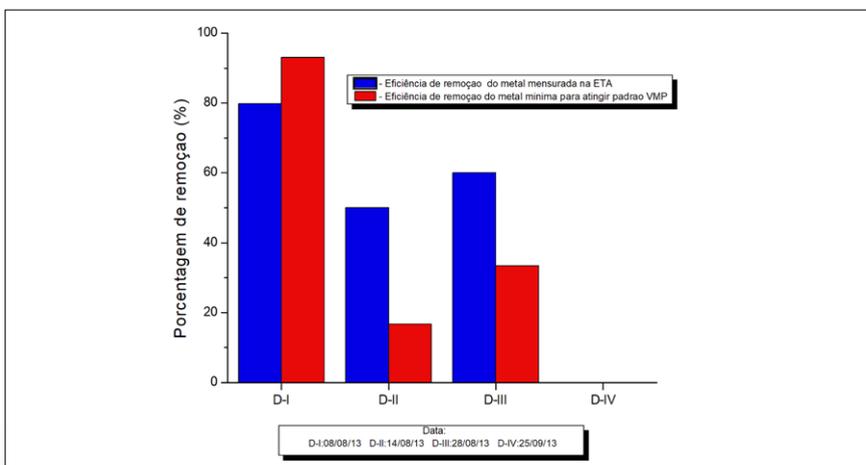
Figura 10 - Eficiência para remoção do Mn nas águas da estação EMASA - Itabuna (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da pesquisa.

296

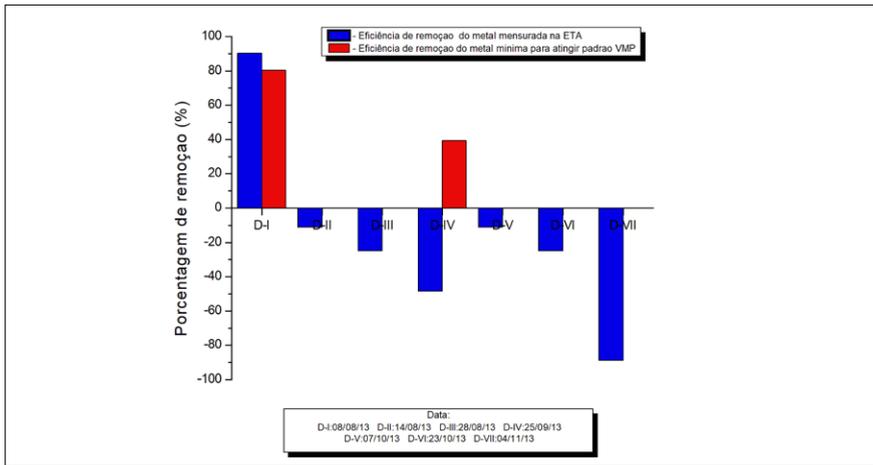
Figura 11 - Eficiência para remoção do Mn nas águas da estação EMBASA - Ihéus (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da pesquisa.

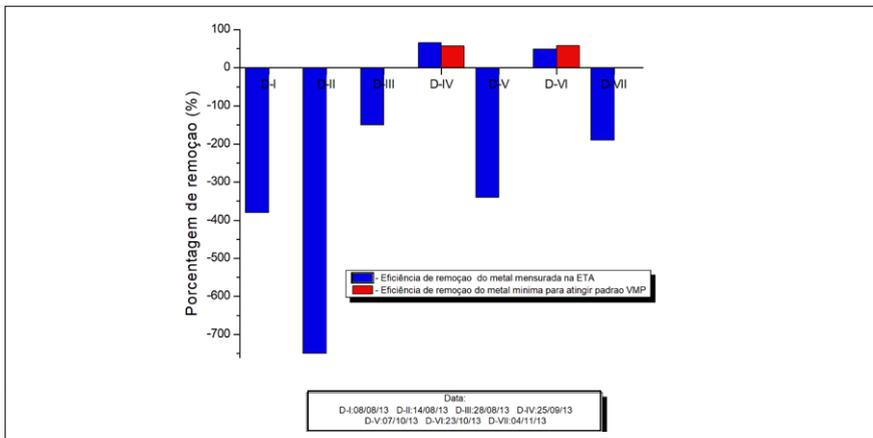
A remoção do Al (Figuras 12 e 13) apresentou uma situação qualitativamente diferente em relação à dos outros dois metais estudados (Fe e Mn). Apenas em duas campanhas, sendo uma em cada estação, verificamos que as ETA mostraram eficiência adequada para remoção de Al (D-I da EMASA e D-IV da EMBASA).

Figura 12 - Eficiência de remoção negativa de alumínio nas águas da estação EMASA - Itabuna (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 13 - Eficiência de remoção negativa de alumínio nas águas da estação EMBASA - Ilhéus (Bahia, Brasil)



Fonte: Dados da Pesquisa.

Nas Figuras 12 e 13, observa-se que as ETA apresentam eficiências reais com valores negativos, o que expressa o fato de que a água tratada apresenta concentrações de Al maiores do que na água bruta. Isso indica que a concentração de Al é incrementada à água durante a etapa de floculação e que não é removido suficientemente nas etapas posteriores, resultando em um processo ineficiente de tratamento.

O estudo da eficiência mostrou que as estações de tratamento necessitam melhorar o controle da qualidade das águas tratadas, principalmente na remoção de Al, que, com maior frequência, apresentou concentração acima dos VMP, o que coincide com o reportado por Almeida *et al.* (2013), acerca da estação de tratamento de águas da cidade de Recife (PE). Seria interessante considerar a instalação de um sistema de tratamento terciário por adsorção, que garanta a remoção de metais nas águas tratadas, inclusive considerando variáveis externas ligadas a condições climáticas, como os níveis pluviométricos.

4 CONCLUSÕES

As avaliações realizadas mostraram que, em algumas amostragens, os metais Fe e Mn não foram removidos adequadamente, mostrando valores de concentração acima dos limites da *Portaria 2.914/2011*, do Ministério de Saúde do Brasil (BRASIL, 2011).

Em ambas as estações, foi observado, em geral, que a qualidade da água tratada está comprometida fundamentalmente pela concentração de Al acima dos valores máximos permitidos, visto que há um incremento desse metal durante o processo de floculação.

Valores de Fe e Mn em excesso também foram observados em algumas amostras, o que indica a necessidade de realização de esforços na garantia da qualidade no funcionamento das estações de tratamento de água (ETA) de Itabuna e Ilhéus, localizadas na região sul da Bahia.

Foi observada uma diferença de eficiência ente as ETA no estudo, o que reforça ainda mais as evidências de problemas de controle da qualidade no tratamento das águas.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 18, n. 2, p. 115-122, abr./jun. 2013.

ALMEIDA, A. F.; SILVA, F. C. S.; SILVEIRA, P. B.; HAZIN, C. A.; VALENTIM, E. Determinação de metais em amostras de água dos diferentes estágios de tratamento em ETA da Região Metropolitana do Recife-PE, Brasil. **Scientia Plena**, v. 9, n. 8, p. 1-10, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 393 de agosto de 2007**. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 410 de maio de 2009**. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no Art. 3o da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 397, de abril de 2008**. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA n. 357, de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 430 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2011a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário oficial da União. Brasília, DF, 2011b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário oficial da União. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2005.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Organizadores: Carlos Jesus Brandão. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

DAHOUA, M.; MOUSSAOUITIA, M. E.; MORHITB, M. E.; GAMOUHC, S.; MOUSTAHSINED, S. Drinking water sludge of the Moroccan capital: statistical analysis of its environmental aspects. **Journal of Taibah University for Science**, v. 11, p. 749-758, 2017.

EXLEY, C. Human exposure to aluminum. **Environmental Sciences Process Impacts**, v. 15, n. 10, p. 1807-1816, 2013.

GIODA, A.; GOMES, F. M.; SERAFIM, H. Análise dos poluentes nos sedimentos e na água do rio Cachoeira e sua influência sobre o meio ambiente. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 29-35, 2000.

HENNINGA, E.; WALTERB, O. M. C. F.; SOUZA, N. S.; SAMOHYLB, R. W. Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 4, n. 1, p. 29-43, abr. 2012.

OLIVEIRA, L. R. **Remoção de alumínio em sistema contínuo por adsorção em coluna de leito fixo com carvão ativado**. 2014. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PINTO, V. G. **Análise comparativa de legislações relativas à qualidade da água para consumo humano na América do Sul**. 2006. 212 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2006.

ROBERTS, D. A.; SHIELS, L.; TICKLE, J.; NYS, R.; PAUL, N. A. Bioremediation of aluminium from the waste water of a conventional water treatment plant using the freshwater *macroalga oedogonium*. **Water**, v. 10, n. 5, p. 1-12 (626), 2018.

ROCHA, C. H. B.; AZEVEDO, L. P. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 4, n. 2, p. 33-44, 2015.

SANTOS, J. S.; SOUZA, F. M.; SANTOS M. L. P. Distribuição de Zn, Pb, Ni, Cu, Mn e Fe nas frações do sedimento superficial do Rio Cachoeira na Região Sul da Bahia, Brasil. **Quim. Nova**, v. 36, n. 2, p. 230-236, 2013.

SOUZA, F. G. C.; CORDEIRO, J. S. Ocorrência de metais em estações de tratamento de água. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. p. XXX-XXXX.

SRINIVASAN, R.; RUSSELL, D. P.; EDELMAN, G. E.; TONONI, G. Increased synchronization of neuromagnetic responses during conscious perception. **Journal of Neurosciences**, v. 19, n. 13, p. 5435-5448, 1999.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking - water quality**. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2004.

SOBRE AUTORES

Alina Silva de Carvalho

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Vale São Francisco (UNIVASF, 2014). Mestre em Ciências Ambientais (PPGDMA/UESC, 2019). Atualmente é doutoranda no programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (DDMA/UESC) e desenvolve pesquisa na área de Avaliação do Ciclo de Vida.

Christiana Cabicieri Profice

Graduada em psicologia pela Universidade Santa Úrsula USU/RJ é mestre em psicologia pela Université René Descartes/Paris V e mestre em desenvolvimento regional e meio ambiente pelo PRODEMA – UESC/BA. Com doutorado em psicologia pela UFRN é professora titular da Universidade Estadual de Santa Cruz onde desde 1999 atua como docente e pesquisadora. Pesquisa nas áreas interação pessoa-ambiente, sociedade-natureza, sustentabilidade, ecologia do desenvolvimento humano e educação ambiental.

301

...

Daniel de Castro Lima

Bacharel, Mestre e Doutor pela Universidade Federal da Bahia. Docente do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-BA.

Danilo Junqueira Leão

Professor Adjunto da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Campus Itapetinga. Tem doutorado (2019) e mestrado (2015) em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia, além da formação de Bacharel em Química (2012). Realiza pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novas metodologias analíticas para determinação de metais-traço em matrizes complexas. Além disso, desenvolve pesquisas na área de monitoramento ambiental, quimiometria, análise de alimentos e espectroscopia atômica e molecular.

Danilo Paulucio da Silva

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo e Mestrado e Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa na área de Recursos Hídricos, com ênfase em Conservação de Solo e Água. Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, atuando principalmente nos seguintes temas: Dimensionamento de obras hidráulicas em estradas não pavimentadas, dimensionamento e avaliação de terraços de retenção, modelagem hidrológica, geoprocessamento e desenvolvimento de tecnologia para apoio a projetos de conservação de água e solo.

Dayanne Batista Sampaio

Possui graduação em Psicologia pela Universidade Federal do Piauí, Campus de Parnaíba (2012). Tem experiência profissional na área de Psicologia. Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí-U-FPI. É professora Assistente Nível 2 da Universidade Federal do Delta do Parnaíba/UFDPar. Atualmente é Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Estadual de Santa Cruz-UESC. É membro da Academia Brejense de Artes e Letras-ABAL, desde 2006.

302

Edson José Wartha

Licenciado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998), Mestrado em Ensino de Ciências pela Universidade de São Paulo (2002) e doutorado em Ensino de Ciências pela USP (2013). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Sergipe e orientador no Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (NPGECIMA). Atualmente é Coordenador do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Sergipe.

Emanoelle Wenny Soares de Lima

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Atualmente é bolsista Iniciação Científica do CNPq.

Fabio Alan Carqueija Amorim

Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Mestre e Doutor em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Docente do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas e docente perma-

nente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-BA.

Felizardo Adenilson Rocha

Engenheiro Agrícola graduado pela Universidade Federal de Lavras. Especialização em Manejo e Gestão e Ambiental na Agroindústria pela Universidade Federal de Lavras. Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Pós-doutorado em Modelagem hidrológica pela UFLA. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica da Bahia/IFBA. Atua nos programas de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UESB e no PRODEMA/UESC.

Fermin Garcia Velasco

Graduado em Física e mestrado em Física Nuclear – pela Universidade Estatal de Moscou “Lomonosov”, Rússia (1985), e doutorado em Ciências Físicas pelo *Centro de Aplicaciones Tecnológicas e Desarrollo Nuclear*, Havana, Cuba (1995). Atualmente é Professor Pleno da Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus Bahia (UESC/ BA). Atua como docente na área de Tecnologia Ambiental desde 2001 no programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da UESC.

Fernanda Bonfim Rocha

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, pela Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC.

Filipe Leal Rangel

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UESC.

Flavia Mariani Barros

Graduada em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Espírito Santo, Mestrado, Doutorado e Pós Doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa. Atu-

almente é professora da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e atua no Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais. Tem experiência na área ambiental, com ênfase em Manejo e Conservação do Solo e Água, atuando principalmente nos seguintes seguimentos: Qualidade da água e do solo, tratamento e aproveitamento de resíduos, mobilidade de poluentes no solo, dispersão de poluentes no solo e água.

Francisco Heriberto Martínez Luzardo

Graduado em Química pela Universidade da Havana (1983) e Doutor em Ciências Técnicas (Engenharia Química) pelo Centro Nacional de Pesquisas Científicas de Cuba (1990). Atualmente, Professor Titular aposentado do DCET da UESC. Membro da Associação Americana de Química (ACS). Tem atuado em Química e Tecnologia Ambiental durante mais de 35 anos. É docente, desde 2011 do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da UESC.

Gregório Mateus Santana

Graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Campina Grande (2011), mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras (2014) e doutorado em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2018).

Guilhardes de Jesus Júnior

Graduado em Direito pela Universidade Estadual de Santa Cruz (1994), Especialização em Gestão de Instituições de Ensino Superior pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (2008), Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2001) e Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2014). Atualmente é professor titular do DCJUR-UESC.

Henrique Leonardo Maranduba

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Mestre e Doutor em Ciências Ambientais pelo PPGDMA (UESC) com Pós-Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pelo PPGECA (UESB). Atualmente professor substituto do IFBA (Jequié-BA). Desenvolve pesquisas em Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida, Ecodesign e impactos ambientais de produtos e processos relacionadas ao setor agroindustrial e pecuário.

Jhones da Silva Amorim

Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia e Ciência – FTC e em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia -UESB. Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, com linha de pesquisa em modelagem hidrológica utilizando como ferramenta o SWAT (2016). Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Possui experiência em qualidade da água em ambientes lóticos.

Joan Sanchez Matos

Mestre em Contaminação Industrial pela Universidad de Vigo, UVIGO, Espanha. Doutor em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Tem experiência na área de Ciências Ambientais, com ênfase em Ciências Ambientais, trabalhando principalmente no Ministério da Saúde, como engenheiro de prevenção de riscos laborais, assim como no setor privado na implementação de Sistemas de Gestão da Qualidade ISO 9001 e ISO 14001 de Gestão Ambiental.

José Adolfo de Almeida Neto

Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade de Campinas (UNICAMP), Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade de Karssel (Alemanha, 2006). Atualmente é professor titular do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Desenvolve pesquisa em Avaliação de Impactos Ambientais e Gestão do Ciclo de Vida.

Juliana Stracieri

Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (2010), Mestrado em Agronomia (Fitotecnia) pela Universidade Federal de Lavras (2012) e Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2015). Professora Assistente da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Kelly Félix Olegário

Engenheira Ambiental, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Atualmente, mestranda em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Membro integrante da Rede de Pesquisa em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (RAICV).

Kitiana Carvalho Pacheco

Enfermeira graduada pela UESC, é Especialista em Enfermagem em Emergência e APH. Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente - PRODEMA/UESC. Atua como enfermeira assistencial da Unidade Cardiointensiva-HCMF-Itabuna e docente do curso de Enfermagem da Unime-Itabuna/BA.

Krizia Catharine Andrade

Engenheira de Alimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUC/PR. Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Atua na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Desenvolve pesquisas nas áreas de ciências agrárias, tecnologia de alimentos e engenharia de alimentos.

306

Laís Sampaio Machado

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Atualmente trabalha como engenheira civil do Instituto Federal do Sertão Pernambucano.

Lionidio Aragão Vieira

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB (2011), pós graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (2014) e mestre em Ciências Ambientais pela UESB (2019). Atualmente é consultor ambiental na empresa Guayí Engenharia. Atua nas áreas: Segurança do Trabalho e Higiene Ocupacional e Meio Ambiente nos segmentos alimentícios e mineração.

Lívia Oliveira Correia

Licenciada em Ciências Biológicas e mestre em Genética, Biodiversidade e Conservação pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus-BA. Atualmente é professora do Estado da Bahia e atua como vice-diretora do Anexo Pátria Livre, Centro de Formação Profissional em Agroecologia e Agropecuária.

Louise Santos Fernandes de Jesus

Graduada em Medicina Veterinária pela UESC, Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela UESC. Já atuou como técnica veterinária na Universidade de Vigilância de Zoonoses do município de Ilhéus. Atualmente, atua como docente do curso de Medicina Veterinária da UniFTC, unidade Itabuna. Interessa-se por Tecnologia e qualidade de alimentos e Saúde Pública.

Lucas Farias de Sousa

Engenheiro Ambiental graduado pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Educamais e Geotecnologias pela Escola de Engenharia de Agrimensura. Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Atualmente Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente na Universidade Estadual de Santa Cruz. Possui experiência em modelagem ambiental em bacias hidrográficas, diagnósticos e planos técnicos ambientais.

Maria Paula Queiroz Barbosa

Graduada em Direito pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2015), estudou na Universidade de Coimbra por meio de intercâmbio estudantil onde realizou estudo comparado sobre economia solidária (2012-2013). Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2019).

Marina Santos de Jesus

Bacharel em Química e Mestre em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), com dissertação intitulada: Estudo de condições de geração de vapor químico de Se para a determinação de Selênio total em moluscos bivalves por HG – MIP OES.

Mônica de Moura Pires

Pós-Doutora pelo Colégio Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México. Pós-Doutora em Economia Urbana e Regional pela Universidade de Oviedo, Espanha. Doutora e Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Graduada em Administração pela Universidade do Estado da Bahia (UESB). Professora Plena do Departamento de Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Monick Midlej do Espírito Santo

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente; Mestre em Economia Regional e Políticas Públicas; e Graduada em Ciências Econômicas; - pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), em Ilhéus, Bahia.

Natália Andrade Silvão

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), mestre em Ciências Ambientais pelo programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da UESB e pós graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho iniciado em 2014 pela UNIGRAD PÓS-GRADUAÇÃO.

308

Nícolas Mateus Cosme Oliveira Campos

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz. Atualmente é mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC.

Olandia Ferreira Lopes

Engenheira Ambiental graduada pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC/Itabuna-BA). Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC/Itabuna-BA). Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Atualmente é Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFBA/Campus Jequié) e atua na área de meio ambiente e segurança do trabalho.

Orleane Souza de Brito

Bacharel em Engenharia Ambiental pela FTC (Itabuna-BA) e mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa

Cruz (2014) Ilhéus-BA. É professora EBTT no IFBA campus Vitória da Conquista desde outubro de 2014. Atualmente é coordenadora do curso Engenharia Ambiental.

Patrícia Carla Barbosa Pimentel

Graduação em Ciências Biológicas, Especialização em Gerenciamento Ambiental, Mestrado e Doutor do em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Desenvolve pesquisas na área de Educação, Resíduos Sólidos, Saúde Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Docente da Rede Estadual de Educação do Estado da Bahia, Formadora do Instituto Anísio Teixeira e colaboradora do PPG Planejamento Ambiental, da UCSal.

Paulo César Bahia de Aguiar

Graduado em Geografia; - pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Especialista em Agroecologia Aplicada a Agricultura Familiar-Residência Agrária. Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Atualmente é Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Pollyanna Alves Dias Costa

Enfermeira Sanitarista. Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente e doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UESC/Rede PRO-DEMA. Professora adjunta do Departamento de Ciências da Saúde da Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, onde também coordena o laboratório de Vigilância à Saúde do NEPEMENF.

Raildo Mota de Jesus

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia. Doutor em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia. Professor Pleno da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Coordenador do Colegiado do Programa de Pós-graduação em Química (2013-2015 e 2015-2017) e Coordenador dos Colegiados dos Programas de Pós-graduação (Mestrado e Doutorado) em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2017-2018, 2019-2020.

Romari Alejandra Martínez Montaña

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidad Simón Bolívar (1995, Caracas, Venezuela), especialização em Biología da Conservação pelo Chicago Training Consortium (1996, EUA) e Doutorado em Ciências pela Universidad de Buenos Aires (2003, Argentina). Realizou estágio pós-doutoral na New York University (2012-2014, EUA). Atualmente é professora plena do DFCH da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

Ronaldo Lima Gomes

Geólogo graduado pela Universidade Federal da Bahia; mestrado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo; doutorado em Geotecnia pela Universidade de São Paulo; Pós-Doutorado em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa-MG. Atualmente é Professor Titular da Universidade Estadual de Santa Cruz. Tem experiência nas áreas de Geologia de Engenharia, Meio Ambiente e Geotécnica. Atualmente desenvolve projetos nas áreas de Meio Ambiente, Risco Geológico a Escorregamentos e Inundações, Caracterização Tecnológica de Materiais Rochosos e Caracterização geotécnica de Maciços Rochosos.

310

Sofia Campiolo

Possui mestrado e doutorado em Ciências Biológicas (Zoologia) pela UNESP. É professora plena da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia. Tem experiência nos temas: espécies ameaçadas, políticas de conservação, Mata Atlântica, biodiversidade. Atualmente, atua nas interfaces entre ações de conservação da biodiversidade e o contexto socio ambiental.

Sônia Martins Teodoro

Zootecnista (UFRRJ, 1990). Mestre em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, (UNESP – Botucatu, 1998); Doutora em Agronomia, área de concentração em Energia na Agricultura, (UNESP – Botucatu, 2001); Postdoc Ambiente (Universidade de Évora, 2010); Postdoc Ambiente (UFV, 2012). Professora Plena da UESB, Campus de Itapetinga, DCEN; Coordena o Centro de Estudos Bioclimáticos – CEBIO desde 2004; e a Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UESB desde 2013; foi vice coordenadora do Programa em Ciências Ambientais - PPGCA (2014-2016), onde é docente permanente e orientadora desde 2010.

Thainá Reis Cruz

Graduada em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Guanambi. Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Atualmente é doutoranda em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela UESC.

Thátyla da Cruz Santos

Bacharelado em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-BA.

Tiago Meira Lima

Engenheiro ambiental (CREA-BA 82090), graduado pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB (2012), pós graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho (2014) e mestre em Ciências Ambientais (2017). Diretor da Guayí Engenharia, atuando em processos de Licenciamento Ambiental e Gestão de Segurança Ocupacional.

Valeria Melo Ferraz

Mestra em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), em Ilhéus, Bahia. Graduada em Administração pela Universidade do Estado da Bahia (UESB). Professora do Instituto Federal da Bahia (IFBA).

Wesley Duarte da Rocha

Bacharel em Ciência Biológicas pela Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP-MG, Mestrado em Zoologia pela Universidade Estadual de Santa Cruz/UESC-BA e Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre - ECMVS pela Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG-MG. Realizou estágio Pós Doutoral no Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PPGDMA-UESC, Ilhéus, Bahia, Brasil.

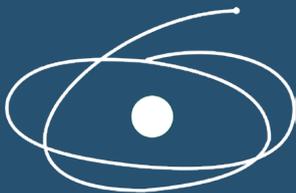
O sul da Bahia promove...



**... as possibilidades desses encontros e demonstram um infinito, seja na sua diversidade ani-
mica ou cultural...**



tudo é possibilidade, interação e integração. O cuidado com um, é a manutenção do outro.



C A P E S



PRODEMA

ISBN 978-658859323-3



9

786588

593233