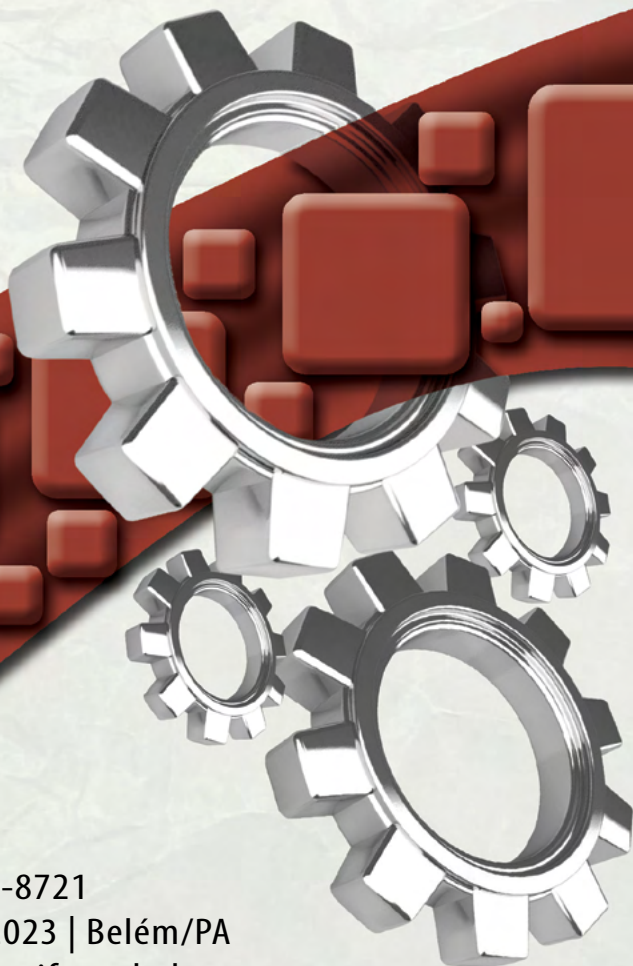




INSTITUTO FEDERAL
Pará

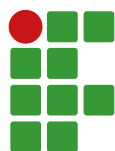
REVISTA DO INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ - CAMPUS BELÉM

Engrenagem



ISSN 2965-8721

Nº 26 | Novembro/2023 | Belém/PA
revistaengrenagem.ifpa.edu.br



INSTITUTO FEDERAL
Pará

Engrenagem

Revista do Instituto Federal do Pará (IFPA)
Campus Belém

ISSN 2965-8721

Nº 26 | Novembro/2023 | Belém/PA

Instituto Federal do Pará (IFPA)

REITORA

Ana Paula Palheta Santana

Diretor-Geral do Instituto Federal do Pará Campus Belém

Hélio Antônio Lameira de Almeida

CONSELHO EDITORIAL

Benedito Coutinho Neto - Editor Chefe

Claudio Cezar Cunha de Vasconcelos Chaves

Mary Lucy Mendes Guimarães

Neila Waldomira do Socorro Sousa Cabral

Roberto Vilhena do Espírito Santo

EXPEDIENTE

Supervisão: Mary Lucy Mendes Guimarães

Normalização: Mara Georgete de Campos Raiol

Revisão de Texto: Camila Maiara Costa Oliveira Prado e Valcir O. Cardel

Projeto gráfico: Carlos Alberto Alexandre Dantas

Diagramação: Assessoria de comunicação do Instituto Federal do Pará (ASCOM/IFPA) -
Caio Cesar Figueiredo de Sousa

Projeto de capa: Benedito Coutinho Neto, Rubens Pinheiro e Caio Cesar Figueiredo de Sousa
(ASCOM/IFPA)

Ilustração da capa: Walder Lobo e Eduardo Rodrigues

Projeto do Site: Assessoria de comunicação do Instituto Federal do Pará (ASCOM/IFPA) -
João Augusto Tavares Rodrigues, Hericley Serejo Santos e Caio Cesar Figueiredo de Sousa

Publicação e adequação on-line: Assessoria de comunicação do Instituto Federal do Pará (ASCOM/IFPA) - João Augusto Tavares Rodrigues, Hericley Serejo Santos e Caio Cesar Figueiredo de Sousa

AUTOR CORPORATIVO

Editora do Instituto Federal do Pará (EdIFPA)

Endereço: Av. João Paulo II, 514

Bairro: Castanheira – CEP 66.645-240 - Belém/PA

E-mail: editora.ifpa@ifpa.edu.br

A Revista Engrenagem é uma publicação **semestral** do Instituto Federal do Pará (IFPA), promovida pelo Campus Belém, editada pela EdIFPA em parceria com a Assessoria de Comunicação Social da Reitoria do IFPA (ASCOM/IFPA), com foco no incentivo a produção científica local e externa, bem como ao favorecimento dos debates e partilhamento de ideias. Possui acesso livre e gratuito, com publicações exclusivamente em **língua portuguesa**.

Engrenagem: Revista do Instituto Federal do Pará (IFPA)

Ano XIII - Nº 26 Belém/PA

Novembro/2023

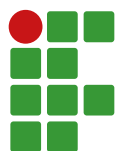
136 páginas.

ISSN 2965-8721

1. Multidisciplinar. 2. Educação. 3. Pesquisa. 4. Periódico. 5. IFPA.

CDD:050





INSTITUTO FEDERAL
Pará

COMITÊ CIENTÍFICO EXTERNO

Adalberto Leandro Faxina – EESC/USP

Adriana Guimarães Costa Saboia – IFCE

Alberto Carlos de Melo Lima – UEPA

Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro – UFAM

André Augusto Azevedo M. Duarte – UFPA

Antônio Sergio Silva de Carvalho – UEPA

Cellina Rodrigues Muniz – UFRN

Fernando Manuel Brandão Alves – FEUP/Portugal

Francisco Ari de Andrade - UFC

Hito Braga de Moraes - UFPA

Lindemberg Lima Fernandes - UFPA

Maisa Sales Gama Tobias - UFPA

Marco Aurélio Arbage Lobo - Unama

Marcos Vinicius Seráfico de A. Carvalho - UFPA

Natascha Wosnick - UFPR

Regina A. C. Sampaio – Site Institute/Brisbane/AU

Rui Antônio Rodrigues Ramos – Uminho/Portugal

Shara Jane Holanda Costa Adad – UFPI

Simone de Fátima Pinheiro Pereira - UFPA

Túlio Augusto Pinho de Vasconcelos Chaves - UFPA

Vânia Marilande Ceccatto - UECE

COMITÊ CIENTÍFICO INTERNO

Alessandro de Castro Corrêa

Carlos Alberto Machado da Rocha

Cezarina Maria Nobre Souza

Claudio Alex Jorge da Rocha

Cleber Silva e Silva

Daniel Palheta Pereira

Elza Monteiro Leão Filha

Fabício Quadro Borges

Jaime Henrique Barbosa da Costa

Laércio Gouvêa Gomes

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Maria Helena Cunha Oliveira

Mary Lucy Mendes Guimarães

Oscar Jesus Choque Fernandez

Otávio Fernandes Lima da Rocha

Raidson Jenner Negreiros de Alencar

Raimundo Nonato das Mercês Machado

Rejane de Barros Araújo

Ronaldo da Cruz Braga

Simonne da Costa Amaral

Syme Regina Souza Queiróz

SUMÁRIO

Editorial

7 Leonardo Oliveira do Nascimento

Influência do Exame Nacional do Ensino Médio no Ensino de Física: Revisão de Literatura

Impact of the National High School Exam on Physics Teaching: Literature Review

11 Odinilton Guerreiro Martins
Marcus Max Trindade Fernandes
Hardiney dos Santos Martins
Andressa Tavares Parente

Gestão da sustentabilidade: uma análise no setor elétrico brasileiro

Sustainability management: an analysis in the Brazilian electricity sector

29 Sandra Maria Costa Monteiro
Fabricio Quadros Borges

Pobreza menstrual: uma realidade entre estudantes da Educação Básica em Belém/PA?

Menstrual poverty: a reality among Basic Education students in Belem/PA?

49 Agatha Gabrielle Campos dos Santos
Amanda dos Santos Braga
Rafael Gouveia Alcântara
Vinícius Conrado Alcântara
Cezarina Maria Nobre Souza

Agentes protetores contra danos causados pelo mercúrio

Protective agents against damage caused by mercury

59 Lorena Araújo da Cunha
Carlos Alberto Machado

Efeito quantitativo dos parâmetros de fluxo de calor na evolução estrutural da liga Al₃Cu₅Nb solidificada horizontalmente

Quantitative effect of heat flow parameters on the structural evolution of horizontally solidified Al₃Cu₅Nb alloy

73

Hugo André Magalhães de Azevedo
Evaldo da Cruz Hoffmann
Bruno Yuji Goto Feio
Otavio Fernandes Lima da Rocha

A importância das Startups em um contexto ambiental: estudo de caso do projeto Trashbot

The importance of Startups in an environmental context: a case study of the Trashbot project

87

Arthur Salomão Garcia Begot
Cassia Rodrigues dos Santos
Leon Cristhyan Santos de Oliveira
Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha
Franciane Andreza Veloso dos Santos Gonçalves

Estimativa da produção de lodo nas ETAs da RMB: impactos e indicação de soluções viáveis e ambientalmente vantajosas

Estimation of sludge production in the RMB stages: impacts and indication viable and environmentally advantageous solutions

105

Maria de Jesus Barbosa Pereira da Silva
Joseane Roberta Moraes de Pina
Letícia Souza dos Santos
Ilka Suely Dias Serra
Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Sífilis: análise do conhecimento da comunidade em relação à infecção

Syphilis: analysis of community knowledge regarding the infection

123

Stephanie Barbosa Pereira
Layse Rodrigues do Rozario Teixeira Lins
Roberto Vilhena do Espírito Santo

133

Instruções aos autores

Editorial

A construção do conhecimento baseado numa ideia multidisciplinar seria aquele que engloba experiências em várias disciplinas, em busca de uma meta a ser atingida. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), através da Revista Engrenagem, proporciona uma discussão baseada na diversidade do saber científico, promovendo a multidisciplinaridade em seus artigos. A revista vem se tornando ao longo dos anos, um dos principais canais de comunicação da comunidade acadêmica do IFPA com os pesquisadores das diversas instituições de pesquisa de nossa região, divulgando e apresentando trabalhos científicos nas mais diversificadas áreas do conhecimento.

Em sua vigésima sexta edição, a Revista Engrenagem, é composta por oito (08) artigos, que abordam temas diversificados, como: educação, energia elétrica, sustentabilidade, saúde, meio ambiente, saneamento, reciclagem e o estudo de propriedades dos materiais. A revista agradece aos pesquisadores, professores e estudantes das prestigiadas instituições de ensino e pesquisa da sociedade paraense, que dedicaram seu tempo e seu esforço na publicação de seus trabalhos. Em nome dos autores, registramos também os agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a preparação desta edição.

A seguir apresentaremos um breve resumo sobre o tema de pesquisa abordado em cada artigo da vigésima sexta edição da Revista Engrenagem.

O primeiro artigo apresenta uma análise de como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) contribuiu para modificação do currículo e do ensino de Física. Na pesquisa, os autores realizaram um levantamento bibliográfico entre os anos de 2000 e 2019. Observando que o ENEM apresenta uma matriz de referência baseada em competências e habilidades, que devem estar ligadas ao cotidiano do aluno e apresentar interdisciplinaridade. Tendo como objetivo avaliar e estimular o aperfeiçoamento das estratégias de ensino. Entretanto, a pesquisa conclui que o ENEM, apesar de seus objetivos, não consegue promover a interdisciplinaridade.

O segundo artigo propõe uma reflexão na forma como a atuação regulatória da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) tem contribuído efetivamente para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico no Brasil. A pesquisa teve como base os dados da Agência do período de 2015 a 2020, e desenvolveu a partir de uma metodologia qualitativa e descritiva, indicadores de sustentabilidade nas dimensões econômica,

social, ambiental e institucional para avaliar a contribuição da Aneel. Os autores concluíram que a Aneel apresenta resultados medianos nas quatro dimensões analisadas.

O terceiro artigo discute as condições de acesso das estudantes que menstruam, a sanitários/banheiros seguros e a itens de higiene no ambiente escolar. O levantamento ocorreu a partir de entrevista com alunas do 5º ano do ensino fundamental matriculadas em uma escola estadual localizada em Belém/PA. A pesquisa constatou que a pobreza menstrual é uma realidade entre as estudantes entrevistadas, devido à falta de acesso à água, de papel higiênico e de limpeza nos banheiros/sanitários da escola.

No quarto artigo são apresentados bioindicadores e biomarcadores na perspectiva de propor alternativas na proteção contra os danos causados pela poluição do meio ambiente através do mercúrio. Como exemplo, temos o selênio, compostos bioativos como fenóis e flavonoides, e o hormônio prolactina, que apresentam atividades protetoras, podendo atuar como antioxidantes, antimutagênicos e anticarcinogênicos, sendo capazes de eliminar ou diminuir os efeitos desse metal.

O quinto artigo aborda um estudo sobre os efeitos de parâmetros térmicos na evolução estrutural de uma liga Al-3Cu-5Nb (%). Os resultados da pesquisa mostram que a velocidade da isoterma liquidus e taxa de resfriamento (VL e TR), estão relacionadas com os espaçamentos dendríticos primários (λ_1) mediante as equações $\lambda_1 = Cte.(VL)^{-1,1}$ e $\lambda_1 = Cte.(TR)^{-0,55}$, cujos os expoentes -1,1 e -0,55 estão em concordância com a literatura acerca do tema.

No sexto artigo é apresentado um estudo de caso do Projeto *Trashbot*, também conhecido como lixeira eletrônica ou lixeira inteligente artificial, *startup* que visa realizar a separação correta dos resíduos sólidos para reciclagem. Na pesquisa é demonstrada a evolução das startups e seus benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública.

O sétimo artigo tem como objetivo estudar quais ETAs da RMB produzem lodo no seu funcionamento, além de indicar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do respectivo resíduo. A pesquisa mostrou que possíveis soluções para o problema, são: o aproveitamento do lodo na agricultura como fertilizantes e na construção civil na produção de cerâmicas.

No oitavo e último artigo da revista, os autores analisaram o conhecimento, de uma amostra da população, relacionado as Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs), com foco na sífilis.

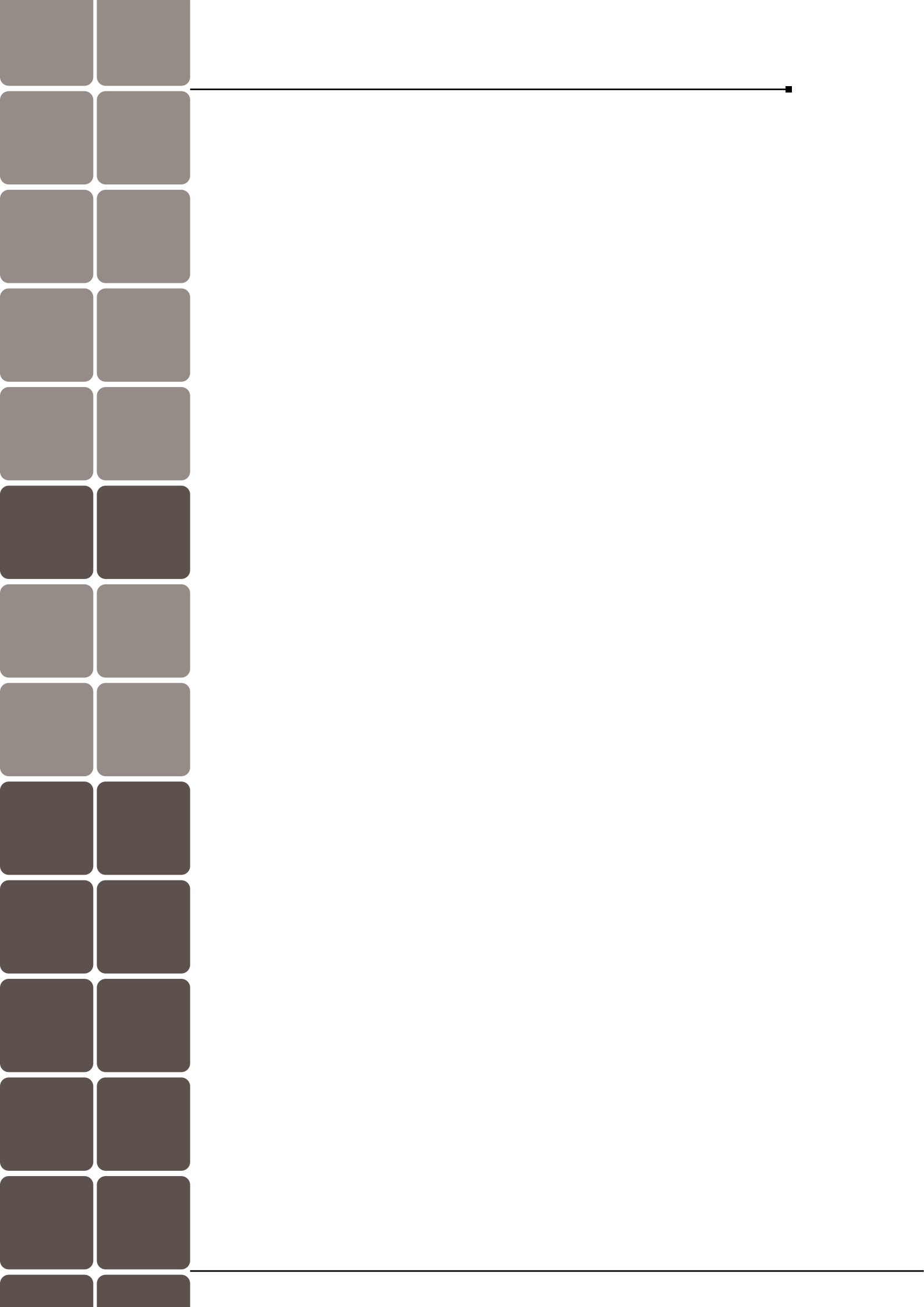
A pesquisa foi realizada mediante a coleta de dados feita virtualmente através do Google Forms, com o questionário divulgado por links em mídias sociais. Os resultados mostraram que um percentual significativo não dispõe ou possui informações incompletas e equivocadas sobre a infecção. Indicando a necessidade urgente de iniciativas educacionais e de conscientização para fornecer informações claras e objetivas na prevenção das ISTs.

Desde sua primeira edição, publicada em junho de 2011, a Revista Engrenagem vem se consolidando como um canal que promove a discussão de temáticas multidisciplinares. Ao longo destes quase 13 anos, foram publicados os mais diversificados artigos, que envolvem temas extremamente relevantes, como: ciência, tecnologia, inovação, meio ambiente, educação, saúde, entre outros. Essa grande diversidade, é certamente mérito dos pesquisadores, professores e discentes que veem na revista um excelente meio de divulgação de suas pesquisas. Nesse sentido, agradecemos imensamente a todas as pessoas que contribuíram para o crescimento desta obra. E aproveitamos a oportunidade, para convidar os demais pesquisadores que ainda não conhecem a Revista Engrenagem, a fazer parte também da nossa história.

Uma boa leitura a todos!

Prof. Dr. Leonardo Oliveira do Nascimento

IFPA – *Campus Belém*



Influência do Exame Nacional do Ensino Médio no Ensino de Física: Revisão de Literatura

Impact of the National High School Exam on Physics Teaching: Literature Review

Odinilton Guerreiro Martins

Graduado em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - *Campus* Belém. Departamento de Formação de Professores, Coordenação de Física, Belém, Pará, Brasil. **Endereço:** Avenida José León, 1078. Condomínio Residencial Primavera, Bloco 4, Apartamento 303. CEP.: 60820-015. Fortaleza/CE. **E-mail:** odiniltongmartins@yahoo.com.br.

Marcus Max Trindade Fernandes

Discente do Curso de Graduação em Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - *Campus* Belém. Departamento de Formação de Professores, Coordenação de Física, Belém, Pará, Brasil.

Hardiney dos Santos Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - *Campus* Belém. Departamento de Formação de Professores, Coordenação de Física, Belém, Pará, Brasil. Doutor em Física-UFSM.

Andressa Tavares Parente

Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Saúde, Faculdade de Enfermagem, Belém, Pará, Brasil. Doutora em Ciências Ambientais-UFPA.

RESUMO

O objetivo do trabalho é analisar como o ENEM influenciou na modificação do currículo e no ensino de Física. A metodologia utilizada foi uma pesquisa bibliográfica em três bases de dados. Pesquisaram-se publicações entre janeiro de 2000 até dezembro de 2019. Utilizou-se das palavras-chave: "EVOLUÇÃO DO EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO", "BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR", "PCNs", "ENSINO DE FÍSICA NO ENEM", "DESAFIOS DA INTERDISCIPLINARIEDADE NO ENSINO DE FÍSICA". Realizou-se refinamento via a leitura do título e resumo para definição dos trabalhos a serem utilizados. Observou-se que o exame pretende avaliar e estimular o aperfeiçoamento das estratégias de ensino. Para isso, apresenta uma matriz de referência estruturada em competências e habilidades, as quais devem ser interligadas ao cotidiano dos alunos e apresentarem interdisciplinaridade. Concluiu-se que o ENEM, apesar de seus objetivos, ainda não consegue promover a interdisciplinaridade.

Palavras-chave: ENEM. Matriz Curricular do ENEM. Ensino por Competências e Habilidades. Ensino de Física.

ABSTRACT

The objective that work was to analyze how ENEM influenced the modification of the curriculum and the teaching of Physics. The methodology used was a bibliographic search in three databases. We searched for publications between January 2000 and December 2019. We used the keywords: "EVOLUTION OF THE NATIONAL HIGH SCHOOL EXAMINATION", "COMMON NATIONAL CURRICULAR BASE", "PCNs", "PHYSICS TEACHING AT ENEM", "CHALLENGES OF INTERDISCIPLINARITY IN PHYSICS TEACHING". Refinement was carried out by reading the title and abstract to define the publications to be used. It was observed that the exam intends to evaluate and stimulate the improvement of teaching strategies. For this, it presents a reference matrix structured in competences and skills, which must be linked to the students' daily lives and present interdisciplinarity. We concluded that ENEM, despite its objectives, is still unable to promote interdisciplinarity.

Keywords: ENEM. ENEM Curricular Matrix. Teaching by Competences and skills. Physics Teaching

INTRODUÇÃO

O ensino da Física ganhou um novo sentido a partir das diretrizes do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Deixando de lado o antigo enfoque na grade de conteúdos. O objetivo, atualmente, é construir uma visão da disciplina para a vida, isto é, voltada para a formação de cidadãos capazes de entender, intervir e participar dos fatos científicos que acontecem na sociedade. (HIPÓLITO; SILVEIRA, 2014).

Este novo modelo surge a partir da precariedade educacional constatada pelo Sistema de Avaliação da Educação Básica Brasileira (SAEB), e de tendências internacionais de ensino que visam a melhoria das leis de diretrizes e base da educação nacionais em 1996, com isso o Ministério da Educação (MEC) passou a promover debates para formular competências básicas nacionais que o aluno deve ter ao concluir o ensino médio (ANDRADE, 2012).

Inicialmente a proposta do ENEM era de quebrar os paradigmas da educação que caminhava para uma desfragmentação por ser descontextualizada. Assim, o ENEM idealizava uma visão mais ampla de mundo aos discentes, mas só realmente ganhou força quando os resultados obtidos pelos alunos foram atrelados ao Programa Universidade para Todos (PROUNI), que oferece bolsas totais ou parciais em instituições particulares (ANDRADE, 2012).

Admite-se, então, a aquisição

de um conjunto de competências e habilidades que lhes permitam a partir da linguagem adequada, dos modelos e princípios desenvolvidos, reconhecer e lidar com fenômenos naturais e tecnológicos, não de forma isolada, mas integrada, em articulação com as demais áreas do conhecimento (AMAURO; CURVELO, 2003).

Contudo, o ensino de Física vem sofrendo modificações desde a década de 1980 até o surgimento do ENEM. Dissociando-se de uma abordagem do ensino meramente expositiva, com foco apenas na transmissão de conteúdo (metodologia esta que distancia o professor do aluno), para culminarmos, atualmente, com a nova abordagem metodológica de ensino, influenciada pelo ENEM, onde visa à formação de alunos críticos que conseguem enxergar uma Física palpável, mensurável e com aplicação no seu dia a dia (AMAURO; CURVELO, 2003).

A matriz de referência do ENEM, a qual contém eixos cognitivos que são comuns a todas as áreas de conhecimento das Ciências Naturais (Física, Química e Biologia), é um guia para a construção desta nova abordagem. Atrelado a esta matriz, o Ensino de Física ganha um novo panorama, amparada na questão da interdisciplinaridade e também na contextualização. Vale ressaltar que, tal metodologia de ensino deve possibilitar aos alunos a compreensão das transformações que ocorrem no mundo físico, de forma abrangente e integrada, para que os entes possam julgar, com fundamento, as informações adquiridas

na escola e mesmo em seu cotidiano.

Com esse novo sistema de processo seletivo, adotado com bases em habilidades e competências, exige-se que o candidato relacione as Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) em seu cotidiano, contextualizando e utilizando a interdisciplinaridade. O presente trabalho tem por objetivo discutir a influência metodológica e curricular para o ensino de Física, baseada na abordagem de competências e habilidades construídas via matriz do ENEM.

O trabalho foi organizado na seguinte forma: na seção seguinte descrevemos o método de pesquisa bibliográfica adotado, posteriormente um breve histórico do ENEM com seu método de avaliação, a matriz de referência e sua influência no ensino de Física e por fim a conclusão.

MÉTODO

Como metodologia para a pesquisa se utilizou a revisão integrativa de literatura. Com a finalidade social de desmistificar o que muitos alunos pensam da ciência de forma geral e sem esquecer que o Enem propõe uma avaliação de ensino voltada à aplicação e entendimento de métodos e procedimentos usados no mundo atual. A metodologia de pesquisa bibliográfica propicia de maneira mais eficaz a síntese de conhecimentos e a introdução da aplicabilidade dos resultados (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

Este tipo de pesquisa possibilita

uma cognição mais abrangente e completa do tema, possibilitando generalizações precisas, combinação de dados de literatura teórica e prática, possibilitando debates e discussões de futuros estudos. De certa forma direciona a observação de teorias, deliberação de conceitos, além de analisar metodologias de um estudo (MENDES; SILVEIRA; GALVAO, 2008).

Embora haja uma certa dificuldade, devido a diversas fontes e observações de estudos inseridos, a metodologia adotada possui um alto potencial de aumento nas conclusões, tornando-a mais profunda e englobada, principalmente no que concerne ao aprendizado em Física.

Os textos base para a formação deste trabalho foram selecionados em pesquisas publicadas com as seguintes características: artigos, livros publicados, dissertações e teses publicadas em língua portuguesa, disponibilizados nas bases de dados do Google Acadêmico, Portal de Periódicos da Capes e Banco de Teses da Capes.

Como mecanismo de busca utilizou-se de palavras-chave/descriptores e suas combinações somente na língua portuguesa: “EVOLUÇÃO DO ENEM”, “BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR”, “PCNs”, “ENSINO DE FÍSICA NO ENEM” e “DESAFIOS DA INTERDISCIPLINARIEDADE NO ENSINO DE FÍSICA”. Os critérios de inclusão definidos para a seleção dos trabalhos foram: texto original em língua portuguesa; texto completo disponível,

leitura do título e resumo coincidente com a temática e publicados entre janeiro de 2000 à dezembro de 2019.

BREVE HISTÓRICO DO ENEM

A primeira edição do ENEM aconteceu no ano de 1998. O ENEM é um exame individual, de caráter voluntário, oferecido anualmente aos concluintes e egressos do Ensino Médio, que permite ao indivíduo fazer uma autoavaliação do aprendizado adquirido por ele durante a educação básica, além de auxiliar o governo brasileiro na elaboração de melhores políticas educacionais para o país (HIPÓLITO; SILVEIRA, 2014).

Dentro deste contexto, a concepção do ENEM estava pautada nas orientações para a educação básica, estabelecidas pela LDB, Diretrizes e Parâmetros Curriculares Nacionais, como um instrumento que balizava e induzia a reforma do Ensino Médio (CASTRO, 2000).

No ano inicial, o ENEM contou com uma participação de 115,6 mil participantes, de um total de 157,2 mil inscritos, tendo uma abstenção de 26,5% durante a realização da prova. No entanto, em 2001, o exame teve um grande salto, e alcançou um total de mais de 1,6 milhão de inscritos (CASTRO; TIEZZI, 2004).

A isenção do pagamento de inscrição para alunos da escola pública foi uma medida que impulsionou a democratização, pois contava então com o apoio da maioria das Secretarias Estaduais de Educação e das escolas

de ensino médio.

A popularização definitiva do Enem ocorreu no ano de 2004, com a criação do Programa Universidade para Todos (ProUni), que passou a conceder bolsas em instituições privadas de ensino superior de acordo com o desempenho dos estudantes no exame. Os benefícios do ProUni eram distribuídos a partir do desempenho do candidato no exame e podiam ser integrais ou parciais, dependendo da renda da família. Para participar do programa era preciso ter cursado todo o Ensino Médio na rede pública (CASTRO; TIEZZI, 2004).

Em 2005, um ano após a criação do ProUni, o Enem alcançava a marca histórica de 3 milhões de inscritos e 2,2 milhões de participantes. Poder estudar em instituições privadas sem pagar a mensalidade tornou-se um grande atrativo para os alunos de escolas públicas.

As instituições de ensino superior públicas começaram a usar a nota do Enem para seleção em seus cursos a partir de 2009, principalmente em virtude das mudanças ocorridas na prova, já que essas mudanças foram aplicadas nos currículos do Ensino Médio, comprovando que o Ensino Médio poderia ser não apenas um curso a mais no currículo essencial para um aluno, mas uma preparação para o ensino superior (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

O exame também serviu como certificado de conclusão do Ensino Médio, podendo ser utilizado pelas pessoas que, por qualquer motivo,

pararam de estudar sem ter concluído esse nível escolar (INEP, 2012).

O exame passou de 63 questões para um teste com 180 perguntas distribuídas em quatro cadernos de prova: Ciências Humanas, Ciências da Natureza, Linguagens e Matemática, além de uma redação (CASTRO, 2000).

No ano de 2010, o Enem conquistou a adesão 4,6 milhões de inscritos e neste mesmo ano, foi criado o Sistema de Seleção Unificada (SISU), ferramenta online que cruza os dados das vagas nas instituições de ensino com as notas dos alunos no Enem. Assim, os estudantes fazem apenas uma inscrição e podem pleitear vagas em instituições públicas de todo o País (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

O ENEM é na atualidade o exame de maior relevância e interesse da educação brasileira, pois a maioria das instituições federais de ensino superior utilizam as notas obtidas pelos estudantes do ENEM como critério de seleção e admissão em seus cursos de graduação (CASTRO, 2000).

HISTÓRICO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO ENEM

Em relação à metodologia de avaliação aplicada no ENEM até o ano de 2001, a prova mantinha uma estrutura de 63 (sessenta e três) questões e uma redação. Cabe enfatizar que na elaboração da parte objetiva da prova, contava com um instrumento de medida ancorado na matriz das cinco competências expressas nas 21 (vinte e uma) habilidades, cada uma das

habilidades era avaliada três vezes, gerando um conjunto de 63 (sessenta e três) questões objetivas de múltipla escolha (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Nas questões de múltipla escolha, eram propostas situações-problema devidamente contextualizadas na interdisciplinaridade das ciências, das artes e da filosofia, em sua articulação com o mundo em que vivemos. Para resolver as situações-problema, o participante precisava mobilizar conhecimentos anteriormente construídos e reorganizá-los para enfrentar o desafio proposto pela situação. As alternativas propostas como resposta pertenciam à situação-problema, uma vez que, em geral, todas eram possíveis, necessárias, mas apenas uma delas era possível, necessária e condição suficiente para a resolução do problema proposto (BRASIL, 2009).

No ano de 2003, foi incluído o questionário socioeconômico para os inscritos no ENEM, como forma de enriquecer os dados dos participantes e ajudar na compreensão de seus desempenhos. Até o ano de 2004, o resultado do ENEM era divulgado somente ao próprio participante, por meio de um boletim com o desempenho por competência; mas em 2005 iniciou-se a divulgação das notas médias das escolas, com o propósito de avaliar o desempenho das instituições e oportunizar, mediante análise dos dados e relatórios divulgados pelo INEP, a melhoria dos serviços prestados à sociedade (CASTRO; TIEZZI, 2004).

A crescente procura pelo ENEM se reflete, inclusive, nos processos seletivos de muitas instituições de ensino superior que passam a usar o exame como forma de ingresso, em primeira ou segunda etapa de seus vestibulares ou até mesmo adicionando pontos a sua classificação de seu vestibular, como segundo (BRASIL 2009):

A utilização dos resultados do ENEM nos processos de seleção das instituições de ensino superior foi a primeira modalidade social de uso do exame e, desde sua implantação, constitui-se no mais forte atrativo aos que a ele se submetem. Com o advento do PROUNI, essa utilização social amplia-se cada vez mais com resultados efetivos no sentido de proporcionar o ingresso de jovens no ensino superior. Até então, a maioria desses jovens desistia de continuar os estudos tendo em vista a escassez de vagas em instituições públicas e à falta de condições de pagar uma faculdade particular. (BRASIL, 2009, p.68).

A procura pelo ENEM ao longo dos anos cresceu muito, e uma das principais alegações dos candidatos para fazer o exame era entrar na faculdade ou conseguir pontos para o vestibular, o que comprova o fato de o ENEM ter adquirido este caráter seletivo ao longo de sua existência (CASTRO; TIEZZI, 2004).

A proposta de reestruturação do ENEM em 2009 trazia como objetivo central democratizar as oportunidades de concorrência às vagas oferecidas aos cursos de graduação em instituições federais de ensino superior, podendo o participante concorrer nos processos de seleção de diferentes regiões do país (BRASIL, 2009).

No ano de 2009, implantou-se

um novo ENEM e o Exame passou por profundas mudanças, envolvendo a implantação do Sistema de Seleção Unificada (SISU). Com isso, houve a divulgação de uma nova matriz de competências e habilidades, inclusão da Língua Estrangeira e a definição de um novo formato para o Exame (BRASIL, 2009).

As provas aplicadas desde 2009 são constituídas por Redação e provas objetivas divididas em quatro áreas de conhecimentos: Linguagens e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; e Ciências Humanas e suas Tecnologias. Cada área é avaliada por uma prova composta de 45 questões objetivas, totalizando 180, sendo que as quatro provas e a Redação são aplicadas durante dois dias. O valor atribuído à prova de Redação e a cada área de conhecimento é uma nota que varia em uma escala de zero a 1000 (MACHADO; LIMA, 2014).

Como justificativa para a implantação de um sistema de seleção unificado, foi apontado que, de acordo com dados da Pnad/IBGE de 2007, de todos os estudantes matriculados no seu primeiro ano do ensino superior, apenas 0,04% residem há menos de um ano no estado onde estudam. Enquanto em países como os Estados Unidos, cerca de 20% dos estudantes americanos cruzam as fronteiras estaduais para estudarem em universidades de sua escolha (CASTRO; TIEZZI, 2004).

Desse modo, o ENEM passaria a ampliar também as oportunidades

para acesso à educação brasileira em instituições superiores de outros estados, principalmente para aqueles estudantes que não têm uma condição financeira de viajar para prestar vários vestibulares pelo Brasil afora. A Portaria INEP/MEC nº 109, de 27 de maio de 2009, estabeleceu a sistemática para a realização do ENEM 2009 como procedimento de avaliação do desempenho escolar e acadêmico dos participantes, para aferir o desenvolvimento as competências e habilidades fundamentais ao exercício da cidadania (CASTRO; TIEZZI, 2004).

MATRIZ DE REFERÊNCIA DO ENEM PARA AS CIÊNCIAS NATURAIS

A matriz de referência do ENEM contém os seguintes eixos cognitivos, que são comuns a todas as áreas de conhecimento:

I. Dominar linguagens (DL): dominar a norma culta da Língua Portuguesa e fazer uso das linguagens matemática, artística e científica e das línguas espanhola e inglesa.

II. Compreender fenômenos (CF): construir e aplicar conceitos das várias áreas do conhecimento para a compreensão de fenômenos naturais, de processos históricos geográficos, da produção tecnológica e das manifestações artísticas.

III. Enfrentar situações-problema (SP): selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representadas de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema.

IV. Construir argumentação (CA): relacionar informações, representadas em diferentes formas, e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para construir argumentação consistente.

V. Elaborar propostas (EP): recorrer aos conhecimentos desenvolvidos na escola para elaboração de propostas de intervenção solidária na realidade, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural (INEP, 2019, p. 02).

A denominação matriz de referência é empregada especificamente no contexto das avaliações em larga escala e orientar a elaboração de itens de testes e provas. Cabe enfatizar que, a matriz de competências e habilidades que estrutura o ENEM considera, simultaneamente, as competências relativas às áreas de conhecimento e as que expressam as possibilidades cognitivas de jovens e adultos de compreender e realizar tarefas relacionadas a essas áreas, que são as competências individuais (INEP, 2019).

Além da Matriz de Referência que contém os eixos cognitivos que são comuns a todas as áreas de conhecimento, existem também as específicas para as Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Estas estão divididas em oito áreas: a área um compreende as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade (INEP, 2019, p. 03).

A área dois busca identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos (INEP, 2019, p. 03).

A área três procura associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicas (INEP, 2019, p. 04).

A área quatro demanda compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais (INEP, 2019, p. 05).

A área cinco busca entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos (INEP, 2019, p. 06).

A área seis deve apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas (INEP, 2019, p. 06).

A área sete procura apropriar-se de conhecimentos da Química para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas (INEP, 2019, p. 07).

A área oito deve apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas (INEP, 2019, p. 08).

Quanto aos objetos de conhecimento associados especificamente às Matrizes de Referência da Física estão:

- **Conhecimentos básicos e**

fundamentais - Noções de ordem de grandeza. Notação Científica. Sistema Internacional de Unidades. Metodologia de investigação: a procura de regularidades e de sinais na interpretação física do mundo. Observações e mensurações: representação de grandezas físicas como grandezas mensuráveis. Ferramentas básicas: gráficos e vetores. Conceituação de grandezas vetoriais e escalares. Operações básicas com vetores.

- **O movimento, o equilíbrio e a descoberta de leis físicas** – Grandezas fundamentais da mecânica: tempo, espaço, velocidade e aceleração. Relação histórica entre força e movimento. Descrições do movimento e sua interpretação: quantificação do movimento e sua descrição matemática e gráfica. Casos especiais de movimentos e suas regularidades observáveis. Conceito de inércia. Noção de sistemas de referência inerciais e não inerciais. Noção dinâmica de massa e quantidade de movimento (momento linear). Força e variação da quantidade de movimento. Leis de Newton. Centro de massa e a ideia de ponto material. Conceito de forças externas e internas. Lei da conservação da quantidade de movimento (momento linear) e teorema do impulso. Momento de uma força (torque). Condições de equilíbrio estático de ponto material e de corpos rígidos. Força de atrito, força peso, força normal de contato e tração. Diagramas de forças. Identificação das forças que atuam nos movimentos circulares. Noção de força centrípeta

e sua quantificação. A hidrostática: aspectos históricos e variáveis relevantes. Empuxo. Princípios de Pascal, Arquimedes e Stevin: condições de flutuação, relação entre diferença de nível e pressão hidrostática.

- **Energia, trabalho e potência**

- Conceituação de trabalho, energia e potência. Conceito de energia potencial e de energia cinética. Conservação de energia mecânica e dissipação de energia. Trabalho da força gravitacional e energia potencial gravitacional. Forças conservativas e dissipativas.

- **A Mecânica e o funcionamento do Universo** - Força peso. Aceleração gravitacional. Lei da Gravitação Universal. Leis de Kepler. Movimentos de corpos celestes. Influência na Terra: marés e variações climáticas. Concepções históricas sobre a origem do universo e sua evolução.

- **Fenômenos Elétricos e Magnéticos** - Carga elétrica e corrente elétrica. Lei de Coulomb. Campo elétrico e potencial elétrico. Linhas de campo. Superfícies equipotenciais. Poder das pontas. Blindagem. Capacitores. Efeito Joule. Lei de Ohm. Resistência elétrica e resistividade. Relações entre grandezas elétricas: tensão, corrente, potência e energia. Circuitos elétricos simples. Correntes contínua e alternada. Medidores elétricos. Representação gráfica de circuitos. Símbolos convencionais. Potência e consumo de energia em dispositivos elétricos. Campo magnético. Ímãs permanentes. Linhas de campo magnético. Campo magnético terrestre.

- **Oscilações, ondas, óptica e**

radiação - Feixes e frentes de ondas. Reflexão e refração. Óptica geométrica: lentes e espelhos. Formação de imagens. Instrumentos ópticos simples. Fenômenos ondulatórios. Pulsos e ondas. Período, frequência, ciclo. Propagação: relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda. Ondas em diferentes meios de propagação.

- **O calor e os fenômenos térmicos** - Conceitos de calor e de temperatura. Escalas termométricas. Transferência de calor e equilíbrio térmico. Capacidade calorífica e calor específico. Condução do calor. Dilatação térmica. Mudanças de estado físico e calor latente de transformação. Comportamento de Gases ideais. Máquinas térmicas. Ciclo de Carnot. Leis da Termodinâmica. Aplicações e fenômenos térmicos de uso cotidiano. Compreensão de fenômenos climáticos relacionados ao ciclo da água. (INEP, 2019, p. 18).

A seguir discute-se a relação da estrutura e modificações no ENEM como elemento de promoção de alteração na metodologia do ensino de Física.

A FÍSICA NO ENEM

Observou-se que a partir do ano de 2009, o Ministério da Educação adotou unificação do vestibular das universidades federais, utilizando o novo modelo de prova para o ENEM. (ANDRADE, 2012)

Como consequência de tal reformulação, o exame passou a contar

com 180 (cento e oitenta) questões objetivas e uma de redação, sendo estas divididas em quatro áreas do conhecimento: linguagens, códigos e suas tecnologias, em que está incluída a redação; ciências humanas e suas tecnologias; ciências da natureza e suas tecnologias; e matemática e suas tecnologias. (ANDRADE, 2012)

Especificamente em relação a disciplina Física, esta foi inserida na área de ciências da natureza e suas tecnologias. O documento básico do ENEM apresenta uma matriz de referência que valoriza a articulação entre os conhecimentos científicos da Física e do contexto de vida com base numa abordagem de temas apoiada na interdisciplinaridade e na contextualização (INEP, 2019). O fato é que tal abordagem contextualizada e interdisciplinar valoriza os conhecimentos prévios dos alunos, contribuindo para uma aprendizagem significativa (HIPÓLITO; SILVEIRA, 2014).

Dentro da matriz de referência do ENEM estão contidas as habilidade

e competências, que nivelam o conhecimento que os alunos precisam possuir para realizar o exame, tais competências e habilidades buscam, segundo o INEP (2019):

[...] competências são modalidades estruturais de inteligências, ou melhor, ações e operações que utilizamos para estabelecer relações com e entre objetos, situações, fenômenos e pessoas que desejamos conhecer. As habilidades decorrem das competências adquiridas e referem-se ao plano imediato do “saber fazer”. Por meio das ações e operações, as habilidades aperfeiçoam-se e articulam-se, possibilitando nova reorganização das competências (INEP, 2019, p. 5).

Evidentemente, o ENEM de maneira gradual substituiu os vestibulares das entidades e provocou uma alteração no currículo educacional. Neste sentido, é fundamental para professores e alunos da disciplina Física assimilarem quais são as perspectivas de contextualização e interdisciplinaridade em que esse exame se fundamenta (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016). No Quadro 1, apresenta-se os dados sobre questões

Quadro 1. Classificação das Questões por Disciplina.

Categoria	Subcategoria	Ano de Aplicação								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Disciplinar	Química	10	14	7	12	15	14	16	18	17
	Física	13	12	14	16	15	14	11	13	12
	Biologia	15	10	17	13	13	11	15	11	10
Interdisciplinar	Química e Biologia	3	7	6	3	2	6	2	1	2
	Química e Física	2	2	1	1	0	0	1	1	3
	Física e Biologia	2	0	0	0	0	0	0	1	1
Total		45	45	45	45	45	45	45	45	45

Fonte: Elaborada pelos autores.

do ENEM, de 2009 a 2017, e como as questões estão dispostas, dentro das disciplinas Física, Química e Biologia.

Ao analisar o Quadro 1 nota-se que em todos os anos, de 2009 a 2017, há itens que o participante precisa de mais de uma área do conhecimento para sua solução, ou seja, somente o conhecimento de uma disciplina não bastaria para a resolução da questão, este modelo de item é o que o INEP declara como interdisciplinaridade. Assim o aluno precisa ter a habilidade de entrelaçar e correlacionar seus conhecimentos em diversas áreas.

Analisando-se o Quadro 1, nota-se que mesmo o ENEM preconizando a interdisciplinaridade, a utilização da mesma na prova ainda não é muito efetiva. Observa-se que o quantitativo de questões interdisciplinares variou entre 4,44% (ano de 2013) e 20% (ano de 2010). Este aspecto ressalta a dificuldade de implementação da interdisciplinaridade no ensino de Ciências.

A própria estrutura educacional montada através de habilidades e competências mostra a dificuldade de implementação da interdisciplinaridade. Analisando a estrutura geral da matriz de referência do ENEM, com o quadro de distribuição de questões, mostrada acima, é notório tal fato.

De modo que, segundo o INEP (2009), o aluno precisa ter oito competências de área para a realização da prova, entre elas três são específicas de cada área do saber (Física, Química e Biologia). As cinco restantes são ditas interdisciplinares, ou seja, pertencem

às três áreas de conhecimento. Mas, como estruturalmente a área de ciências da natureza possui 45 questões que precisam ser distribuídas de forma igualitária entre as habilidades, esperava-se que houvesse um maior montante de itens relacionando mais de uma área do conhecimento (INEP, 2019).

Há 30 habilidades dentro das ciências da natureza para 45 questões, sendo que em cada prova do ENEM, cobrando-se as 30 habilidades, logo claro que haverá itens com habilidades repetidas, mas como 5 competências englobam a interdisciplinaridade, era de se esperar que houvesse um número maior de questões com mais de uma área do conhecimento, mas não é isso que se percebe no Quadro 1.

Sendo assim, os próprios formuladores de itens do ENEM, sentem dificuldade na implementação de itens com mais de uma área do conhecimento, visto isso, já almejava-se implementar mudanças no ENEM para 2021 com os novos PCN's+. Esse documento prevê apenas 5 competências de área específicas para as disciplinas: Física, Química e Biologia.

A interdisciplinaridade busca sanar dois grandes problemas na construção do conhecimento, o primeiro é a focalização dos conteúdos, ou seja, transmitir cada conteúdo como se não houvesse correlação com o cotidiano ou com outros conteúdos de diversas disciplinas (SOUZA; LIMA; NETO, 2013).

O segundo é no pensamento de que o aluno é um livro com páginas em

branco que precisam ser preenchidas. Deve-se levar em consideração que o aluno traz consigo experiências de vida que podem ser usadas para a sua aprendizagem dentro de sala de aula. (SOUZA; LIMA; NETO, 2013). Assim, segundo os PCN's (2002):

Os alunos trazem para a escola conhecimentos, ideias e intuições, construídos através das experiências que vivenciam em seu grupo sociocultural. Eles chegam à sala de aula com diferenciadas ferramentas básicas para, por exemplo, classificar, ordenar, quantificar e medir. Além disso, aprendem a atuar de acordo com os recursos, dependências e restrições de seu meio (PCN's, 2002, p. 24).

Os PCN's também atentam ao fato de que as vezes o conhecimento prévio pode se tornar um problema ao professor, em algumas situações esses conhecimentos trazem conceitos ou intuições sobre o funcionamento do universo que são errôneas em relação ao conhecimento científico (SOUZA; LIMA; NETO, 2013).

Por esses motivos, nos últimos anos, as questões do ENEM estão relacionadas a um contexto de realidade dos alunos. Com isso, as questões devem ser elaboradas com base em conhecimentos científicos. Sendo assim, é necessário para professores e alunos dominar quais são os conteúdos relacionados com a Física que estão sendo abordados nas provas do Novo ENEM (HIPÓLITO; SILVEIRA, 2014).

FÍSICA, INTERDISCIPLINARIDADE E ENEM

A disciplina Física no ENEM está

amparada na interdisciplinaridade, visto que, este conceito amplo e complexo de construção do conhecimento deve suplantar o ensino da disciplina isoladamente. Essa concepção deve partir de um modelo de ensino que privilegie e articule um ambiente amplo em que os fenômenos sejam observados, analisados e entendidos como fatos conectados (BERTI, 2007).

Deve-se lembrar que a disciplina Física é tida como uma das matérias mais complicadas do ensino médio, devido em sua constituição existir diversas equações que moldam princípios e leis. Desta forma, a própria disciplina pode levar alguns estudantes a falta de estímulo durante o período em que cursa o ensino médio. Por estes motivos é fundamental apresentar a disciplina com uma menor carga de fórmulas prontas e com maior aplicabilidade, organizando-se de forma diferenciada o processo de ensino-aprendizagem, o qual deve ser aplicável ao cotidiano do aluno (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) propõem que, na educação básica, o aluno seja capaz de construir um pensamento estruturado, fazendo necessária uma organização curricular numa abordagem contextualizada e interdisciplinar (BERTI, 2007).

Existe a orientação para que o aluno do Ensino Médio possa compreender as transformações Físicas que ocorrem no mundo físico de forma integrada. Visto que, o conhecimento físico isolado é importante, porém, insuficiente para o entendimento desse

mundo. Como exemplo temos o caso do estudo da hidrosfera, litosfera e biosfera, que dependem das interações entre conhecimentos químicos, físicos, biológicos e geológicos (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Os PCN+ Ensino Médio (Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares) também apontam para a necessidade de articulação em função do desenvolvimento de competências. Os PCN+ assumem que as disciplinas devem ser mobilizadas com a intenção de produzir um ensino relacionado com a vivência do educando, sugerindo uma articulação de saberes por meio de temas estruturadores (BERTI, 2007).

O fato é que os fenômenos científicos são, por natureza, complexos e sem recortes definidos. Sendo assim, é importante que haja a interdisciplinaridade para que sejam estudados de forma conjunta. Ao se encarar esse desafio os temas podem ser tratados por diferentes disciplinas, mas com um olhar multidisciplinar. Nesse modelo não ocorrem quebras entre as disciplinas e se formam os eixos integradores de ensino (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Nesta acepção, a atuação do professor de Física deve atribuir um caráter mais prático às suas aulas, no sentido de que o conhecimento deve ser aplicado de maneira efetiva no cotidiano dos alunos. Além disso, este professor deve continuar evoluindo e procurando maneiras diferenciadas de utilizar os materiais e técnicas didáticas, como alguns elementos que

estejam presentes de maneira lúdica na vida dos alunos dentro das aulas, que estará compreendendo que a formação completa do aluno possibilitará que ele consiga superar qualquer tipo de sistema avaliativo que lhe seja proposto, inclusive o ENEM.

FÍSICA, CONTEXTUALIZAÇÃO E ENEM

A Física é uma disciplina que faz parte do programa curricular do ensino fundamental e médio. A aprendizagem deve possibilitar aos alunos a compreensão das transformações que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada, para que estes possam julgar, com fundamentos, as informações adquiridas na mídia, na escola, com pessoas e outros contextos. A partir daí, o aluno tomará sua decisão e dessa forma, interagirá com o mundo enquanto indivíduo e cidadão (BRASIL, 2009).

Recursos devem ser utilizados e projetos devem ser aplicados, para incentivar o interesse pela disciplina, demonstrando que os conhecimentos adquiridos em sala de aula, têm aplicação prática no cotidiano. Uma proposta interessante é a utilização de aulas práticas, visto que a visualização dos fenômenos, desperta grande interesse por parte dos alunos. Além disso, propicia a contextualização do tema e a aproximação dos estudantes pela disciplina (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

A aula prática é uma maneira eficiente de ensinar e melhorar

o entendimento dos conteúdos, facilitando a aprendizagem. Os experimentos facilitam a compreensão da natureza, da ciência e dos seus conceitos, auxiliam no desenvolvimento de atitudes científicas e no diagnóstico de concepções não científicas. Sendo assim, contribuem para despertar o interesse pela ciência (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Como gradativamente o ENEM vem substituindo os vestibulares, isso provoca um movimento no currículo educacional. Dessa forma, é necessário compreender quais são as perspectivas de contextualização e interdisciplinaridade em que esse exame se fundamenta, além de verificar como as matrizes do ENEM influenciam na maneira das escolas ensinarem aos alunos (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

De fato, as questões do ENEM apresentam-se como um conjunto de perguntas relacionadas a um contexto real, que devem ser trabalhadas com base em conhecimentos científicos, pelos professores da disciplina dentro da sala de aula (KOSCHNTIZLER; GONÇALVES; GUIMARÃES, 2010).

Neste contexto, a aprendizagem de Física deve possibilitar aos alunos a compreensão das transformações que ocorrem no mundo físico, de forma abrangente e integrada, para que eles possam julgar, com fundamentos, as informações adquiridas na escola e mesmo no seu cotidiano (KOSCHNTIZLER; GONÇALVES; GUIMARÃES, 2010).

Tais comportamentos por parte

dos professores farão com que os alunos interajam com o mundo usando em consideração o aprendizado conseguido em sala de aula. Contudo, evidencia-se frequentemente, dentro do ambiente escolar, algum desinteresse por parte dos alunos, em relação a disciplina. Isto acontece como resultado da maneira como a disciplina Física é ensinada, pois em geral esta se resume a cálculos matemáticos e memorização de fórmulas (KOSCHNTIZLER; GONÇALVES; GUIMARÃES, 2010). O fato é que a não contextualização da Física pode ser responsável pelo alto índice de rejeição do estudo desta ciência pelos alunos, dificultando o processo de ensino-aprendizagem (COSTA; SANTOS; SILVA, 2016).

Um desafio do Ensino de Física é construir meios que levem o aluno a compreender e vivenciar a Física em seu cotidiano, haja vista que percebemos que o Ensino de Física no Ensino Médio continua afastado da realidade do aluno.

A introdução de brincadeiras e jogos no planejamento de sala de aula de aula é importante para a aprendizagem do aluno, pois o lúdico incentiva e aprimora o conhecimento. Segundo Silva *et al.* (2007):

De acordo com a teoria piagetiana do desenvolvimento, o jogo como movimento predominantemente assimilativo do organismo constitui a possibilidade primeira do processo de desenvolvimento cognitivo; ou seja, o desenvolvimento se dá por meio do jogo. (SILVA *et al.*; 2007, p. 449).

O lúdico se torna então essencial para a aprendizagem do aluno uma vez

que o tira de uma posição de receptor de conhecimento e passa a ser produtor do saber, de maneira que crie bases para o saber, ou seja, de nada adianta criar formalismos matemáticos e problemas, se o aluno não enxerga isso como um problema e não se inspira a resolvê-lo (SILVA, METTRAU, BARRETO, 2007)

Em contrapartida a escola como um todo, deve abraçar o discente para que fique confortável em ocupar este espaço, lhe dando a impressão de estar em sua própria casa, ou seja, um ambiente agradável e seguro, tornando suas atividades intrigantes e prazerosa, fazendo-o ir em busca de mais conhecimento.

Para que isso aconteça é indispensável um maior investimento em infraestrutura educacional, ou seja, reforma de escolas e inclusão de espaços lúdicos, formação continuada de professores dando ênfase ao processo educacional vigente e implementações de projetos políticos pedagógicos de convergência de pais e mestres para a escola. Discutir processo de evolução educacional cabe a todos os indivíduos em seus diversos níveis, desde formulador de bases comum curriculares nacionais, passando por corpo docente, discentes e pais e mestres (GARCIA; HIGAR. 2012).

Além disso, com a nova metodologia de ensino, estimulada pelo ENEM, podemos atingir o principal objetivo da educação básica, que é formar alunos críticos, que possam muito bem utilizar o ensinar da ciência para conseguir entender as transformações que ocorrem no seu

dia a dia, e compreender os noticiários de televisão, revistas e outros meios de comunicação.

CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a influência que o Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM - desempenha nos dias de hoje sobre o Ensino da Física. Sendo assim, o trabalho apontou que a análise das competências mostra que o ENEM atualmente espera que o aluno detenha conhecimentos centrados no ensino voltado à aplicação e entendimento de métodos e procedimentos usados no mundo que nos cerca.

Nesta acepção, a atuação do professor de Física deve atribuir um caráter mais prático as suas aulas, no sentido de que o conhecimento deve ser aplicado de maneira efetiva no cotidiano dos alunos. Além disso, este professor deve continuar evoluindo e procurando maneiras diferenciadas de utilizar os materiais e técnicas didáticas, como alguns elementos que estejam presentes de maneira lúdica na vida dos alunos dentro das aulas, que compreenderá que a formação completa do aluno possibilitará que ele consiga superar qualquer tipo de sistema avaliativo que lhe seja proposto, inclusive o ENEM.

Além disso, com a nova metodologia de ensino baseada em competências e habilidades, apresentada no trabalho, pode-se atingir o principal objetivo da educação básica, que é formar alunos críticos,

que possam muito bem utilizar os conhecimentos absorvidos nas aulas de ciências da Natureza para conseguir entender as transformações que ocorrem no seu dia a dia, e compreender os noticiários de televisão, revistas e outros meios de comunicação.

Contudo, apesar da proposta apresentada pela matriz de referência do ENEM, o exame ainda não conseguiu reproduzir bem, em seu caderno de questões, a interdisciplinaridade sugerida. Essa questão demonstra a dificuldade de implementação desta ação e estimula a pesquisa visando solucionar essa problemática.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, GISELE GAMA. **A metodologia do ENEM: uma reflexão.** Série-Estudos - Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB Campo Grande, MS, n. 33, p. 67-76, jan./jul. 2012.
- AMAURO, NICÉIA QUINTINO; CURVELO, ANTÔNIO APRÍGIO DA SILVA. **Concepção do conhecimento no exame nacional do ensino médio (ENEM).** São Paulo: USP, 2003.
- BERTI, B. P. **Interdisciplinaridade: um conceito polissêmico.** 2007. 235 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo, 2007.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2009a) **Matriz de Referência para o ENEM 2009.** Brasília: INEP/MEC.
- CASTRO, Maria Helena Guimarães de. Sistemas Nacionais de Avaliação e de Informações Educacionais. **São Paulo em Perspectiva.** vol.14 n.1 São Paulo Jan./Mar. 2000.
- CASTRO, Maria Helena Guimarães de; TIEZZI, Sergio. **A reforma do ensino médio e a implantação do Enem no Brasil.** DESAFIOS, 2004.
- COSTA, Élvia S. C.; SANTOS, Marcelo L. dos; SILVA, Erivanildo L. da. Abordagens no Novo ENEM: Uma Análise Acerca da Interdisciplinaridade. **Nov Esc.** São Paulo. Vol. 38, N° 2, p. 112-120, maio 2016.
- GARCIA, Nilson Marcos Dias; HIGA, Ivanilda. **Formação de professores de Física: problematizando ações governamentais.** Educação: teoria e prática, Rio Claro, SP, Brasil, 2012.
- HIPÓLITO, Aline Fernandes; SILVEIRA, Hélder Eterno da. **As questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) em um enfoque transversal e interdisciplinar.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2014.
- INEP. Instituto Nacional de Estudos e

Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Matriz de Referência ENEM. Brasília, 2012. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/downloads/2012/matriz_referencia_enem.pdf>. Acessado em: 21 out 2017.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Matriz de Referência ENEM.** Brasília, 2019. Disponível em: <https://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf>.

KOSCHNTIZLER, Carolina; GONÇALVES, Roger; GUIMARÃES, Orliney Maciel. **Desempenho no ENEM e as práticas escolares dos professores.** CURITIBA: EDUQUIM, 2010.

MACHADO, Paulo Henrique Alves; LIMA, Elizeth Gonzaga dos Santos. O ENEM no contexto das políticas para o Ensino Médio. **PERSPECTIVA.** Florianópolis, v. 32, n. 1, 355-373 jan./abr. 2014.

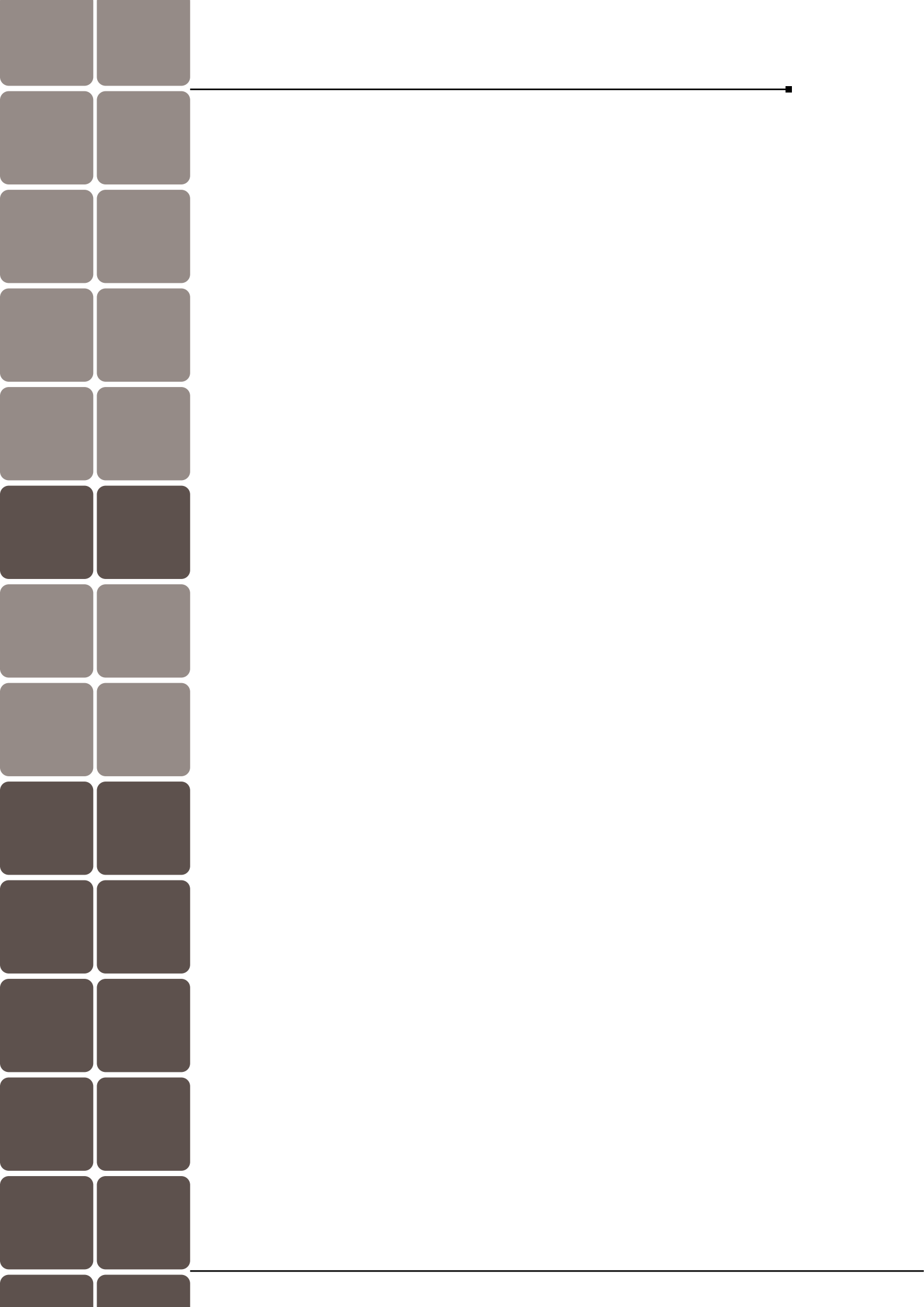
MENDES, Karina Dal Sasso Mendes; SILVEIRA, Renata Campos Pereira; GALVÃO, Cristina Maria. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. (2008). **Texto & Contexto Enfermagem**, 17 (4), 758-764.

PCNs, Parâmetros Curriculares Nacionais - *Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 2002.

SILVA, Alcina Maria Testa Braz da; METTRAU, Marsyl Bulkool; e BARRETO, Márcia Simão Linhares. **O lúdico no processo de ensino-aprendizagem das ciências.** Revista Brasileira de Pedagogia, 2007.

SOUZA, Luiz Eduardo Silva; LIMA, Jacqueline de Cassia Pinheiro; NETO, Willis Sudário de Lima. **Ensino de Ciências no Brasil: desafios contemporâneos no ensino da Física a partir de uma proposta interdisciplinar.** Revista Magisto, vol. 8, 2013.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**. 2010; 8(1 pt 1):102-6.



Gestão da sustentabilidade: uma análise no setor elétrico brasileiro

Sustainability management: an analysis in the Brazilian electricity sector

Sandra Maria Costa Monteiro

Universidade da Amazônia – UNAMA. Mestra em Administração pela UNAMA. **Endereço:** Conjunto Maguari, Alameda 14, número 80, Av. Principal. Cep.: 66823077 - Coqueiro – Belém/PA. **E-mail:** sandracmonteiro1209@gmail.com.

Fabrizio Quadros Borges

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. Pós-Doutorado em Gestão de Tecnologia pelo IPEN/USP. **E-mail:** posdoctorborges@gmail.com.

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar o desempenho da estrutura regulatória da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) na busca do desenvolvimento sustentável para o setor elétrico no Brasil. Para isso, criou-se um modelo institucional de indicadores de sustentabilidade de energia elétrica, elaborado a partir de dados da Agência, de 2015 a 2020, para orientar a regulação no setor elétrico brasileiro. O problema deste estudo está centrado na seguinte indagação: de que forma a atuação regulatória da Aneel tem contribuído efetivamente para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico no Brasil? A metodologia, de natureza qualitativa e descritiva, desenvolveu um processo de construção de indicadores de sustentabilidade, a partir das dimensões econômica, social, ambiental e institucional, que procurou avaliar a contribuição da Aneel diante do desafio da sustentabilidade energética no país. O resultado deste estudo, por meio do índice de sustentabilidade institucional (ISA), apontou um grau médio de sustentabilidade institucional, o que aponta um desempenho razoável da Aneel. No aspecto econômico, mostrou um desempenho médio, analisado pela relação de investimento em pesquisa, desenvolvimento e incentivos pelos projetos de inovação e tecnologia P&D, corroborado também pela quantidade de projetos de incentivo à inovação e tecnologia. No aspecto socioambiental, apresentou indicadores médios com sensível tendência decrescente, na medida em que não aponta incentivos para o cumprimento dos acordos globais, falta de investimento no setor e uma participação mais democrática em conselhos municipais.

Palavras-chave: Indicadores. Aneel. Sustentabilidade. Regulação.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the performance of the regulatory structure of the National Agency of Electric Energy (Aneel) in the pursuit of sustainable development for the electricity sector in Brazil. To this end, it was created an institutional model of electric energy sustainability indicators, prepared based on data from the Agency, from 2015 to 2020, to guide the regulation in the Brazilian electricity sector. The problem of this study is focused on the following question: in what way has Aneel regulatory action effectively contributed to the sustainable development of the electricity sector in Brazil? The methodology, qualitative and descriptive in nature, developed a process for building sustainability indicators, from the economic, social, environmental and institutional dimensions, which sought to assess Aneel contribution to the challenge of energy sustainability in the country. The result of this study, through the institutional sustainability index (ISA), pointed out an average degree of institutional sustainability, which indicates a reasonable performance of Aneel. In the economic aspect, it showed an average performance, analyzed by the ratio of investment in research, development and incentives for innovation projects and R&D technology, corroborated also by the amount of incentive projects for innovation and technology. In the socio-environmental aspect, it presented average indicators with a sensible decreasing trend, to the extent that it does not point out incentives to comply with global agreements, lack of investment in the sector and a more democratic participation in municipal councils.

Keywords: Indicators. Aneel. Sustainability. Regulation.

INTRODUÇÃO

As instituições que regulam e supervisionam o setor elétrico no Brasil são responsáveis pela disposição futura das diversas formas de produção de energia elétrica disponibilizadas aos processos produtivos no país e têm o objetivo de estabelecer políticas de uso estratégico desse insumo (CRIVELIN, 2018). Essas instituições constituem uma estrutura social firmada de relações sistêmicas que envolvem o processo de transformação da energia primária até a utilização final por tipo de consumidor (COIMBRA, 2003; CRIVELIN, 2018). Tais relações são estabelecidas entre os componentes do setor elétrico, como: geração, transmissão e distribuição. As instituições que regulam e supervisionam o setor elétrico foram constituídas com o propósito de normatizar o setor e de buscar equilíbrio e harmonia entre estado, usuários e concessionárias de eletricidade (COIMBRA, 2003; BORGES; MONTEIRO, 2021).

O setor regulatório, por meio da Aneel, incentiva projetos comprometidos com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS (ODS BRASIL, 2022). De acordo com o Relatório 2020 da ODS, o mundo está progredindo de forma irregular e insuficiente em áreas como melhora da saúde materna e infantil, aumento da representação das mulheres no governo e expansão do acesso à eletricidade (PNUD BRASIL, 2020).

Nesse contexto, o acesso à

energia limpa se coloca como uma das molas propulsoras em prol do desenvolvimento sustentável, pois, de acordo com o objetivo sete dos 17 ODS, precisa-se assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. De acordo com Borges e Borges (2014), o desafio da agência vincula-se ao atendimento imediato da população, na criação de condições de fornecimento de eletricidade e articulação de ações utilizadas para lidar com aspectos sociais e ambientais. Assim, o problema deste estudo está centrado na seguinte indagação: de que forma a atuação regulatória da Aneel tem contribuído efetivamente para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico no Brasil? O estudo visa a uma contribuição efetiva ao fomento e ao desenvolvimento de pesquisas relacionadas à regulação no setor elétrico, de maneira a levantar, estrategicamente, subsídios ao processo decisório no setor elétrico brasileiro. O estudo pretende proporcionar a oportunidade de pensar o progresso dos indicadores de sustentabilidade no setor de energia elétrica, na intenção de beneficiar a melhoria do padrão de vida dos brasileiros. Infere-se a necessidade premente de orientar as organizações do setor de energia elétrica em direção a um ambiente de gestão sustentável, que possibilite a redução de externalidades socioambientais, favorecendo, desse modo, a elaboração de uma matriz de energia elétrica mais sustentável. O objetivo geral deste

estudo é analisar o desempenho da estrutura regulatória da Aneel em busca do desenvolvimento sustentável para o setor elétrico no Brasil, entre 2015-2020.

A pesquisa se justifica devido à inquietação de organizações intergovernamentais, grupos formados por países que estabelecem acordos e tratados, a fim de promover relações benéficas nos âmbitos econômico, social e político, os quais se unem no tocante à medição de níveis de sustentabilidade de eletricidade, bem como dos riscos pertinentes às atividades de geração, transmissão e distribuição deste insumo, representando um debate que gradualmente ganha destaque no cenário internacional. De acordo com. Conforme Glavi e Lukman (2007), as discussões sobre geração mais limpa de energia, redução dos gases poluentes, ecoeficiência, gestão socioambiental, economia verde e consumo sustentável crescem desde os anos da década de 2000 e despertam reflexões cada vez mais conscientes.

SUSTENTABILIDADE E TEORIA DA REGULAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO

O Relatório *Brundtland*, Publicado em 1987 – *Our Common Future*, elaborado pela comissão liderada por Gro Harlem Brundtland, evidenciou o conceito de desenvolvimento sustentável no cenário político mundial. Trouxe como definição dois conceitos-chaves

para o desenvolvimento sustentável: o conceito de necessidades, em particular as necessidades básicas dos mais pobres, as prioridades absolutas que devem ser dadas, e a ideia das limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social, existentes para atender às necessidades presentes e futuras (CAMPOS, 2011). O desenvolvimento sustentável seria produto do crescimento econômico, seguido da melhoria da qualidade de vida das pessoas.

O termo indicadores, conforme a OECD (2003), constitui-se como um parâmetro, ou decorrente deste, que disponibiliza informações a respeito de um fenômeno, a respeito de sua condição. Na percepção de Hammond (1995), seria uma espécie de recurso que deixa mais perceptível uma tendência, que não seja facilmente identificada. Com o propósito de verificar o estágio teórico dos indicadores, ocorreu em 1990 um estudo promovido pela *World Resources Institute* (WRI), que identificou o estado da arte dos indicadores e de seus termos e níveis de uso, com base em investigações que foram realizadas até aquele ano (HAMMOND *et al.*, 1995).

A Teoria da regulação nos Estado Unidos inicia com uma separação entre teorias regulatórias positivas e teorias regulatórias normativas. As teorias regulatórias positivas possuem o propósito de explicar a regulação e apresentar uma análise crítica de cada situação. Já as teorias regulatórias normativas atribuem maior importância à eficiência das atitudes regulatórias

do Estado, possuindo como propósito mister a tarefa de descobrir qual forma de regulação geraria os melhores resultados, mormente relacionados ao bem estar social, ao mesmo tempo em que importasse no mínimo de custos ao Estado (LUCCHESI, 2021).

A teoria da regulação na França, por sua vez, compreende o direito como sendo um fundamental dispositivo de regulação, de conciliação, que realizaria a relação indissociável entre economia e política. Dito de outra forma, ao contrário do que compreendem os americanos, a economia não deve ser destacada dos interesses da coletividade (LUCCHESI, 2021). De forma contrária à Escola Americana, a Escola de regulação Francesa compreende que a economia é dependente de outras disciplinas, sobretudo da sociologia, da história, e das ciências políticas. Nessa perspectiva, um de seus propósitos fundamentais e inerente às suas análises é traçar um mapa histórico das teorias econômicas (BOYER, 1998). A história ocupa um papel de destaque nesta escola, já que para ela muitos dos percalços econômicos podem ser solucionados se o foco ocorrer no que deu certo e o que deu errado no passado (BOYER, 1998).

No Brasil, os segmentos infra estruturais passaram por uma reestruturação proveniente da desestatização, o que ocasionou demandas pelo desenvolvimento de marcos reguladores (PIRES; PICCININI, 1999). Nas décadas de 2000 e de 2010, a administração

pública do país se direcionou para uma discussão vinculada ao tamanho ideal do Estado, quando na realidade, segundo Costa (2008), o que deveria ser mais imediato era compreender o Estado a partir de bases efetivamente sustentáveis.

METODOLOGIA

A estratégia metodológica deste estudo foi composta a partir de uma abordagem qualitativa de natureza descritiva. A abordagem qualitativa se evidencia na medida em que possibilita condições para percepção e compreensão a respeito do fenômeno (GIL, 2008), representado nesta investigação pelo posicionamento sustentável da Aneel diante de suas atribuições legais. A natureza descritiva se verifica na medida em que procura descrever as características de determinado fenômeno, a partir de peculiaridades na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados (GIL, 2008). Esta seção metodológica, para fins didáticos, foi dividida em duas partes: local de estudo e técnicas de pesquisa.

O local de estudo desta investigação foi o ambiente institucional da Aneel. A escolha pela Aneel se deu pelo desafio de analisar o desenvolvimento sustentável no setor elétrico brasileiro, pelas dificuldades enfrentadas no setor, como a dependência de chuvas, o alto valor das tarifas, a inadimplência, a ausência de conselhos, a falta de incentivos e investimentos em pesquisa e a

descarbonização, que é o processo de redução de emissões de gases na atmosfera, especialmente de dióxido de carbono.

A Agência Nacional de Energia Elétrica constitui-se como uma autarquia sob regime especial, isto é, como agência de regulação, ligada ao Ministério de Minas e Energia, sediada no Distrito Federal. A autarquia possui como propósito a regulação e fiscalização da geração, transmissão, distribuição e comercialização de eletricidade, de acordo com a legislação e em conformidade com as diretrizes e as políticas do governo federal, a Aneel foi criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, durante o primeiro mandato do Presidente Fernando Henrique Cardoso (BRASIL, 1996).

As técnicas de pesquisa utilizadas nesta investigação foram desenvolvidas a partir de três tarefas, a saber: coleta, tabulamento e análise de dados. A seguir, aborda-se cada uma destas tarefas.

a) Coleta de dados:

A coleta de dados realizada nesta investigação possui caráter bibliográfico e documental. No levantamento bibliográfico, foram examinados periódicos científicos, livros e sites vinculados aos termos: gestão pública, setor de energia elétrica, desenvolvimento sustentável, energia renovável, indicadores de sustentabilidade e teoria da regulação. O levantamento documental, foi apoiado em relatórios elaborados pela Aneel nas áreas de gestão, controle interno,

auditoria e pareceres pertinentes ao planejamento e ações executadas pela instituição. Citam-se os documentos relacionados para a análise da agência reguladoras de energia elétrica brasileira: Relatório anual; Relatório de demonstrações financeiras; Relatório de auditores independentes; e Relatório de proposição por atividade agenda regulatória indicativa. A disponibilidade pública desses documentos na internet e o perfil de conteúdo foram aspectos para a escolha destes dados.

O recorte temporal desta pesquisa ocorreu entre 2015 e 2020. A opção deste espaço temporal se deu em decorrência do alcance de resultados significativos em 2015, por meio da geração distribuída (ANEEL, 2021). A geração distribuída possibilita que uma unidade consumidora troque energia com a distribuidora local, com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica, o que caracteriza um marco tendencial do uso do insumo energético. E o ano de 2020, por representar o período mais atual, com dados completos e disponíveis para a apuração de indicadores.

b) Tabulamento de dados

O tabulamento de dados foi desenvolvido por meio da construção e apuração de um modelo institucional de indicadores de sustentabilidade energética, junto à Aneel. O processo de construção tomou por base os indicadores de sustentabilidade existentes na literatura especializada, na qual uma nova proposta foi elaborada a partir de aspectos

estratégicos e de viabilidade de consecução de dados. O critério de seleção das variáveis utilizadas para a composição dos indicadores correspondeu aos termos mais frequentemente identificados nas fontes de coleta de dados empregadas nesta investigação. Foram eles: acesso à informação, eficiência energética, poluição ambiental, fontes alternativas de geração de eletricidade, uso e conservação da eletricidade e acordos de integração. A partir dessas informações foram escolhidas as 10 melhores empresas publicadas no ranking da Aneel com melhor desempenho em 2020. Foram escolhidas para amostra e análise os relatórios de sustentabilidade de

2015 a 2020. Empresas que também estivessem elegíveis ao B3 bolsa de valores. São empresas de grande porte com mais de 400 mil unidades consumidoras são elas: Cosern; ETO; EPB; ESS; CPFL- Santa Cruz; EDP ES; Equatorial PA; Coelba, Energiza, Cemig, EPD; EMG; SEM e Copel.

O Quadro 1 apresenta a primeira parte da análise das três dimensões econômica, social e ambiental demonstrados pelo esboço da estrutura dos indicadores que foram elaborados e mensurados nesta proposta de investigação. No Quadro 2, apresenta-se a segunda parte da análise que se trata da dinâmica de construção dos indicadores a partir das faixas de intensidade.

Quadro 1. Estrutura do modelo de indicadores de sustentabilidade de Energia Elétrica.

INDICADOR	VARIÁVEIS
ECONÔMICO	• Investimentos em pesquisa e desenvolvimento • Investimentos em publicização com redução de perdas • Investimentos em conscientização quanto ao consumo de eletricidade • Redução do custo de acesso a geração de energia
SOCIAL	• Capacidade de estímulo a acordos globais • Promoção de acesso democrático aos Conselhos Locais mitigando geração de renda. • Acesso à informação energética e ampliação de rede • Incentivo a economia de energia e redução de custo • Abrangência/ampliação da rede de distribuição e concessão de benefícios sociais
AMBIENTAL	• Percentual de uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade • Mecanismos de redução da emissão de gases poluentes • Sistemas de controle do nível de eficiência energética • Percentual de incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D

A definição de pontuação referente as faixas se deram após análise das ações encontradas nos relatórios a qual foi estabelecida a relevância das ações em relação ao grau de importância da agência, no que tange à melhoria da qualidade de vida

das pessoas, a melhoria da prestação de serviços, quantidade de ações com impacto positivo relacionada ao desenvolvimento local e a geração de renda, ações ligadas a preservação do meio ambiente e a sociedade.

Quadro 2. Estrutura de construção dos Indicadores de Sustentabilidade Institucional.

INDICADOR	VARIÁVEL	FAIXA	NÍVEL
INDICADOR ECONÔMICO $IE = \frac{1+2+3+4}{4}$	Investimentos em pesquisa e desenvolvimento	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Investimentos em publicização com redução de perdas.	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Investimentos em conscientização quanto ao consumo de eletricidade	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Redução de custos de acesso e a geração de energia	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
INDICADOR SOCIAL $IS = \frac{1+2+3+4 + 5}{5}$	Capacidade de estímulo a acordos globais	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Promoção de acesso democrático à Conselhos locais mitigando geração de renda.	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Acesso à informação energética	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Incentivo à economia de energia e redução de custo	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
INDICADOR AMBIENTAL $IA = \frac{1+2+3+4}{4}$	Percentual de uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Mecanismos de redução da emissão de gases poluentes	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Sistemas de controle do nível de eficiência energética	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo
	Percentual de incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D	Acima de 15 11 a 14 7 a 10 Até 6	Alto Bom Médio Baixo

O modelo institucional de indicadores de sustentabilidade energética proposto foi composto pelas dimensões econômica, social e ambiental, em que cada dimensão foi formada por variáveis pertinentes à respectiva dimensão, e utilizou para cada indicador a escala likert de modo a atribuir uma escala de 1(um) a 4 (quatro), 1 (baixo) 2 (médio) 3 (bom) 4 (alto) de acordo o nível intensidade e frequência no atendimento do indicador.

Os resultados foram mensurados pela média de frequência e intensidade de cada indicador, dividido pelas quantidades de variáveis mensuradas pela escala likert.

Na conduta de apuração dos indicadores foi adotada a seguinte escala de intensidade para as variáveis quanto à sustentabilidade energética: Baixa - registro até 6 pontos; Média - registro entre 7 e 10 pontos; Bom - registro entre 11 e 14 pontos; e Alta - registro acima de 15.

A pontuação referente às faixas de intensidade que corresponderam aos níveis das variáveis de composição dos indicadores se deu em função da frequência das ações registradas nos relatórios institucionais pertinentes a cada uma dessas variáveis, bem como na observação direta da existência de mecanismos promotores da sustentabilidade, identificados

na literatura especializada ou em documentos técnicos de outras instituições. A partir da média ponderada dos indicadores econômico, social e ambiental, obteve-se o Índice de Sustentabilidade Institucional (ISA), que poderá ser tomado como referência global da atuação sustentável da Aneel, diante das demandas da sociedade brasileira.

A seguir, por meio do Quadro 3, apresenta-se a análise institucional com as descrições das variáveis que compuseram os indicadores de sustentabilidade de energia elétrica, pertinentes à dimensão institucional. A escolha das variáveis do Quadro 4 se justifica estrategicamente por estar alinhado aos 17 objetivos sustentáveis, mitigação da gestão de riscos propostos pelo ESG e alinhados à norma GRI, a *Global Reporting Initiative*, que é uma organização internacional de padrões independentes que ajuda empresas, governos e outras organizações a entender e comunicar seus impactos em questões, como mudanças climáticas, direitos humanos e corrupção. Este modelo segue diretrizes que se propõem a mitigação de impactos ambientais, econômicos e sociais em suas operações. Nesse sentido, temos variáveis com informações confiáveis, relevantes e padronizadas para o setor elétrico brasileiro.

Quadro 3. Descrição das variáveis que compuseram os indicadores de sustentabilidade de energia elétrica, pertinentes à dimensão institucional.

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
Investimentos em pesquisa e desenvolvimento	Gastos com captação de informações e levantamento de dados sobre mercado, clientes, tecnologias, inovação e novas tendências.

Investimentos em publicização com redução de perdas	Gastos com divulgação e ações relacionadas à redução de perdas para que as ações da agência se tornem públicas e mais efetivas.
Investimentos em conscientização quanto ao consumo de eletricidade	Gastos relativos a informe sobre o perfil de consumo e benefícios de conservação de energia elétrica.
Redução do custo de acesso a geração de energia.	Gastos relativos ao incentivo a geração de energia com ações de implantação de energia alternativas pela Aneel.
Capacidade de estímulo a acordos globais	Mecanismos promotores de acordos envolvendo organizações que venham a favorecer a sociedade.
Promoção de acesso democrático aos Conselhos locais mitigando geração de renda.	Capacidade de articulação de favorecimento da população, por meio de seus representantes, à participação democrática no ambiente energético fomentando a geração de renda.
Acesso à informação energética	Ações promotoras de aproximação da informação sobre geração e distribuição de energia, composição de preços e uso inteligente deste insumo.
Incentivo a economia de energia e redução de custo	Ações de incentivo à economia de energia com ganhos à sociedade
Abrangência/ampliação da rede de distribuição e concessão de benefícios sociais	Quantidade de rede distribuída e ações e quantidade de cadastros no programa baixa renda
Percentual de uso de fontes alternativas para a distribuição de eletricidade	Mecanismos de incentivo ao uso de fontes alternativas à fonte hídrica.
Mecanismos de redução da emissão de gases poluentes	Ações de controle da emissão de gases decorrentes da geração de energia elétrica, como CO ² e CH ⁴ .
Sistemas de controle do nível de eficiência energética	Ações que estimulem o monitoramento de mecanismos que gerem a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais ou a obtenção do mesmo serviço, com menos energia.
Percentual de incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D	Quantidade de projetos de incentivo à inovação e tecnologia ao incentivo do uso de energias renováveis.

A mensuração desse modelo institucional de indicadores de sustentabilidade se constituiu por meio de cálculo a partir dos dados obtidos junto à Aneel e relatórios independentes, balanço energético, relatórios de sustentabilidade nos anos de 2015 a 2020. O resultado desta mensuração de sustentabilidade energética se deu pela mensuração

e classificação da sustentabilidade a partir dos graus baixo, médio, bom e alto. Assim, será desenvolvida uma avaliação da capacidade presente da Aneel em atender de modo sustentável aos seus objetivos.

c) Análise de dados

Nesta tarefa, o modelo institucional de indicadores construído

e apurado na tarefa anterior foi detalhadamente analisado, por meio das dimensões econômica, social e ambiental, de modo a apurar a contribuição efetiva da Aneel para a distribuição sustentável de energia elétrica no Brasil. Esta análise tomou como perspectiva a oportunidade de levantamento de subsídios ao processo decisório junto ao setor elétrico brasileiro, particularmente junto a sua agência de regulação do insumo energético.

O papel da Aneel, enquanto órgão regulador, é estratégico na promoção de condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica progreda com equilíbrio entre os agentes e em benefício da população brasileira, logo, uma análise dimensional dos indicadores de sustentabilidade possibilitou uma compreensão mais aprofundada dos meandros que envolvem a sustentabilidade no âmbito do setor elétrico e criou condições para o fornecimento de elementos de orientação ao processo decisório dentre desse processo estratégico

de articulação institucional. Esta orientação decisória poderá se balizar, inclusive, a partir de cada dimensão apresentada no sistema de indicadores elaborado.

A análise que norteia este estudo é observada pelos princípios da sustentabilidade na medida em que busca mensurar sua efetividade através dos indicadores institucionais propostos nas dimensões econômicas, sociais e ambientais. Os indicadores de sustentabilidade trazem um cenário sistêmico com dados importantes para a tomada de decisão, mitigando riscos e proporcionando ações preventivas para evitar impactos negativos na imagem e na gestão das organizações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção será demonstrado o resultado das frequências de ações das distribuidoras de energia elétrica reguladas pela Aneel, publicados nos relatórios de sustentabilidade energética no ano de 2015 a 2020, mensurados pela escala likert (Quadro 4).

Quadro 4. Análise de Frequência de Ações por Níveis de Variáveis.

DIMENSÕES	VARIÁVEIS	RESULTADO	NÍVEL/ VARIÁVEL	NÍVEL/ DIMENSÃO
ECONÔMICA	Investimento com pesquisas e desenvolvimento.	14,384	Médio	Médio
	Investimentos em conscientização quanto ao consumo de eletricidade	7,050	Bom	
	Investimento em publicização e incentivo a redução de perdas	12,791	Bom	
	Redução do custo de acesso a geração de energia.	8,238	Médio	

SOCIAL	Capacidade de estímulo a acordos globais	6,0	Baixo	
	Promoção de acesso democrático aos Conselhos locais mitigando geração de renda.	5,0	Baixo	
	Incentivo a economia de energia e redução de custo	14,666	Médio	Médio
	Acesso à informação energética	12,79	Bom	
	Abrangência/ampliação da rede de distribuição e concessão de benefícios sociais.	14,819	Médio	
AMBIENTAL	Percentual de uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade	11,190	Bom	
	Investimento em eficiência energética	5,516	Baixo	Médio
	Mecanismos de redução da emissão de gases poluentes	5,243	Baixo	
	Percentual de incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D	14,38	Médio	

A Tabela 3 representa o resultado da frequência da quantidade de ações encontradas em cada variável de acordo com cada dimensão que ao serem divididas pela quantidade de variáveis chega-se ao grau de sustentabilidade energética verificadas por meio de relatórios publicados pela Aneel: balanço energético, a partir de documentos relacionados a análise da agentes reguladores de energia elétrica brasileira, relatório anual, relatório de sustentabilidade dos anos 2015 a 2020 das empresas do setor elétrico brasileiro, relatório de demonstrações financeiras, relatório de auditores independentes, relatório de proposição por atividade de agenda regulatória indicativa. A disponibilidade pública destes documentos na internet e o perfil de conteúdo foram aspectos relevantes para a escolha destes dados.

DIMENSÃO ECONÔMICA

Na dimensão econômica, no que se refere a investimento com pesquisas, obteve-se um resultado de 14,38, pontuação com um nível médio em relação a escala likert. O que justifica pelo investimento das concessionárias de energia, pesquisa de satisfação de clientes e inovação na utilização de novas mídias para atendimento, como sites, plataformas, atendimento pelo *WhatsApp*, gerando uma cadeia de valor aos clientes e a sociedade.

Em referência ao incentivo à economia, em relação a escala likert, obteve-se um resultado de 7,050, considerado bom para a variável. Obtida através das iniciativas como troca de programas de lâmpadas, geladeiras, conscientização da população com campanhas de orientação da utilização

da energia de forma consciente. Ações realizadas através de propagandas, mídia sociais, programa nas escolas em prol da melhoria da qualidade de vida da sociedade.

Em relação a investimento em publicização e incentivo a redução de perdas, observou-se um resultado de 12,79, bom dentro da escala likert. O que se justifica pelos programas de eficiência energética E+ energia, programas de incentivo a arrecadação, com premiação, cadastro da energia em dia, “engaja mais”, cadastro da tarifa social e tarifa branca e troca da fiação elétrica a famílias em vulnerabilidade social.

E por fim, na dimensão econômica, a variável de redução do custo e acesso à geração de energia, com pontuação 8,23, o que significa um resultado médio dentro da escala likert. Com oportunidades de melhorias, pois mesmo com a abertura de mercado para energia renovável ainda é pouco acessível a populações mais carentes. No contexto geral, a dimensão econômica, no período analisado, teve um bom desempenho, predominantemente médio, com registros para os anos de 2015 a 2020.

DIMENSÃO SOCIAL

Na dimensão social quando relacionada ao incentivo à economia de energia e redução de custo, obteve-se um resultado de 14,66, o que indica um bom resultado dentro da escala likert. Que se justifica, segundo a Aneel, pela implantação

de projetos de eficiência energética, que só em 2019 chega a gerar uma economia relativa a 335.894,77 MWH/Ano. Com uma redução de demanda na ponta de 92.851,17 KW/ANO, que se obteve um benefício energético de R\$ 116.948.495,10/Ano. Em relação à variável Investimentos Abrangência/ampliação da rede de distribuição e concessão de benefícios sociais em projetos sociais e culturais, obteve-se um índice médio de sustentabilidade com resultado de 14,31. Em referência à abrangência da rede de distribuição e concessão de benefícios sociais, obteve-se um resultado de 14,81, um índice médio, de acordo com a escala likert. No contexto geral, a dimensão social no período analisado teve um bom desempenho, predominantemente médio, com registros para os anos de 2015 a 2020.

DIMENSÃO AMBIENTAL

Na dimensão ambiental, no que se refere ao percentual de uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade, obteve-se um resultado de 11,19, o que mostra uma boa tendência, de acordo com o índice de sustentabilidade. Em referência ao Investimento em Eficiência Energética, ainda é muito baixo, com um resultado de 5,51. Porém, verificou-se que, segundo dados da Aneel, que o setor está em desenvolvimento, com média de investimentos de 68.758.439,68 ao ano, em 172 projetos, devido à abertura de mercado e investimento para as energias renováveis. A concessionária

de energia elétrica tem recebido incentivos no setor com uma evolução no que tange a investimentos realizados em programas de eficiência energética com maior índice de aplicabilidade, segundo a Aneel em 2019, com um resultado de 686.046,122,93 quando comparado ao menor índice de realização de investimentos em programas de eficiência energética e projetos P&D, no ano de 2016, com um resultado equivalente a 514.493,434,69.

Em relação ao mecanismo de redução da emissão de gases poluentes, obteve-se um índice de 5,24, muito baixo, e observou-se que, embora já se tenha ações voltadas nesse sentido, porém, ainda pode-se considerar tímida a efetividade das ações. Porém observou-se nesse estudo iniciativas importantes a caminho de ações de incentivo a descarbonização, por meio do incentivo à pesquisa

relacionada ao hidrogênio verde e de projetos e incentivo de políticas públicas direcionadas para este fim. De acordo com a EPE (2021), de 2013 a 2018, foram identificados 91 projetos associados a hidrogênio e a pilhas a combustível, com recursos totais na ordem de R\$ 34 milhões financiados pela Aneel, pela ANP e/ou pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). No contexto geral, a dimensão ambiental no período analisado teve um médio desempenho, com registros para os anos de 2015 a 2020.

ÍNDICE E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

No Quadro 5, será demonstrado o resultado da soma dos indicadores dividido pela quantidade de variáveis de cada indicador.

Quadro 5. Índice de Sustentabilidade Institucional (ISA).

INDICADOR	INTENSIDADE	ISA	NÍVEL
ECONÔMICO	10,61	3	MÉDIO
SOCIAL	10,65	3	MÉDIO
AMBIENTAL	9,22	3	MÉDIO
TOTAL		9	BOM

Observou-se que, a partir da média ponderada dos indicadores econômico, social e ambiental, quando somadas pelas variáveis de cada dimensão, obtivemos o ISA, Índice de Sustentabilidade Institucional, com um nível médio de grau 3, aos resultados foram mensurados pela média de frequência de cada indicador,

dividido pelas quantidades de variáveis mensuradas pela escala likert.

Ao analisar a pontuação referente às faixas de intensidade que correspondem aos níveis das variáveis da composição dos indicadores econômicos, observou-se que há uma frequência de ações registradas com um resultado positivo 10,61

o que aponta para um nível médio para o indicador. No indicador social, observou-se na pontuação referente à intensidade das ações uma média frequência com uma pontuação de 10,65 para o indicador. No Indicador Ambiental, na pontuação referente à intensidade das ações, obtivemos um resultado de 9,22 o que corresponde a um nível médio de frequência de ações sustentáveis para o indicador. Com este resultado positivo, é possível mensurar que o grau de maturidade do órgão regulador Aneel tem uma boa frequência de ações sustentáveis, diante do seu modelo institucional, o que confirma uma melhor efetividade para um desenvolvimento sustentável do setor elétrico no Brasil. A seguir, apresenta-se a análise dos indicadores econômico, social e ambiental.

Indicador econômico

O setor econômico é composto pela soma das variáveis de investimento em pesquisa e desenvolvimento, incluindo mais investimentos em publicização, com redução de perdas, mais investimentos em conscientização quanto ao consumo de eletricidade, mais redução de custos de acesso e geração de energia dividido pelas quatro variáveis. Quanto à variável que analisa a relação de investimento em pesquisa e desenvolvimento, observou-se o incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D, que objetiva a quantidade de projetos de incentivo à inovação e tecnologia, e ao incentivo do uso de energias renováveis, verificados

pelo crescimento considerável de projeto de inovação e tecnologia no setor. Isso se justifica devido a parcerias da Aneel com universidades e políticas de incentivos voltados para o setor de energias renováveis. Observou-se uma tendência de crescimento no setor, observada pelas campanhas e publicidades relacionadas ao incentivo ao Programa de Eficiência Energética (PEE), que tem por objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia. Promovendo, para tanto, que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica deverão aplicar anualmente um montante de sua receita líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico, conforme a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000.

Quanto aos investimentos em publicização, com redução de perdas, observou-se que a ampliação de rede e investimentos em programas, como a universalização. Incentivo de políticas públicas, como o Programa Mais Luz para a Amazônia, que objetiva levar energia a lugares de difícil acesso à rede, projetos e novas tecnologias, como os projetos de energia fotovoltaica com cooperativas locais, com um baixo custo para levar energia a comunidades ribeirinhas de todo país. Nesse sentido, investimentos em publicação tem um impacto positivo na conscientização, quanto ao consumo de eletricidade, e na redução de custos, proporcionando um incentivo a utilização e acesso a nova matriz de geração de energia mais sustentável.

Indicador social

O indicador social é formado pelas seguintes variáveis: capacidade de estímulos e acordos globais, mais promoção de acesso democrático a conselhos locais, mitigando geração de renda, mais acesso à informação energética, mais incentivo à economia de energia e redução de custo. Nesse sentido, a dimensão social foi analisada pela capacidade de estímulo a acordos globais demonstrados pela ratificação dos acordos assinados pelo Brasil em 2021, com o objetivo de subsidiar mecanismos que possam envolver as organizações no cumprimento de metas para favorecer o compromisso de uma sociedade mais sustentável. No aspecto da abrangência dos conselhos municipais observou-se também nesta pesquisa por meio de documentos que não temos uma participação efetiva dos conselhos municipais no processo decisório, o que fragiliza o processo democrático e a participação popular no processo democrático relativos ao setor. Tendo apenas os conselhos de consumidores de caráter consultivo, relacionado ao acompanhamento da prestação de serviços por meio das ouvidorias das concessionárias de energia e disponibilizada pela Aneel (2022).

Nessa perspectiva, faz-se necessário a criação de políticas públicas de incentivo e apoio à criação de conselhos municipais voltados a uma maior discussão sobre o tema, deixando como premissa a investigação para futuras pesquisas. No acesso à

informação energética e o incentivo à economia de energia e redução de custo, observou-se um resultado bom para variável. Esse resultado está relacionado à frequência das ações e ao incentivo à economia de energia com ganhos para a sociedade.

Indicador ambiental

O indicador ambiental é formado pelas variáveis compostas por percentual do uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade, mais mecanismos de redução da emissão de gases poluentes, mais sistema de controle do nível de eficiência energética, mais percentual de incentivo a projetos de inovação e tecnologia P&D. Nesse sentido, observou-se um aspecto positivo no que tange à variável do percentual de uso de fontes alternativas para a geração de eletricidade, que são mecanismos de incentivo ao uso de fontes alternativas à fonte hídrica. Este é um setor em pleno desenvolvimento, devido aos incentivos ao uso das energias renováveis, que representa um alto nível de sustentabilidade. Dentre as ações planejadas pela agenda regulatória da Aneel para o período de 2020 a 2021, a agência abriu a consulta pública (Consulta 006/2022) para a complementação da consolidação de normas sobre procedimento e requisitos de outorga de fontes eólica, fotovoltaica e termelétrica, abrangendo a participação da sociedade em relação ao aumento e incentivo ao percentual a diversificação da matriz energética.

Em relação aos mecanismos de redução de gases poluentes, esta ação ainda é muito discreta com uma variável, com um nível baixo na escala likert, não encontradas também ações deliberadas claramente na agenda regulatória da Aneel em 2021 e 2022, gastos públicos e incentivo ao meio ambiente, na medida em que não se identificou documentos que indiquem a intenção de uma programação de custos a esse fim. Porém foi encontrada uma referência para essa ação: relatórios de sustentabilidade anual das empresas no setor energético, com uma preocupação demonstrada ao investimento das distribuidoras, com projetos de Reciclagem em troca de desconto nas contas de energia elétrica, incentivados pela Aneel.

No que se refere à variável sistemas de controle do nível de eficiência energética, obtivemos um resultado ainda baixo. Porém, observou-se ações de incentivo ao controle de eficiência energética. Trata-se da referência no IDEC (Instituto Brasileiro de defesa do Consumidor), que por meio do incentivo e publicização de informações pertinentes ao setor elétrico, oferece ao consumidor na plataforma on-line “Consumo, para medir o impacto do seu estilo de vida sobre as mudanças climáticas e poder comparar a eficiência energética ao custo-benefício de eletrodomésticos (IDEC, 2022).

CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como foco

o estudo do ambiente da agência de regulação do setor elétrico brasileiro, a Aneel, com o propósito de entender de que forma a atuação regulatória da Aneel contribuiu efetivamente para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico no Brasil, no período de 2015 a 2020. Diante do panorama proposto, a partir dos resultados da pesquisa, foi verificado, em cômputo geral, que os resultados indicam uma efetividade razoável da agência para as ações sustentáveis no seu âmbito institucional.

Os resultados dos indicadores de sustentabilidade de energia elétrica no setor institucional da Aneel, nas dimensões econômicas, sociais e ambientais, durante o período 2015 a 2020, revelaram desempenhos predominantemente “médios”. Tais resultados direcionam para um bom grau de desempenho. No aspecto econômico, temos um desempenho médio. Analisa-se pela relação de investimento em pesquisa, desenvolvimento e incentivos pelos projetos de inovação e tecnologia P&D, corroborado também pela quantidade de projetos de incentivo à inovação e tecnologia. Embora tenhamos um resultado médio, é notória a falta de investimento e incentivo a políticas públicas voltadas para a população em vulnerabilidade social. A Aneel poderia contribuir com a busca de recursos externos e parcerias com ONGs que viabilizassem o acesso à energia renovável com custo mais acessível, o que, no contexto atual, ainda tem um custo alto e não está disponível para a maioria da população brasileira. Seria viabilizada, assim, uma

oportunidade de desenvolvimento para uma matriz energética exequível e mais sustentável.

No aspecto socioambiental, apresentou indicadores médios com sensível tendência decrescente, na medida em que não aponta incentivos para o cumprimento dos acordos globais, falta de investimento no setor e uma participação mais democrática a conselhos municipais.

Quanto à sustentabilidade, apresenta avanços significativos, porém ainda muito tímidos diante das exigências do setor, que clama por rapidez e efetividade na busca por uma matriz energética mais sustentável. A Aneel tem tomado iniciativas importantes para a promoção da participação da sociedade, por meio de reuniões abertas à participação da sociedade, porém ainda em caráter participativo e não decisório.

A Aneel obteve um bom resultado com grau nove de sustentabilidade de acordo com a escala likert, porém ainda com oportunidades de melhorias, no que se refere a políticas públicas mais assertivas em relação à sustentabilidade. A Agência vem contribuindo para esse desenvolvimento, mas ainda há grandes desafios na construção de uma matriz energética mais sustentável para o Brasil.

Diante do desafio de analisar os resultados e mensurar o desempenho institucional de sustentabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica, a partir da criação do Índice de Sustentabilidade Institucional

(ISA), verificou-se que a agência se encontra com um bom desempenho institucional quanto à sustentabilidade, a qual ainda se encontra em fase de desenvolvimento, com avanços gradativos em pesquisa e publicização, com redução de perdas, ampliação de rede e investimentos em programas como a universalização, tendo como ponto de melhoria a criação e incentivo de políticas públicas, como a retomada do Programa Mais Luz para a Amazônia, que objetiva levar energia a pessoas em lugares de difícil acesso à rede elétrica.

REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABBASI, S. A. **Biogas Energy**: Springer Science & Business Media. New York, NY: Springer, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Estrutura Organizacional**. Aneel: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/estrutura-organizacional>. Acesso em 18 mai. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 503, de 7 de agosto de 2012**. Modificaaestruturaorganizacional da ANEEL e altera o Regimento Interno aprovado pela Portaria MME n. 349, de 28 de novembro de 1997. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012503.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BORGES, F. Q. Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10). **Rev. Adm. Pública [online]**. vol.46, n.3p.737-751, 2012.

BORGES, F. Q. MONTEIRO, S. M. C. Energy sustainability and regulation theory: a theoretical analysis of indicators. **Journal of Research in Environmental and Earth Sciences**, v.7, n. 2, pp: 48-54, 2021.

BORGES, F. Q.; BORGES, F. Q. Desempenho institucional e a gestão da sustentabilidade: uma análise de indicadores na Aneel. **Revista Economia & Gestão**, v. 14, n. 35, abr./jun., 2014.

BORGES, F. Q.; ZOUAIN, D. M. A matriz elétrica no Estado do Pará e seu posicionamento na promoção do desenvolvimento sustentável. **Planejamento e Políticas públicas**, v. 35, p. 187-221, 2010.

BOYER, R. Economia e história: caminhando para novas alianças? In: BRAGA, J. C. S., THERÉT, B. **Regulação econômica e globalização**. Campinas: Instituto de Economia da Unicamp, 1998.

BRASIL. **Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e

dá outras providências.

BURSZTYN, M. Estado e meio ambiente no Brasil. In: BURSZTYN, M. **Para pensar o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 1998.

CAMARGO, A. S. G.; UGAYA, C. M. L.; AGUDELO, L. P. P. Proposta de definição de indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica. **Revista Educação e Tecnologia**. Rio de Janeiro: Cefet/PR/MG/RJ, 2004.

CAMPOS, C. S. **Relatório Brundtland – a versão original**. 2011. Disponível em: <https://ambiente.wordpress.com/2011/03/22/relatorio-brundtland-a-verso-original/>. Acesso em: 25 fev. 2022.

CARVALHO, Alan Ricardo Santos. **Gestão pública sustentável: a Agenda 2030 e o desenvolvimento local**. 2019.

COIMBRA, M. C. **O Estado Regulador**. Teresina: Jus Navigandi, 2003.

CRIVELIN, L. C. C. **Regulação da geração de energia elétrica por fontes alternativas: impactos da atuação da Aneel na diversificação da matriz energética brasileira e na construção de um modelo de desenvolvimento sustentável**. 2018. 180f. São Paulo. Ribeirão Preto: USP, 2018.

DAGNINO, R.; CAVALCANTI, P.

A.; COSTA, G. **Gestão estratégica pública**. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2016.

FURTADO, C. **Capitalismo global**. São Paulo: Paz e Terra, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J. Energy choices toward a sustainable future. **Environment**, v. 49, n. 10, pp. 7-17, dez. 2007.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators**: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington: WRI, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de desenvolvimento sustentável do Brasil**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 16 mar. 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable Energy Capacity Statistics**. New York: IRENA, 2015.

LIMA, P. D. B. **Excelência em gestão pública**. Recife: Fórum Nacional de

Qualidade, 2016.

LUCCHESI, R. **Teoria da Regulação e Agência Reguladora**. Disponível em: <https://rafaelucchesi.jusbrasil.com.br/artigos/152015530/teoria-da-regulacao-e-agencia-reguladora> Acesso em: 30 jul. 2021.

OCDE. Recomendação do Conselho sobre Política Regulatória e Governança. Paris, 2012.

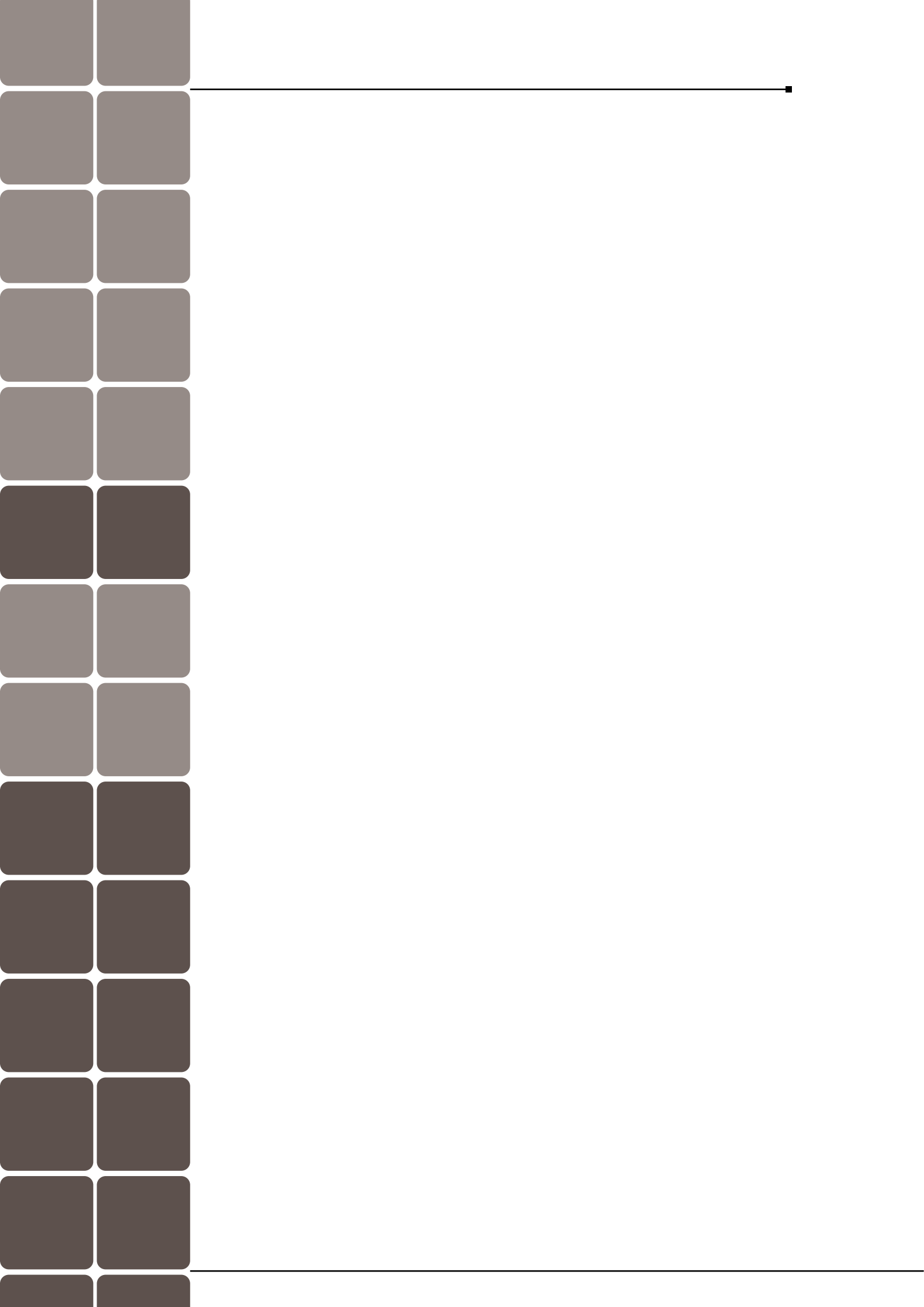
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sobre o SIN**.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Environmentally sustainable buildings**: challenger and policies. Paris: s/e, 2003.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Editora Manole, 2012.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. **Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT (WCED). **Uma visão geral**. Oxford: Universidade de Oxford, 1991.



Pobreza menstrual: uma realidade entre estudantes da Educação Básica em Belém/PA?

Menstrual poverty: a reality among Basic Education students in Belem/PA?

Agatha Gabrielle Campos dos Santos

Técnica em Saneamento. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. **Endereço:** Passagem Paulo Assunção, 400, Icuí-Guajará, Ananindeua/PA. **E-mail:** agatha.gabi08@gmail.com.

Amanda dos Santos Braga

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. Técnica em Saneamento.

Rafael Gouveia Alcântara

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. Técnico em Saneamento.

Vinicius Conrado Alcântara

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. Técnico em Saneamento.

Cezarina Maria Nobre Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – *Campus* Belém. Doutora em Ciências em Saúde Pública. Professora e pesquisadora.

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar as condições de acesso das pessoas que menstruam e que frequentam a Educação Básica a sanitários/banheiros seguros e a itens de higiene no ambiente escolar; e identificar sua percepção acerca da menstruação e da importância da água, durante o período menstrual. Com o uso de um roteiro de inspeção dos banheiros/sanitários escolares e de perguntas que nortearam uma entrevista com 22 estudantes do 5º ano do Ensino Fundamental, matriculadas em uma escola estadual localizada em Belém/PA, verificou-se que a pobreza menstrual é uma realidade entre as estudantes entrevistadas. O quadro de pobreza menstrual identificado é marcado: 1) pela falta de acesso à água (na área de banho e nos lavatórios onde há torneiras sem funcionamento) e a absorventes higiênicos e sabonete; 2) pelas intercorrências de falta de papel higiênico e de limpeza nos banheiros/sanitários.

Palavras-chave: Pobreza menstrual. Instalações hidrossanitárias. Água. Escolas. Belém do Pará.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the access of people who menstruate and who attend Basic Education to safe toilets/bathrooms and hygiene items in the school and to identify their perception about menstruation and the importance of water during the menstrual period. Using an inspection guide for schools toilets/bathrooms and an interview with 22 students in 5th year of Fundamental School, located in Belem/PA, it was found that menstrual poverty is a reality among the students interviewed. The menstrual poverty identified is marked by: 1) the lack of access to water (in the bathing area and in the in the bathroom where there are non-functioning taps) and to sanitary pads and soap; 2) due to the lack of toilet paper and cleaning in the toilets/bathrooms.

Keywords: Menstrual poverty. Hydraulic and sanitary facilities. Water. Schools. Belém of Pará.

INTRODUÇÃO

Desde 2014, a Organização das Nações Unidas considera o acesso à higiene menstrual como uma questão de saúde pública e de direitos humanos (BRASIL, 2020).

Na Agenda 2030, por meio da qual foram propostos, por essa instituição, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), consta o ODS 6, que se refere à água limpa e ao esgotamento sanitário. Especificamente, tal ODS dá especial atenção às necessidades das mulheres quanto à higiene e à *pobreza menstrual* (ONU, 2015).

A pobreza menstrual, também chamada de precariedade menstrual, é definida como sendo a situação de precariedade e vulnerabilidade econômica e social à qual bilhões de pessoas menstruantes (mulheres, meninas, homens transexuais e pessoas não binárias) estão submetidas (ASSAD, 2021) no mundo, e que se manifesta por meio (UNICEF, 2021):

1. da falta de acesso a produtos adequados para o cuidado da higiene menstrual, tais como absorventes descartáveis, absorventes de tecido reutilizáveis, coletores menstruais descartáveis ou reutilizáveis, calcinhas menstruais, etc., além de papel higiênico e sabonete, entre outros;
2. de questões estruturais como a ausência de banheiros seguros e em bom estado de conservação, saneamento básico (água potável, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos);
3. da falta de acesso a medicamentos para administrar problemas menstruais e/ou carência de serviços médicos;
4. da insuficiência ou incorreção nas informações sobre a saúde menstrual e autoconhecimento sobre o corpo e os ciclos menstruais;
5. de tabus e preconceitos sobre a menstruação, que resultam na segregação de pessoas que menstruam de diversas áreas da vida social;
6. de questões econômicas como, por exemplo, a tributação sobre os produtos menstruais e a mercantilização dos tabus sobre a menstruação com a finalidade de vender produtos desnecessários e que podem fazer mal à saúde;
7. de efeitos deletérios da pobreza menstrual sobre a vida econômica e o desenvolvimento pleno dos potenciais das pessoas que menstruam.

Segundo Rocha *et al.* (2022), a pobreza menstrual é encontrada em todo o mundo, mas apresenta-se de acordo com as particularidades de cada região específica. Afeta, de maneira preponderante, os países

economicamente mais vulneráveis.

Em termos globais, uma em cada 10 meninas falta às aulas durante o período menstrual (UNICEF, 2021). No Brasil, essa proporção é maior, pois uma entre quatro estudantes já passou por essa restrição, por não dispor de absorventes.

Observa-se que o problema afeta pessoas jovens, uma vez que a menarca, entre as menstruantes brasileiras, em média, ocorre aos 13 anos de idade, sendo que quase 90% delas passam por essa experiência entre 11 e 15 anos de idade (UNICEF, 2021). Isto significa que a falta às aulas contribui, por exemplo, para privá-las de vivenciar plenamente esse importante período de suas vidas para socialização, formação de laços e conhecimento do mundo (BRASIL, 2022).

O estudo realizado pelo UNICEF, dentre outras contribuições para a compreensão da pobreza menstrual no Brasil, caracteriza quantitativamente o problema por região geográfica, informando que:

- na região Norte, o percentual de meninas sem acesso a banheiro em suas escolas chega a quase 8,4%;
- quatro meninas da região Norte, para cada menina do Sudeste, estudam em escolas que não possuem separação de banheiros por gênero;
- o risco relativo de uma menina da região Norte não ter a sua disposição papel higiênico nos banheiros das

escolas em que estudam é 271% a mais que uma menina do Sudeste.

Com o fim de contribuir para ampliar o conhecimento a respeito na Amazônia, com destaque para o município de Belém, uma vez que nenhuma referência a estudos similares locais foi encontrada em busca realizada nas plataformas SciELO e Google Acadêmico, propõe-se o presente estudo, que parte, então, da seguinte pergunta: a pobreza menstrual se manifesta no município de Belém entre estudantes da Educação Básica?

Objetiva-se, com ele: 1) avaliar as condições de acesso das pessoas que menstruam e que frequentam a Educação Básica a sanitários/banheiros seguros e a itens de higiene no ambiente escolar; 2) identificar a percepção das pessoas alvo do estudo acerca da menstruação e da importância da água, durante o período menstrual.

Nas seções seguintes estão apresentadas a metodologia empregada, os resultados obtidos e sua discussão e as considerações finais.

METODOLOGIA

Este estudo integra uma abordagem qualitativa e quantitativa do objeto, conforme referem VÍCTORA, Kanauth e Hassen (2000).

Foi selecionada uma instituição escolar da Educação Básica, localizada em Belém, buscando-se realizar contato prévio com sua direção e corpo docente,

a fim de obter-se a autorização para o acesso da equipe de pesquisadores às pessoas menstruantes matriculadas.

Para alcançar o objetivo específico 1 (avaliar as condições de acesso das pessoas que menstruam e que frequentam a Educação Básica a sanitários/banheiros seguros e a itens de higiene no ambiente escolar), foi utilizado um roteiro de inspeção.

Tal instrumento possibilitou a avaliação do acesso a sanitários/banheiros seguros e separados por gênero, a identificação do tipo de cabine neles existente (única ou múltiplas), as condições de ventilação e iluminação, a disponibilização de água, de papel e absorventes higiênicos e de sabonete, além do estado de conservação e limpeza das instalações.

Quanto ao objetivo 2 (identificar a percepção das pessoas alvo do estudo acerca da menstruação e da importância da água, durante o período menstrual), foi realizada entrevista, em meio a diálogo informal, com tais pessoas, tendo-se solicitado que comentassem sobre o que é, para elas, a menstruação e qual a importância que atribuem à água durante o período menstrual.

Destaca-se que o estudo respeitou os preceitos da Resolução nº 196/1996, do Conselho Nacional de Saúde do Ministério da Saúde, que trata de pesquisa envolvendo seres humanos, levando em consideração, também, os pressupostos contidos na Resolução nº 466/2012/CONEP.

No momento da abordagem de cada participante, foram prestados

esclarecimentos a respeito da pesquisa, assim como seus riscos, benefícios e o caráter sigiloso assegurado a sua identidade (identificação por números garantindo seu anonimato). Por se tratar de pessoas que ainda não haviam alcançado a maioridade, sua participação foi condicionada à autorização expressa de seu responsável legal, mediante assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Pela proximidade do Campus do IFPA e pela pronta receptividade oferecida à demanda dos pesquisadores, foi selecionada para a realização deste estudo uma Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio cujo nome não será revelado de modo a assegurar a confidencialidade da identidade das entrevistadas.

Entre os meses de outubro a dezembro de 2022, os pesquisadores tiveram acesso às turmas do 5º Ano do Ensino Fundamental, turnos matutino e vespertino, perfazendo um total de 22 alunas, às quais foi endereçado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aos cuidados da professora responsável pelas turmas.

Relativamente ao objetivo 1, verificou-se que os sanitários/banheiros são separados por gênero.

Os três sanitários/banheiros destinados para o uso feminino:

- dispõem de cabine única (33%; n=1) e cabines

- múltiplas (66%; n=2);
- não dispõem de área de banho em funcionamento (100%; n=3);
- são ventilados e com iluminação adequada (100%; n=3);
- asseguram acesso à água (100%; n=3) nas torneiras que estão em funcionamento;
- disponibilizam papel higiênico (100%; n=3);
- não disponibilizam absorventes higiênicos e sabonete (100%; n=3);
- apresentam-se em bom estado de conservação (100%; n=3);
- apresentavam, no momento da inspeção, diferentes condições de limpeza: boa (33%; n=1); precária (33%; n=1); péssima (33%; n=1).

Tendo em vista o estudo do UNICEF (2021), estes dados revelam que as menstruantes da escola em estudo, em Belém:

- não fazem parte do grupo que compreende 8,4% das estudantes da região Norte que não têm acesso a banheiros na escola;
- não estão dentro da proporção de uma menina do Sudeste para quatro do Norte que não têm banheiros separados por gênero na sua escola;
- não estão sob risco relativo 271% maior que as meninas

do Sudeste quanto a não ter acesso a papel higiênico nos banheiros escolares.

Contudo, não é possível, ainda assim, considerar que são plenamente adequadas as condições dos banheiros/sanitários que as menstruantes utilizam em sua escola, uma vez que eles deveriam:

- oferecer mais acesso à água se a área de banho e todas as torneiras estivessem em funcionamento;
- dispor de absorventes higiênicos e sabonete;
- dispor de papel higiênico sem intercorrências de falta;
- apresentar sempre condições de limpeza.

Assim sendo, considera-se que tais achados sinalizam para a ocorrência de pobreza menstrual entre as entrevistadas, o que deverá ser objeto de atenção das autoridades escolares e da gestão educacional do governo do Estado.

Uma providência para a superação desse quadro – ainda que parcial, uma vez que não apresenta solução para todos os problemas identificados – já foi tomada e diz respeito à recém-aprovada Lei Estadual nº 10.047, de 6 de setembro de 2023, que institui o Programa *Dignidade Menstrual nas Escolas*, vinculado à Secretaria de Estado de Educação (SEDUC) (PARÁ, 2023a).

De acordo com o que estabelece o Programa, as escolas estaduais

deverão adquirir produtos relacionados à higiene menstrual para as pessoas que menstruam, em consonância com diretrizes definidas pela SEDUC, a quem caberá a execução do Programa mediante a celebração de contratos, convênios e parcerias com órgãos e entidades da Administração Pública, assim como com pessoas jurídicas.

Para a operacionalização do Programa, o Conselho Escolar de cada escola poderá receber transferência direta de recursos, conectando-se e beneficiando-se do que está previsto em outra política estadual: o *Programa Dinheiro na Escola Paraense*, criado pela Lei Estadual nº 9.978, de 6 de julho de 2023 (PARÁ, 2023b).

É importante destacar a relevância do Programa, mas também questionar a distribuição de absorventes higiênicos como solução, especialmente dos que contêm plástico para evitar vazamentos, uma vez que são conhecidos os impactos ambientais decorrentes de seu uso em larga escala (MOLLE E SANTANA, 2020).

Quanto ao objetivo 2 (identificar a percepção das pessoas alvo do estudo acerca da menstruação e da importância da água, durante o período menstrual), observa-se, de acordo com os resultados, que as entrevistadas:

- associam a menstruação ao sangue (32%; n=7), ao desconforto causado pela dor/ cólica (27%; n=6) e à passagem da infância para a adolescência (“se tornar mocinha”) (23%; n=5);
- consideram a água

importante para sua higiene no período menstrual (91%; n=20), sendo que as demais (9%; n=2) não souberam responder.

Relativamente à menstruação, tais achados estão em linha com o que relatam Brêtas *et al.* (2011) e Menegotto (2022) em seus estudos realizados sobre a temática entre meninas de escolas de Embu das Artes/SP e meninas da periferia de Porto Alegre/RS, respectivamente.

No que tange à importância da água para higiene menstrual, observa-se que a maioria das entrevistadas reconhece, o que está em consonância com o que a ciência médica informa e comprova e que é ratificado em diversos estudos (CASSIMIRO *et al.*, 2022) e pelo ODS 6, ao destacar o acesso a saneamento e higiene adequados, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas (ONU, 2015).

O fato de que duas entrevistadas não souberam se posicionar a respeito sinaliza para a necessidade da realização de ações educativas correlatas na escola, a fim de esclarecer acerca de algo tão relevante para a saúde feminina.

Ao encontro dessa necessidade, cabe destacar a importância do Programa *Dignidade Menstrual nas Escolas* (PARÁ, 2023a), já referido, que prevê a promoção do acesso à informação sobre saúde e higiene menstrual, por meio de ações e/ou campanhas educativas.

Além disso, o Programa também

prevê:

- especializar profissionais da educação da rede pública estadual nos temas relativos à saúde da mulher, pobreza menstrual e suas consequências no contexto educacional;
- construir canais de comunicação nas unidades escolares, por meio dos profissionais da educação, a fim de garantir uma rede de apoio às pessoas que menstruam.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a pobreza menstrual é uma realidade entre as estudantes da Educação Básica matriculadas na EEEFM em estudo, em Belém/PA.

Tal ocorrência, nesse caso, caracteriza-se não pela falta de acesso a banheiros na escola, devidamente separados por gênero, ou de papel higiênico. Trata-se, de fato, de algo menos severo, ao comparar-se com outras realidades, mas que, ainda assim, impõe condições limitantes aos direitos menstruais das pessoas menstruantes matriculadas.

O quadro de pobreza menstrual em questão é marcado: 1) pela falta de acesso à água na área de banho e nos lavatórios onde há torneiras sem funcionamento e a absorventes higiênicos e sabonete; 2) pelas intercorrências de falta de papel higiênico e de limpeza nos banheiros/

sanitários.

Relativamente à percepção das entrevistadas sobre o que vem a ser a menstruação, observou-se que é coincidente com a apresentada por meninas de outras realidades brasileiras: associação com o sangue, o desconforto pela dor e o amadurecimento físico designado pela expressão “se tornar mocinha”.

Destaca-se também o reconhecimento apenas majoritário (e não unânime) da importância da água para a higiene menstrual, o que revela a necessidade de ações educativas sobre saúde menstrual na escola.

Para a superação desse quadro, considera-se extremamente relevante a implantação do Programa *Dignidade Menstrual nas Escolas*. Contudo, essa iniciativa não é suficiente, uma vez que o Programa contempla somente uma parte do problema: a disponibilização de absorventes higiênicos. Tal medida, inclusive é questionável, tendo em vista os impactos ambientais causados por absorventes que contêm plástico.

Recomenda-se a extensão da pesquisa em outras escolas e a ampliação de seu escopo, de modo a investigar a incidência de pobreza menstrual no ambiente residencial das pessoas menstruantes, seu conhecimento e autopercepção a respeito, dentre outros interessantes desdobramentos que o tema enseja.

REFERÊNCIAS

ASSAD, B. F. Políticas públicas acerca

da pobreza menstrual e sua contribuição para o combate à desigualdade de gênero. **Revista Antinomias**, v. 2, n. 1. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional dos Direitos Humanos. **Recomendação nº 21**. Recomenda ao Presidente da República, ao Presidente da Câmara dos Deputados e ao Presidente do Senado Federal, a criação de um marco legal para superar a pobreza menstrual e a garantia de isenções de impostos de produtos. 2020.

BRASIL. O que é pobreza menstrual e por que ela afasta estudantes das escolas. **Senado Notícias**. 2022. Acesso em: 08 jun. 2022. Disponível em: O que é pobreza menstrual e por que ela afasta estudantes das escolas — Senado Notícias.

BRÊTAS, J. R. S; TADINI, A. C; FREITAS, M. J. D; GOELLNER, M. B. Significado da menarca segundo adolescentes. **Acta Paulista de Enfermagem**. v.25, n.2; p. 249-55. 2012.

CASSIMIRO, J. C.; CRUZ, B. C. P.; MOREIRA, C. B; SANTOS, M. C. T; PEIXOTO, M. C. Desafios no combate à pobreza menstrual: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 5181-5193. 2022.

MENEGOTTO, J. M. Experiências menstruais de meninas adolescentes

da periferia de Porto Alegre. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais, PUCRS. Porto Alegre. 2022.

MOLLE, N; SANTANA, R. M. C. Estudo comparativo do impacto ambiental dos produtos íntimos femininos reutilizáveis e descartáveis, externos e internos. **Forum Internacional de Resíduos Sólidos. Anais**. Porto Alegre. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/91>. Acesso: 13 out. 2023.

ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). A/RES/70/1. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. **Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**. 2015.

PARÁ. Lei nº 10.047. **Cria o Programa Dignidade Menstrual nas Escolas, vinculado à Secretaria de Estado de Educação (SEDUC)**. 2023a.

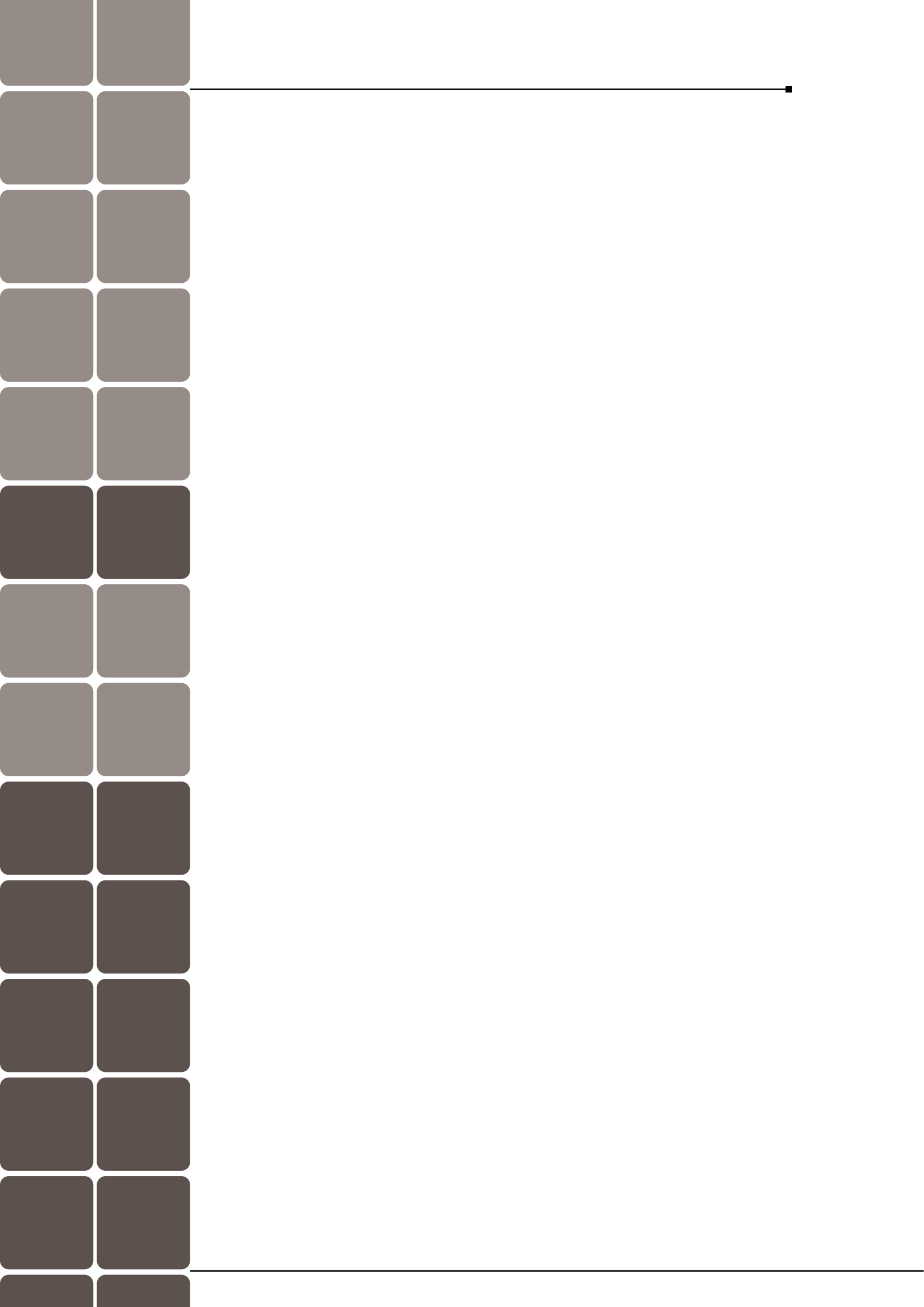
PARÁ. Lei nº 9.978. **Cria o Programa Dinheiro na Escola Paraense, vinculado à Secretaria de Estado de Educação (SEDUC)**. 2023b.

ROCHA, I. C; SÁ, M. M; NASCIMENTO, D. C. M; RODRIGUES, J. G; SILVA, V. C. A; SHIRAISHI, L. S; SANTOS, A. C. Y. M. B; TRIVELIN, M. L. O. A. A. Pobreza menstrual no mundo: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.2, p. 10704-

10714. 2022.

UNICEF. **Pobreza menstrual no Brasil: desigualdades e violações de direitos**. UNICEF/UNFPA, 2021.

VÍCTORA, C. G; KANAUTH, D. V; HASSEN, M.N.A. **Pesquisa Qualitativa em Saúde: uma introdução ao tema**. Tomo Editorial. 2000.



Agentes protetores contra danos causados pelo mercúrio

Protective agents against damage caused by mercury

Lorena Araújo da Cunha

Professora de Ciências e Biologia da Secretaria de Estado de Educação do Pará (SEDUC). Doutora em Neurociência e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará. **Endereço:** Cidade Nova 5, WE 29, 951. Coqueiro. CEP: 67133-120. Ananindeua/PA. **E-mail:** cunhala.bio@gmail.com.

Carlos Alberto Machado

Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Doutor em Neurociências e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará.

RESUMO

Metais pesados que poluem os ecossistemas, como o mercúrio, são importantes devido a sua toxicidade. O metilmercúrio, além de acumular em diversos tecidos do corpo de diferentes seres vivos, atua a partir de um mecanismo de mimetismo molecular, devido sua afinidade com o grupo sulfidrila de importantes enzimas, causando efeitos histopatológicos, citotóxicos e genotóxicos. Considerando seus efeitos deletérios, atualmente, muitos estudos investigam agentes que apresentem efeitos protetores capazes de eliminar ou diminuir os efeitos desse metal. O selênio, compostos bioativos como fenóis e flavonoides e o hormônio prolactina apresentam atividades protetoras, podendo atuar como antioxidantes, antimutagênicos e anticitotóxicos. Diferentes bioindicadores e biomarcadores são considerados, em variadas abordagens de pesquisa, na perspectiva de propor alternativas na proteção contra os danos causados pelo mercúrio.

Palavras-chave: Dano induzido por mercúrio; Proteção; Selênio; Flavonoides; Prolactina.

ABSTRACT

Heavy metals that pollute ecosystems, such as mercury, are important due to their toxicity. Methylmercury, in addition to accumulating in various tissues of the body of different living beings, acts through a mechanism of molecular mimicry, due to its affinity with the sulfhydryl group of important enzymes, causing histopathological, cytotoxic and genotoxic effects. Considering its harmful effects, many studies currently investigate agents that present protective effects capable of eliminating or reducing the effects of this metal. Selenium, bioactive compounds such as phenols and flavonoids and the hormone prolactin have protective activities and can act as antioxidants, antimutagens and anticytotoxic agents. Different bioindicators and biomarkers are considered, in different research approaches, with a view to proposing an alternative to protect against damage caused by mercury.

Keywords: Mercury-induced damage; Protection; Selenium; Flavonoids; Prolactin.

INTRODUÇÃO

A poluição dos ecossistemas com metais pesados, como o cromo, chumbo e mercúrio, é, atualmente, um dos desafios ambientais mais importantes devido à toxicidade, estabilidade e persistência no meio ambiente (SIRAJ et al., 2018).

O mercúrio, representado pelo símbolo Hg (derivado do latim *hydrargyrum*), é um metal inodoro e corresponde a um elemento químico de transição, de caráter metálico, com número atômico 80, número de massa 201 e alta densidade ($13,6 \text{ g/cm}^3$). Em sua forma elementar, apresenta-se como um líquido denso, prateado, nas condições normais de temperatura e pressão (SCHROEDER & MUNTHER, 1998).

Como ilustrado na Figura 1, o mercúrio ocorre nos vários compartimentos da natureza (hidrosfera, litosfera, atmosfera e biosfera) e entre os compartimentos há um contínuo fluxo desse metal. Normalmente o mercúrio encontra-se em baixas concentrações no ambiente e o aporte antrópico ocorre através de indústrias que queimam combustíveis fósseis, produção eletrolítica de cloro-soda, produção de acetaldeído, incineradores de lixo, polpa de papel, tintas, pesticidas, fungicidas, lâmpadas de vapor de mercúrio, baterias, produtos odontológicos, amalgamação de mercúrio em extração de ouro, entre outros (MICARONI, 2000).



Figura 1. Origem e ciclo global do mercúrio no ambiente.

Fonte: ROCHA, 2009.

O mercúrio pode ser considerado uma das toxinas mais importantes em relação à exposição humana. Essa exposição resulta de uma infinidade de atividades humanas, incluindo exposição ocupacional não intencional, ingestão de alimentos e obturações dentárias de amálgama. O mercúrio também é frequentemente usado como ingrediente em produtos para a pele e cosméticos e como componente industrial em vários produtos farmacêuticos e conservantes de vacinas (EL ASAR et al., 2019).

EFEITOS CAUSADOS PELO MERCÚRIO

O mercúrio orgânico, sobretudo o metilmercúrio (MeHg), quando ingerido, é absorvido quase em sua totalidade e

isso se deve à sua cinética relacionada à solubilidade lipídica. O Sistema Nervoso Central (SNC) é o principal alvo da ação tóxica do metal, porém outros sistemas também são atingidos e sofrem a ação do MeHg (BELÉM FILHO, 2015; ACHATZ *et al.*, 2021). Além dos órgãos do sistema nervoso, o fígado, os rins e o sangue acumulam mercúrio em níveis elevados. Cunha *et al.* (2022) observaram um aumento do nível sérico de mercúrio, além de danos histopatológicos e alterações nos parâmetros bioquímicos renais e hepáticos em camundongos, quando expostos ao MeHg. Em humanos, o mercúrio pode ser encontrado também no leite materno e no cabelo (BERGLUND *et al.*, 2005; ASCHNER *et al.*, 2007).

A ação e distribuição do MeHg ocorre através do mecanismo de mimetismo molecular, favorecido pela combinação deste metal com grupos de proteínas e aminoácidos, como a cisteína, formando o complexo metilmercúrio-cisteína, devido à sua afinidade com o grupo sulfidril das moléculas (NASCIMENTO *et al.*, 2008). Ao se ligar aos grupos sulfidrilas, o MeHg compromete a ação de mecanismos enzimáticos, podendo exercer função supressora sobre o crescimento celular (PATRICK, 2002).

O MeHg também atua na interrupção da homeostase do cálcio intracelular, alteração do potencial de membrana, alteração da síntese de proteínas, severo dano mitocondrial, apoptose, estresse oxidativo, rompimento ou comprometimento

da polimerização de microtúbulos e, em consequência, alterações cromossômicas (PATRICK, 2002; SILVA, 2014).

A ação genotóxica do MeHg pode ser caracterizada pelos efeitos na rede estrutural de microtúbulos, o que leva ao descontrole na distribuição de cromossomos, além da geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) que causam danos diretamente ao material genético (CANO, 2014). Biomarcadores de genotoxicidade como os rearranjos cromossômicos, a formação de micronúcleos e o aumento do índice de danos ao material genético, como demonstrado pelo ensaio cometa, revelam essa ação do metal em diferentes organismos e tipos celulares (ROCHA *et al.*, 2011a e 2011b; SILVA-PEREIRA *et al.*, 2014; CRESPO-LOPEZ *et al.*, 2016; GALEANO-PÁEZ *et al.*, 2020; CUNHA *et al.*, 2022).

Os micronúcleos provêm de fragmentos cromossômicos acêntricos ou cromossomos inteiros que se atrasaram e não foram incorporados ao núcleo principal da célula-filha durante a divisão celular. O ensaio cometa também conhecido como SCGE (*single cell gel electrophoresis*), é uma técnica sensível de análise e quantificação de danos primários ao DNA de células individuais (ROCHA *et al.*, 2023).

A ação neurotóxica do MeHg é descrita como teratogênica, imunotóxica, mutagênica e carcinogênica, podendo levar a um desenvolvimento deficiente, debilidade generalizada e morte prematura (CLARKSON, MAGOS & MYERS, 2003). A indução de morte

celular é um dos principais efeitos tóxicos do mercúrio no cerebelo, uma das regiões do encéfalo onde são mais observados os efeitos desse metal; entretanto, também já foram observadas alterações no córtex cerebral de organismos expostos (TU *et al.*, 2021; CUNHA *et al.*, 2022). A ação do MeHg em células do sistema nervoso também já foi avaliada *in vitro*; Santos (2008) observou em células gliais do córtex cerebral de ratos neonatos uma redução na viabilidade celular e o aumento de alterações morfológicas, como núcleos em picnose.

IMPORTÂNCIA E ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO

Além das numerosas análises sobre efeitos tóxicos do mercúrio

elementar e compostos mercuriais, em anos mais recentes passaram a ser comuns na literatura estudos com diferentes químicos (elementos, compostos ou misturas) capazes de eliminar ou, ao menos, minimizar tais efeitos nocivos (ROCHA *et al.*, 2023). Esses autores destacam, entre os agentes protetores, o selênio, diversos extratos vegetais e o hormônio prolactina (Tabela 1).

As principais atividades dos agentes protetores contra danos causados por mercúrio são como antioxidantes, antimutagênicos e anticitotóxicos. Por outro lado, a significativa capacidade antioxidante de numerosos extratos vegetais deve-se à presença de compostos bioativos, como fenóis e flavonoides.

Tabela 1. Principais agentes protetores contra efeitos tóxicos causados por mercúrio.

Agente protetor	Espécies	Células/Tecidos/Órgãos	Referências
Selênio	<i>Stenella plagiodon</i> (Golfinho)	Cultura de células renais	Wang <i>et al.</i> , 2001.
	<i>Mus musculus</i> (Camundongo)	Fígado, rim, cérebro e cerebelo	Freitas, <i>et al.</i> , 2009.
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Fígado e cérebro	Corte, 2012.
	<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilápia do Nilo)	Sangue	Cogun <i>et al.</i> , 2012.
	<i>Clarias gariepinus</i> (Catfish africano)	Gônadas	Ibrahim, <i>et al.</i> , 2019
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Adenohipófise	El Asar <i>et al.</i> , 2019
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Cerebelo	Tu <i>et al.</i> , 2021
	<i>Neophoca cinerea</i> (Leão marinho australiano)	Sangue	Taylor <i>et al.</i> , 2022
Flavonoides	<i>Homo sapiens</i> (Homem)	Linhagem celular HepG2	Barcelos <i>et al.</i> , 2011a
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Sangue e fígado	Barcelos <i>et al.</i> , 2011b

	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Sangue e fígado	Manzolli et al., 2015
	<i>Homo sapiens</i> (Homem)	Cultura de células de cerebelo	Pamplona et al., 2015
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Sangue e rim	Shin et al., 2015
	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Sangue e fígado	El-Hussieny et al., 2020
	<i>Allium cepa</i> (Cebola)	Bulbo e raiz	Çavuşoğlu et al., 2022
Prolactina	<i>Rattus norvegicus</i> (Rato)	Cultura glial de córtex cerebral	Santos, 2008
	<i>Saguinus oedipus</i> (Macaco sagui)	Linhagem celular B95-A	Jesus, 2012
	<i>Homo sapiens</i> (Homem)	Cultura de linfócitos e linhagem celular HL-60	Silva-pereira et al., 2014
	<i>Geophagus brasiliensis</i> (Acará)	Sangue	Conceição & Lima, 2020
	<i>Mus musculus</i> (Camundongo)	Sangue, fígado e rim	Cunha et al., 2022

SELÊNIO

Não metal do grupo dos calcogênios na classificação periódica dos elementos químicos, o selênio (Se) é um micronutriente essencial, que ganhou reconhecimento por suas propriedades antioxidantes. O ser humano geralmente ingere Se através da dieta e as fontes alimentares particularmente ricas em Se são espinafre, castanha do Pará e outras sementes, carnes, caranguejo, atum, cogumelos, ostras, mexilhões e ovos (HOSSAIN *et al.*, 2018).

O Se é um componente das chamadas proteínas do selênio, ou seja, das selenoenzimas antioxidantes, como a glutathione peroxidase. Provavelmente o Se pode neutralizar ou minimizar

a toxicidade do Hg através de dois processos distintos: um envolvendo alterações na distribuição e deposição de Hg e outro envolvendo a modulação de selenoenzimas antioxidantes (FREITAS, *et al.*, 2009).

Entre os estudos que avaliaram a capacidade do Se em proteger contra efeitos nocivos do mercúrio, merece ênfase o de Ibrahim et al. (2019), com o aparelho reprodutor masculino do bagre africano *Clarias gariepinus*. Foram utilizados diversos biomarcadores, com destaque para os parâmetros seminais, hormônios gonadais, as enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutathione peroxidase (GPx), porcentagem de fragmentação do DNA, o óxido nítrico (ON) e alterações

histopatológicas nos testículos. Os resultados mostraram uma diminuição significativa na contagem e motilidade dos espermatozoides, bem como nos hormônios gonadais dos grupos expostos ao Hg. A exposição ao Hg também induziu um declínio em SOD, CAT e GPx, enquanto a fragmentação de DNA e óxido nítrico aumentaram significativamente nos testículos de *C. gariepinus* em relação ao grupo controle. Embora a exposição ao Se não tenha reduzido o grau de bioconcentração do mercúrio nos testículos, os parâmetros de qualidade espermática foram recuperados. Além disso, a atividade de GPx aumentou significativamente após a exposição dos peixes ao Se. Também foram parcialmente normalizados o ON, CAT e SOD quando comparados com os grupos expostos apenas ao Hg. Assim, a exposição ao Se teve efeito protetor, uma vez que restaurou parcialmente os valores dos parâmetros bioquímicos e da qualidade do esperma em peixes tratados com Hg.

FLAVONOIDES

Os polifenóis desempenham um papel importante nas plantas como mecanismos de defesa contra pragas e patógenos e possuem potentes propriedades antioxidantes. Em termos de aplicações na saúde, o interesse aumentou consideravelmente nas fontes antioxidantes naturais, uma vez que podem retardar o progresso de muitas doenças neurodegenerativas importantes (PAMPLONA *et al.*, 2015).

Os compostos fenólicos podem se dividir em flavonoides e não flavonoides (ácidos fenólicos). Os flavonoides são moléculas com uma estrutura benzopirano fenólica e estão presentes nas plantas predominantemente como glicosídeos. Os flavonoides podem ser divididos em seis subclasses: flavonóis, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas e flavanóis (EL GHARRAS, 2009).

Pamplona *et al.* (2015) utilizaram extrato de folhas de *Swietenia macrophylla* (mogno), rico em flavonoides, para investigar seu potencial efeito citoprotetor em um modelo *in vitro* de neurodegeneração, usando culturas cerebelares primárias expostas ao MeHg. A exposição concomitante das mesmas culturas ao MeHg e extrato de folhas de mogno resultou em um aumento significativo na viabilidade celular em todas as concentrações testadas, sugerindo fortemente que devido ao seu alto teor de compostos antioxidantes, o extrato de folhas de mogno proporciona citoproteção significativa contra a neurotoxicidade *in vitro* induzida por MeHg.

Um dos flavonóides dietéticos é a crisina (CR), encontrada principalmente no maracujá, mel e própolis. Um estudo de Manzolli *et al.* (2015) avaliou os efeitos antioxidantes da CR frente ao dano oxidativo induzido pelo MeHg em ratos Wistar. A glutatona (GSH) no sangue foi quantificada espectrofotometricamente e para monitoramento de danos ao DNA foi utilizado o ensaio cometa em leucócitos e hepatócitos. A exposição ao

MeHg levou a um aumento significativo na formação de cometas e diminuiu os níveis de GSH; quando os animais foram expostos ao metal na presença de CR, as maiores concentrações do flavonoide apresentaram efeitos protetores, reduzindo o índice de danos ao DNA e restaurando os níveis de GSH. Tais resultados indicam que o consumo de flavonoides como a CR pode proteger contra os efeitos adversos à saúde causados por MeHg.

Prolactina

A prolactina (PRL) é um hormônio proteico produzido e secretado principalmente pela glândula hipófise. Em humanos, a PRL é codificada por um gene no cromossomo 6, constituído por cinco éxons e cinco íntrons, tendo 10kb de comprimento. A PRL é uma proteína composta por 199 aminoácidos (CUNHA & ROCHA, 2021).

Além de estimular a produção de leite pelas glândulas mamárias (lactogênese), a PRL atua também na mamogênese, galactopoiese e angiogênese, bem como em numerosas outras atividades biológicas (ROCHA *et al.*, 2023). As diversas funções desempenhadas pela PRL e pelas vias de sinalização por ela ativadas, podem estar relacionadas aos efeitos protetores que esse hormônio exerce sobre diferentes tecidos e em diferentes situações experimentais (CUNHA & ROCHA, 2021).

Um dos primeiros experimentos, nesse contexto, foi realizado por SANTOS (2008) em cultura de astrócitos

(células da glia) de ratos neonatos. Como era de se esperar, a exposição de culturas ao MeHg promoveu diminuição da viabilidade (avaliada pelo ensaio do MTT) e da proliferação celular. Porém, ao receberem PRL essas células gliais tiveram aumento da viabilidade e do índice mitótico.

No experimento de SILVA-PEREIRA *et al.* (2014), o efeito citoprotetor da PRL contra a ação mercurial foi avaliado em cultura de linfócitos humanos e na linhagem HL-60 (leucemia) expostas ao MeHg. A PRL reduziu a indução de poliploidias causada pelo xenobiótico, evidenciando ação desse hormônio contra o efeito mutagênico do mercúrio; a partir da análise do índice mitótico, observou-se também uma redução na citotoxicidade causada pelo metal, revelando a ação do hormônio como fator co-mitogênico e inibidor de apoptose. Os resultados do experimento, somados do acesso à literatura sobre biologia molecular, permitiram propor o mecanismo mostrado na Figura 2 para a atividade protetora da prolactina em linfócitos humanos expostos ao MeHg.

Uma vez demonstrado o efeito protetor da prolactina contra os danos causados pelo mercúrio *in vitro*, nosso grupo de pesquisa passou às análises *in vivo*. A primeira intervenção foi no trabalho de Conceição & Lima (2020) com *Geophagus brasiliensis*. A exposição ao MeHg ocorreu por via hídrica e a PRL por injeção intraperitoneal. Utilizou-se o teste do micronúcleo em eritrócitos do peixe, evidenciando-se efeito altamente

significativo da PRL contra os danos mutagênicos induzidos por MeHg.

Finalmente, um estudo mais abrangente (CUNHA *et al.*, 2022) foi conduzido com camundongos (*Mus musculus*) de ambos os sexos. Após 45 dias de tratamentos, demonstrou-se de

maneira significativa uma redução nas alterações de parâmetros bioquímicos renais (ureia e creatinina) e hepáticos (AST e ALT) e de efeitos mutagênicos (micronúcleos) na presença da prolactina, em comparação com os efeitos isolados do metal.

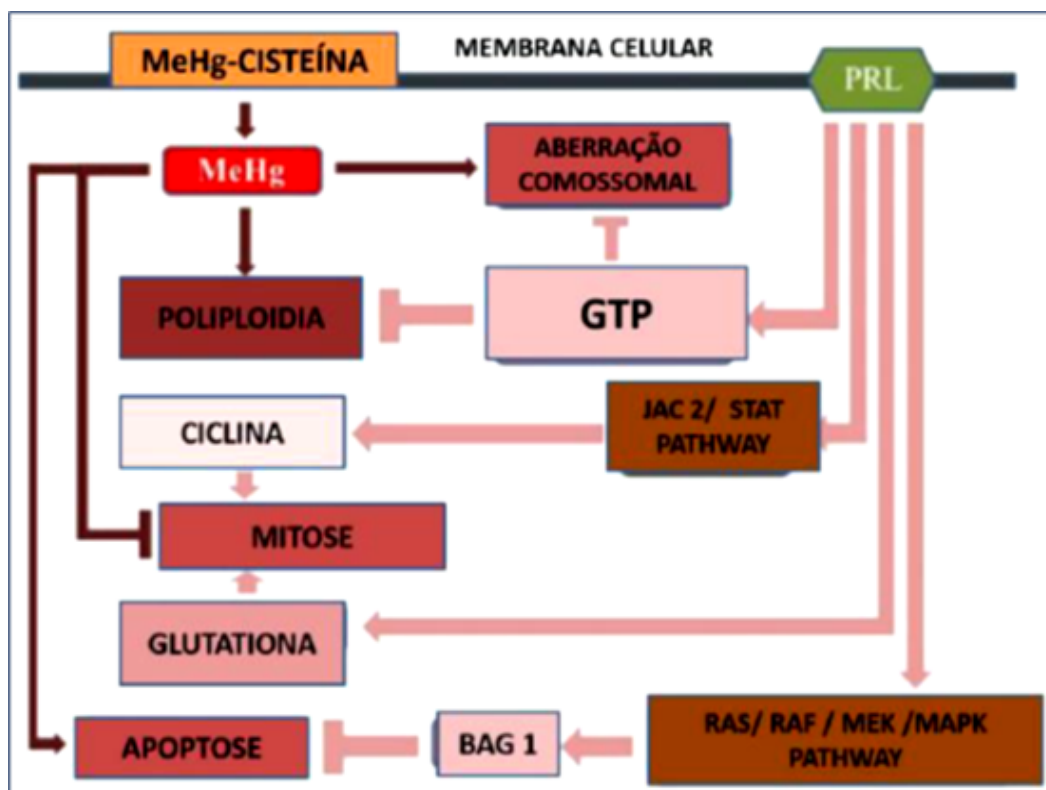


Figura 2. Mecanismo proposto para a atividade protetora da prolactina (PRL) contra os efeitos citotóxicos e mutagênicos do metilmercúrio (MeHg).

Fonte: SILVA-PEREIRA *et al.*, 2014.

CONCLUSÃO

Selênio, flavonoides e prolactina, além de outros produtos naturais (como melatonina, bixina e norbixina) e produtos sintéticos (como trimetazidina e *N*-acetilcisteína) vêm sendo pesquisados quanto às suas ações protetoras contra o mercúrio. Por meio de diferentes bioindicadores e biomarcadores, essas pesquisas

vêm fornecendo contribuições na perspectiva de propor, no futuro, opções de suplementação nutritiva como alternativa para prevenir os prejuízos causados pelo mercúrio, principalmente em populações mais expostas ao metal.

REFERÊNCIAS

ACHATZ, R. W.; VASCONCELLOS,

A. C. S.; PEREIRA, L.; VIANA, P. V. S.; BASTA, P. C. Impacts of the Goldmining and Chronic Methylmercury Exposure on the Good-Living and Mental Health of Mundurucu Native Communities in the Amazon Basin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18(17), 8994. 2021.

ASCHNER, M.; SYVERSEN, T.; SOUZA, D. O.; ROCHA, J. B.; FARINA, M. Involvement of glutamate and reactive oxygen species in methylmercury neurotoxicity. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 40(3), 285-291. 2007.

BARCELOS, G. R. M.; GROTO, D.; ANGELI, J. P. F.; SERPELONI, J. M.; ROCHA, B. A.; BASTOS, J. K.; BARBOSA JR, F. Evaluation of antigenotoxic effects of plant flavonoids quercetin and rutin on HepG2 cells. **Phytotherapy Research**, 25(9), 1381-1388. 2011a.

BARCELOS, G. R. M.; GROTO, D.; SERPELONI, J. M.; ANGELI, J. P.; ROCHA, B. A.; OLIVEIRA-SOUZA, V. C.; VICENTINI, J. T.; EMANUELLI, T.; BASTOS, J. K.; ANTUNES, L. M.; KNASMÜLLER, S.; BARBOSA JR, F. Protective properties of quercetin against DNA damage and oxidative stress induced by methylmercury in rats. **Archives Toxicology**, 85(9), 1151-1157. 2011b.

BELÉM-FILHO, I. J. A. **Efeitos neurocomportamentais e no estresse oxidativo da exposição concomitante**

ao metilmercúrio e etanol em ratas da adolescência à fase adulta. 117 p. Dissertação (mestrado em Ciências Farmacêuticas), Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pará. 2015.

BERGLUND, M.; LIND, B.; BJÖRNBERG, K. A.; PALM, B.; EINARSSON, O.; VAHTER, M. Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: a cross-sectional assessment. **Environmental Health**, 4. 2005.

CANO, T. M. Efeitos deletérios e teratogênicos da exposição ao mercúrio. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, 3(3). 2014.

CLARKSON, T. W.; MAGOS, L.; MYERS, G. J. The toxicology of mercury - current exposures and clinical manifestations. **New England Journal of Medicine**, 349, 1731-1737. 2003.

COGUN, H. Y.; FIRAT, O.; FIRAT, O.; YÜZEREROĞLU, T. A.; GÖK, G.; KARGIN, F.; KÖTEMEN, Y. Protective effect of selenium against mercury-induced toxicity on hematological and biochemical parameters of *Oreochromis niloticus*. **Journal of Biochemical and Molecular Toxicology**, 26(3), 117-122. 2012.

CONCEIÇÃO, R. C. S.; LIMA, S. S. C. **Avaliação in vivo do potencial antimutagênico da prolactina contra os danos causados pelo mercúrio em *Geophagus brasiliensis* (Quoy &**

Gaimard, 1824). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. 2020.

CORTE, C. L. D. **Efeitos de compostos orgânicos de selênio frente à toxicidade induzida por glutamato e metilmercúrio.** 142 p. Tese (doutorado em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica), Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria. 2012.

CRESPO-LOPEZ, M. E.; COSTA-MALAQUIAS, A.; OLIVEIRA, E. H.; MIRANDA, M. S.; ARRIFANO, G. P.; SOUZA-MONTEIRO, J. R.; SAGICA, F. E.; FONTES-JUNIOR, E. A.; MAIA, C. S.; MACCHI, B. M.; NASCIMENTO, J. L. Is Low Non-Lethal Concentration of Methylmercury Really Safe? A Report on Genotoxicity with Delayed Cell Proliferation. **PLoS One**, 11(9), e0162822. 2016.

CUNHA, L. A. & ROCHA, C. A. M. Prolactin: a hormone of several protective effects. In: Luis Henrique Almeida Castro (Org.). **Ciências da saúde: pluralidade dos aspectos que interferem na saúde humana** 5. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 5, 106-121. 2021.

CUNHA, L.; BONFIM, L.; LIMA, G.; SILVA, R.; SILVA, L.; LIMA, P.; OLIVEIRA-BAHIA, V.; FREITAS, J.; BURBANO, R.; ROCHA, C. In vivo evaluation of the potential protective effects of prolactin against

damage caused by methylmercury. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 13, n. 55: e11976. 2022.

ÇAVUŞOĞLU, D.; MACAR, O.; MACAR, T. K.; ÇAVUŞOĞLU, K.; YALÇIN, E. Mitigative effect of green tea extract against mercury (II) chloride toxicity in *Allium cepa* L. model. **Environmental Science and Pollution Research**, 29, 27862-27874. 2022.

EL ASAR, H. M., MOHAMMED, E. A., ABOULHODA, B. E., EMAM, H. Y., IMAM, A. A. Selenium protection against mercury neurotoxicity: Modulation of apoptosis and autophagy in the anterior pituitary. **Life Sciences**, 15, (231), 116578. 2019

EL GHARRAS, H. Polyphenols: food sources, properties and applications – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, 44, 2512-2518. 2009.

EL-HUSSEIN, E. A.; MATOUG, M. M.; EL-SAYED, W. M. The attenuation of mercuric chloride toxicity by flavonoids in male albino rats is independent on the number of hydroxyl groups on b-rings. **Egyptian Journal of Zoology**, 73, 1-15. 2020.

FREITAS, A.S.; FUNCK, V.R.; ROTA MDOS, S.; BOHRER, D.; MÖRSCHBÄCHER, V.; PUNTEL, R.L.; NOGUEIRA, C.W.; FARINA, M.; ASCHNER, M.; ROCHA, J.B. Diphenyl

diselenide, a simple organoselenium compound, decreases methylmercury-induced cerebral, hepatic and renal oxidative stress and mercury deposition in adult mice. **Brain Research Bulletin**, 79(1), 77-84. 2009.

GALEANO-PÁEZ, C.; ESPITIA-PÉREZ, P.; JIMENEZ-VIDAL, L.; PASTOR-SIERRA, K.; SALCEDO-ARTEAGA, S.; HOYOS-GIRALDO, L. S.; GIODA, A.; SAINT'PIERRE, T. D.; GARCÍA, S. C.; BRANGO, H.; ESPITIA-PÉREZ, L. Dietary exposure to mercury and its relation to cytogenetic instability in populations from "La Mojana" region, northern Colombia. **Chemosphere**, 265, 129066. 2020.

HOSSAIN, K. F. B.; RAHMAN, M. M.; SIKDER, M. T.; SAITO, T.; HOSOKAWA, T.; KURASAKI, M. Inhibitory effects of selenium on cadmium-induced cytotoxicity in PC12 cells via regulating oxidative stress and apoptosis. **Food and Chemical Toxicology**, 114, 180-189. 2018.

IBRAHIM, A. T. A.; BANAEI, M.; SUREDA, A. Selenium protection against mercury toxicity on the male reproductive system of *Clarias gariepinus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, 225:108583. 2019.

JESUS, M. I. **Avaliação do efeito protetor da Prolactina em Linfócitos expostos a ação do Metilmercúrio**. 57 p. Dissertação (mestrado em Neurociências e Biologia Celular), Instituto de Ciências Biológicas,

Universidade Federal do Pará. 2012.

MANZOLLI, E. S.; SERPELONI, J. M.; GROTTI, D.; BASTOS, J. K.; ANTUNES, L. M.; BARBOSA JR, F.; BARCELOS, G. R. Protective effects of the flavonoid Chrysin against Methylmercury-induced genotoxicity and alterations of antioxidant status, in vivo. **Oxidative Medicine Cellular Longevity**, 2015: 602360. 2015.

MICARONI, R.; BUENO, M.; JARDIN, W. Compostos de Mercúrio: revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**, 23, 487-495. 2000.

NASCIMENTO, J. L.; OLIVEIRA, K. R.; CRESPO-LOPEZ, M. E.; MACCHI, B. M.; MAUÉS, L. A.; PINHEIRO, M. C.; SILVEIRA, L. C.; HERCULANO, A. M. Methylmercury neurotoxicity and acclimation defenses. **Indian Journal of Medical Research**, 128,373-382. 2008.

PAMPLONA, S.; SÁ, P.; LOPES, D.; COSTA, E.; YAMADA, E. E.; SILVA, C.; ARRUDA, M.; SOUZA, J.; SILVA, M. In Vitro Cytoprotective Effects and Antioxidant Capacity of Phenolic Compounds from the Leaves of *Swietenia macrophylla*. **Molecules**, 20(10), 18777-18788. 2015.

PATRICK, L. N. D. Mercury toxicity and antioxidants: part 1: role of glutathione and alpha-Lipoic acid in the treatment of mercury toxicity. **Alternative Medicine Review**, 7(6), 456-471. 2002.

ROCHA, C.A.M. **Avaliação da genotoxicidade do cloreto de metilmercúrio em duas espécies de peixes neotropicais**. Tese (Doutorado em Neurociências e Biologia Celular), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará. 2009.

ROCHA, C. A. M.; CUNHA, L. A.; PINHEIRO, R. H. S.; BAHIA, M. O.; BURBANO, R. M. R. Studies of micronuclei and other nuclear abnormalities in red blood cells of *Colossoma macropomum* exposed to methylmercury. **Genetics and Molecular Biology**, 34(4), 694-697. 2011a.

ROCHA, C. A. M.; CAVALCANTI, B.; PESSOA, C.Ó.; CUNHA, L.A.; PINHEIRO, R. H. S.; BAHIA, M. O.; RIBEIRO, H.; CESTARI, M.; BURBANO, R. M. R. Comet Assay and Micronucleus Test in Circulating Erythrocytes of *Aequidens tetramerus* Exposed to Methylmercury. **In Vivo**, 25(6), 929-934. 2011b.

ROCHA, C. A. M.; MONTEIRO, J. A. N.; CUNHA, L. A.; REIS, H. S.; SÁ, P. R. C. Animais aquáticos como bioindicadores de mercúrio na Amazônia. In: Willian Carboni Viana; Danielle Mariam Araujo Santos. (Org.). **Amazônia: tópicos atuais em ambiente, saúde e educação**. 1ed. Guarujá (SP): Científica Digital, 2, 79-100. 2023.

SANTOS, A. C. M. **Efeitos protetores da Prolactina em cultivo glial de córtex de ratos expostos ao metilmercúrio**. 67 p.

Dissertação (mestrado em Neurociências e Biologia Celular) Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará. 2008.

SHIN, Y. J.; KIM, J. J.; KIM, Y. J.; KIM, W. H.; PARK, E. Y.; KIM, I. Y.; SHIN, H.; KIM, K. S.; LEE, E.; CHUNG, K. H.; LEE, B. M.; KIM, H. S. Protective Effects of Quercetin Against HgCl₂-Induced Nephrotoxicity in Sprague-Dawley Rats. **Journal of Medicinal Food**, 18(5), 1-11. 2015.

SILVA, D. A. **Efeitos citotóxicos da exposição ao mercúrio e à cisplatina: estudo hemodinâmico**. Dissertação (mestrado em Ciências Fisiológicas-Fisiologia Cardiovascular) Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.

SILVA-PEREIRA, L. C.; ROCHA, C. A. M.; CUNHA, L. R.; COSTA, E. T.; GUIMARÃES, A. P.; PONTES, T. B.; DINIZ, D. L.; LEAL, M. F.; MOREIRA-NUNES, C. A.; BURBANO, R. R. Protective Effect of Prolactin against Methylmercury-Induced Mutagenicity and Cytotoxicity on Human Lymphocytes. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 11, 9822-9834. 2014.

SIRAJ, N.; HAKAMI, Y.; KHAN, A. Medical Hypoparathyroidism. **Endocrinology and Metabolism Clinic of North America**, 47(4), 797-808. 2018.

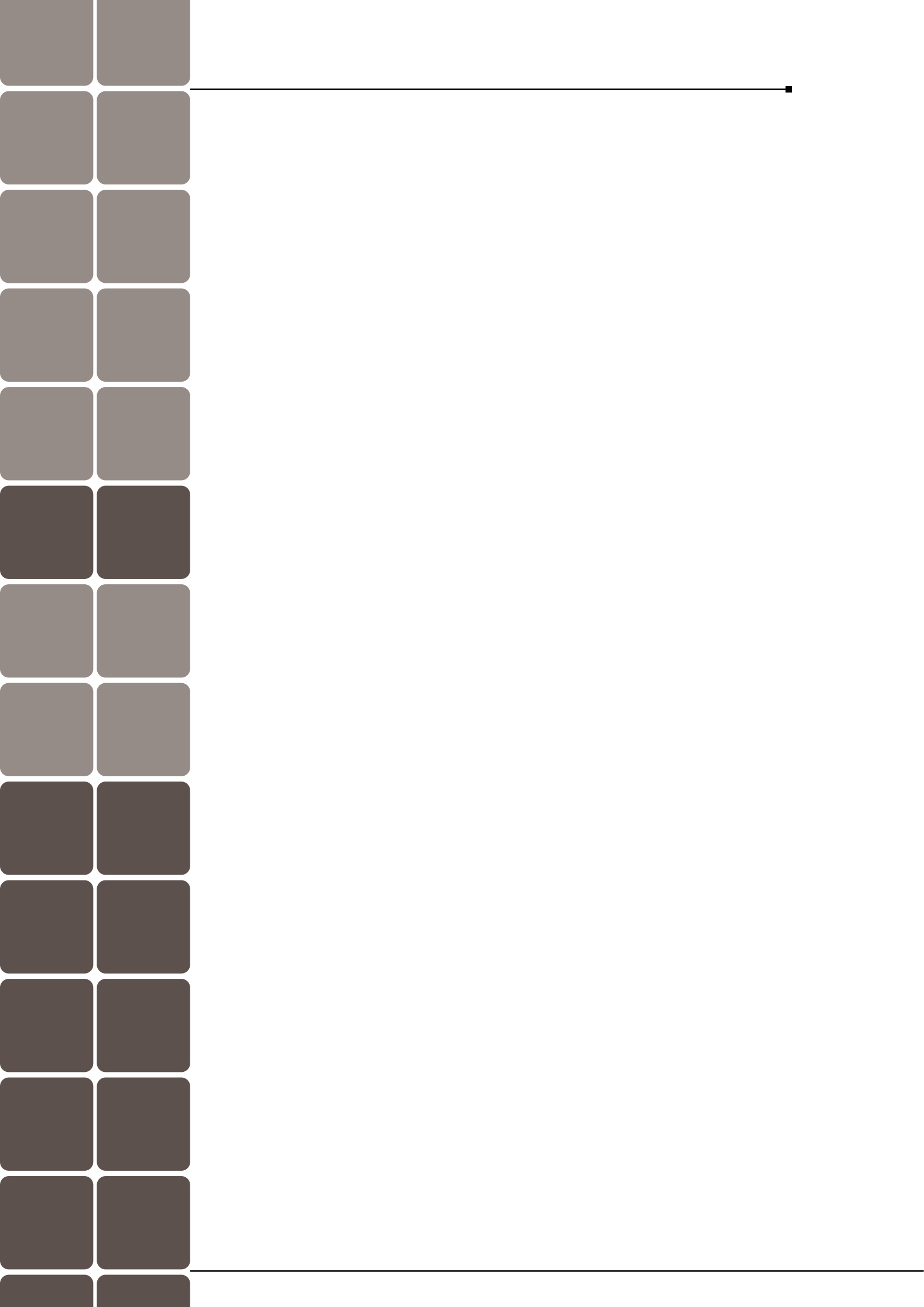
SCHROEDER, W. H. & MUNTHER, J. Atmospheric Mercury – An overview. **Atmospheric Environment**, 32(5), 809-

822. 1998.

TAYLOR, S.; TERKILDSEN, M.;
MCQUILTY, R.; LEE, D.; WING-SIMPSON,
A.; GRAY, R. Non-essential heavy metals
and protective effects of selenium against
mercury toxicity in endangered Australian
sea lion (*Neophoca cinerea*) pups with
hookworm disease. **Environment
International**, 169, 107521. 2022.

TU, R.; ZHANG, C.; FENG, L.; WANG, H.;
WANG, W.; LI, P. Impact of selenium on
cerebellar injury and mRNA expression in
offspring of rat exposed to methylmercury.
**Ecotoxicology and Environmental
Safe**, 223, 112584. 2021.

WANG, A.; BARBER, D.; PFEIFFER, C.
Protective Effects of Selenium Against
Mercury Toxicity in Cultured Atlantic
Spotted Dolphin (*Stenella plagiodon*)
Renal Cells. **Archives of Environmental
Contamination and Toxicology**, 41, 403-
409. 2001.



Efeito quantitativo dos parâmetros de fluxo de calor na evolução estrutural da liga Al3Cu5Nb solidificada horizontalmente

Quantitative effect of heat flow parameters on the structural evolution of horizontally solidified Al3Cu5Nb alloy

Hugo André Magalhães de Azevedo

Engenheiro de Materiais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará - UFPA. **Endereço:** Avenida Celso Malcher, 550. Terra Firme. CEP.: 66.077-000. Belém/PA. **E-mail:** hugo_azevedo@hotmail.com.

Evaldo da Cruz Hoffmann

Graduando do Curso de Engenharia de Materiais no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém.

Bruno Yuji Goto Feio

Graduando do Curso de Engenharia de Materiais no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém.

Otávio Fernandes Lima da Rocha

Professor/Pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém. Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP/São Paulo/Brasil.

RESUMO

Ligas fundidas Al-xCu (x=3 a 5%) são muito utilizadas nas indústrias automobilísticas por apresentarem elevada resistência mecânica (RM). A adição de elementos de ligas de alto ponto de fusão, tal como o nióbio, permitem-nas o alcance de RM em altas temperaturas. Sabe-se que o correto controle das estruturas brutas de fundição permite projetar melhor essas propriedades. Nesse sentido, visando estudar os efeitos de parâmetros térmicos de solidificação (PTS), tais como a velocidade da isoterma *liquidus* e taxa de resfriamento (V_L e T_R) na evolução estrutural de uma liga Al-3Cu-5Nb (%), experimentos de solidificação horizontal e um sistema de registros térmicos foram usados. O lingote solidificado foi caracterizado para revelação da escala estrutural, a qual foi avaliada pela morfologia dos grãos e pelos espaçamentos dendríticos primários (λ_1). Os resultados mostraram a ocorrência de uma transição de grãos colunares para equiaxiais (TCE) em uma posição no lingote próxima à superfície de transferência de calor (STC). A dependência de λ_1 com V_L e T_R foi estabelecida por meio de expressões matemáticas dadas pelas fórmulas gerais $\lambda_1 = Cte.(V_L)^{-1,1}$ e $\lambda_1 = Cte.(T_R)^{-0,55}$, cujos os expoentes -1,1 e -0,55 foram concordantes com a literatura.

Palavras-chave: Solidificação horizontal. Estruturas de solidificação. Ligas Al-Cu-Nb.

ABSTRACT

Cast Al-xCu alloys (x=1 to 5wt.%) are widely used in the automotive industries because they have high mechanical resistance (MR). The addition of alloying elements with high melting point, such as niobium, allows them to achieve MR at high temperatures. It is known that the correct control of as-cast structures allows these properties to be better designed. In this sense, aiming to study the effects of solidification thermal parameters, such as growth and cooling rates (V_L and T_R) on the structural evolution of an Al-3Cu-5Nb alloy (wt.%), horizontal solidification experiments and a thermal recording system were used. The solidified ingot was characterized to reveal the structural scale, which was evaluated by the morphology of the grains, and by the primary dendritic spacings (λ_1). The results showed the occurrence of a transition from columnar to equiaxed grains (CET) at a position in the ingot close to the heat transfer surface (HTS). The dependence of λ_1 on V_L and T_R was established through mathematical expressions given by the general formulas $\lambda_1 = Cte.(V_L)^{-1.1}$ and $\lambda_1 = Cte.(T_R)^{-0.55}$, whose exponents were in agreement with the literature.

Keywords: Horizontal solidification. Solidification structures. Al-Cu-Nb alloys.

INTRODUÇÃO

O alumínio e suas ligas têm, atualmente, participação destacada nas indústrias de fundição, especialmente no seguimento de transportes, no qual os componentes fundidos são os responsáveis pelo maior volume de produção devido à ininterrupta procura pelas indústrias automobilística e aeroespacial por produtos baseados em ligas leves (ASM HANDBOOK COMMITTEE, 1990; ABAL, 2020; ALUMINUM ASSOCIATION, 2013; GARCIA, 2007; BARROS 2018; BARROS *et al.*, 2015), especialmente as ligas de alto desempenho, tais como as de alumínio com adição de cobre pertencentes às séries 2XXX (trabalhadas) e 2XX.X (fundidas) com teores de Cu variando de 3 a 5%, muito usadas na fabricação de componentes automotivos, tais como bordos de ataque de aeronaves, peças estruturais, cilindros, pistões e blocos para motores (BARROS, 2018). A adição de elementos de alto ponto de fusão às ligas Al-Cu, como o Si, Mg, Ni, Ti, e Nb, proporcionam às mesmas excelente resistência mecânica em altas temperaturas, principalmente quando tratadas termicamente. O nióbio (Nb), por exemplo, tem sido um desses elementos que, em estudos recentes, foi investigado em ligas de alumínio (JESUS, 2018; SOUSA, 2019; COUTINHO *et al.*, 2019; MUNITZ; GOKHALE; ABBASCHIAN, 2000; DILLON *et al.*, 2022; NANDI *et al.*, 2003; MENDES *et al.*, 2023; AZEVEDO, 2023).

Entretanto, a imensa maioria dos produtos metálicos que atendem às necessidades imediatas da sociedade

moderna, utiliza, em algum momento da sua cadeia produtiva, o processo de solidificação, o qual representa a mais importante alternativa para a fabricação de produtos acabados e semiacabados (GARCIA, 2007). Nesse cenário, com as crescentes exigências por materiais com propriedades cada vez mais elevadas, o controle da cinética do processo de solidificação de metais e ligas metálicas vem a cada dia se consolidando como um objeto de estudo de extrema importância para a obtenção de materiais com propriedades adequadas à sua aplicação, tais como os que abordam solidificação direcional de ligas de alumínio (GARCIA, 2007; COSTA, *et al.*, 2016; DILLON *et al.*, 2022; MENDES *et al.*, 2023; KAYA, *et al.*, 2012; KAYA, *et al.*, 2013; LIMA, *et al.*, 2018; GÜNDÜZ; ÇADIRLI, 2002; BARROS *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2020; BÜYÜK. *et al.*, 2020). Com o desenvolvimento de novos materiais, tais como as ligas Al-Cu-Nb, diversos aspectos de natureza física relacionados à formação das estruturas típicas de solidificação dos produtos obtidos por fundição, tanto em escala macroestrutural como microestrutural, necessitam ser ainda estudados (JESUS, 2018; SOUSA, 2019; COUTINHO *et al.*, 2019; DILLON *et al.*, 2022; NANDI *et al.*, 2003; MENDES *et al.* 2023).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No que se refere à macroestrutura, a mesma pode ser constituída por regiões distintas compostas de grãos

coquilhados, colunares e equiaxiais. O estudo sobre os mecanismos de surgimento dos respectivos grãos, baseados nas condições dos parâmetros impostos no processo de solidificação, teve um destaque no campo científico em meados do século XX (BOWER E FLEMINGS, 1967; BILONI, MORANDO, 1968; WALTON e CHALMERS, 1959; BILONI, CHALMERS, 1968; CHALMERS, 1968; FLEMINGS, 1974; OHNO, 1976) e mais recentemente nas últimas duas décadas (ARES e SCHVEZOV *et al.*, 2000, ARES *et al.*, 2007; ARES *et al.*, 2010; SIQUEIRA, 2002; SIQUEIRA *et al.*, 2002), por permitirem o controle das propriedades mecânicas dos metais através da geometria, dimensão, distribuição e orientação cristalográfica dos cristais produzidos durante o processo de formação do metal sólido, o que é possível através do estudo, entendimento, identificação e controle dos mecanismos geradores, tais como os parâmetros que resultantes do processo de solidificação (SIQUEIRA, 2002; SIQUEIRA *et al.*, 2002).

A previsão da transição colunar - equiaxial (TCE), por exemplo, é de grande interesse para a avaliação e o projeto das propriedades mecânicas de produtos solidificados. Nesse sentido, é necessário um razoável entendimento a respeito da influência dos parâmetros envolvidos na solidificação a fim de melhorar a eficiência e desempenho dos materiais de modo que a TCE seja considerada como um importante objeto da investigação no que diz respeito à solidificação direcional de

ligas metálicas. Por isso, é imperativo entender os mecanismos que levam a essa transição (SIQUEIRA, 2002; SIQUEIRA *et al.*, 2002).

No que tange características microestruturais, a morfologia dendrítica é a predominante nos produtos fundidos e, portanto, a mais controlada para o melhoramento das propriedades dos materiais, especialmente em ligas de alumínio (GARCIA, 2007; KAYA, *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2018; GÜNDÜZ; ÇADIRLI, 2002; BARROS *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2020; BÜYÜK. *et al.*, 2020). No caso de peças fundidas que apresentam estruturas dendríticas, um modo conveniente e muito utilizado para caracterizar quantitativamente a microestrutura formada consiste na medição de um parâmetro conhecido como espaçamento dendrítico, ou seja, os espaçamentos entre os braços dendríticos primários (λ_1), secundários (λ_2) e terciários (λ_3) (GARCIA, 2007; BARROS, 2018).

Ao longo das últimas décadas, através de procedimentos experimentais e métodos matemáticos de caráter analítico e/ou numérico, vários estudos vêm sendo realizados (BOUCHARD; KIRKALDY, 1997; KAYA, *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2018; GÜNDÜZ; ÇADIRLI, 2002; BARROS *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2020; BÜYÜK *et al.*, 2020). com a intenção de se estabelecer a melhor relação entre os espaçamentos dendríticos com os PTS, uma vez que as condições impostas durante o processo de solidificação, bem como as características termofísicas tanto do material quanto do

molde adotado, afetam diretamente as propriedades mecânicas dos produtos fundidos. A maioria desses trabalhos têm proposto relações matemáticas e tem sido consenso entre os mesmos o fato de que as expressões matemáticas dos espaçamentos dendríticos em função dos PTS sejam descritas na seguinte forma: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 = C \cdot (V_L, T_R)^n$ (BOUCHARD; KIRKALDY, 1997; KAYA, *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2018; GARCIA, 2007; BARROS, 2018; GÜNDÜZ; ÇADIRLI, 2002), , onde C é uma constante que depende do tipo de liga, e n tem sido determinado para uma série de ligas. Bouchard e Kirkaldy (1997) propuseram um modelo matemático que relaciona λ_1 em função de T_R , onde n assume um valor de 0,50.

Novas pesquisas, tais como a elaborada no presente estudo, estão sendo desenvolvidas com ligas Al-Cu-Nb no sentido de entender melhor o efeito dos PTS, bem como de agentes externos, como a ação da gravidade, que atuam durante no processo de solidificação e, consequentemente, interferem na formação das estruturas brutas de solidificação e nas propriedades finais das ligas Al-Cu-Nb (JESUS, 2018; SOUSA, 2019; COUTINHO *et al.*, 2019; DILLON *et al.*, 2022; NANDI *et al.*, 2003; MENDES *et al.* 2023, AZEVEDO, 2023).

Mendes *et al.* (2023) desenvolveram investigações com ligas Al-3Cu-xNb ($x=0.5$, e e 5%), inclusive com a liga investigada no presente trabalho (A-3%Cu-5%Nb), nas mesmas condições de solidificação horizontal, nas quais avaliaram o efeito da relação

Cu/Nb na formação da TCE, sugerindo que a referida TCE ocorre para valores de Cu/Nb iguais a 1 e 0,6, ou seja, para teores de Nb iguais a 3 e 5%, enquanto que a macroestrutura do lingote solidificado da liga Al-3%Cu-0,5%Nb foi constituída completamente de grãos equiaxiais. Por sua vez, Azevedo (2003) tem reportado para a liga investigada neste trabalho a ocorrência da TCE numa posição no lingote igual a 20 mm a partir da STC. No entanto, ambos os autores (MENDES *et al.* 2023, AZEVEDO, 2023) não avaliaram quantitativamente a influência de V_L e T_R na formação da transição colunar/equiaxial, bem como não estudaram o efeito dos referidos parâmetros no crescimento dendrítico primário (λ_1).

Considerando o exposto, assim como visando dar continuidade às investigações de Mendes *et al.* (2023) e Azevedo (2023), este trabalho teve como objetivo principal estudar na liga Al-3%Cu-5%Cu solidificada horizontalmente os efeitos quantitativos dos parâmetros térmicos de solidificação, tais como a velocidade da isoterma *liquidus* e taxa de resfriamento (V_L e T_R) na formação da TCE, e no comprimento da escala microestrutural visando estabelecer uma relação entre os espaçamentos dendríticos primários (λ_1) com V_L e T_R .

MATERIAIS E MÉTODOS

A liga investigada no presente trabalho foi produzida a partir dos elementos metálicos alumínio, cobre e nióbio comercialmente puros (>99,6%)

e uma liga base Al-4%Nb. A quantidade em massa necessária de cada um destes componente foi determinada através de um cálculo estequiométrico em função da composição nominal da liga Al-3%Cu-5%Nb e o volume do molde. Maiores detalhes sobre a elaboração da liga estudada foram publicados em trabalho recente (AZEVEDO, 2023).

O aparato utilizado para a solidificação da liga e obtenção do lingote é centrado no dispositivo de solidificação horizontal mostrado na Figura 1. Ele se trata de um dispositivo

de solidificação refrigerado a água que impõe ao processo um regime transiente de extração de calor.

O controlador de temperatura do dispositivo foi ajustado para garantir um nível de superaquecimento de aproximadamente 10% acima da temperatura *liquidus* da liga (T_L). Um sistema de aquisição de dados foi usado durante a solidificação, configurado de modo a registrar o valor de temperaturas por 8 (oito) termopares tipo K (Cromel-Alumel) posicionados a 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 e 90 mm da base refrigerada do molde (STC).



Figura 1. Representação esquemática do dispositivo de solidificação horizontal.
Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2018).

Os dados térmicos gerados foram usados para determinar experimentalmente os PTS (V_L e T_R), conforme técnicas apresentadas na Figura 2.

A referida técnica se encontra detalhada em artigos publicados recentemente (COSTA *et al.*, 2019; MENDES *et al.*, 2023; AZEVEDO, 2023), a qual se baseou em traçar traçada uma reta horizontal em $y = T_L$ neste gráfico de $T = f(t)$, como mostrado na Figura 2a, e foram buscados os

pontos onde houve a interseção entre essa reta traçada e as curvas de resfriamento. Os pontos de interseção, no total de 8(oito), como observados na Figura 2b, representam o momento em que a isoterma *liquidus* passou pelos respectivos termopares. Por sua vez, foi plotado o gráfico de posição da isoterma *liquidus* em função do tempo durante a solidificação, $P = f(t)$, e a primeira derivada desta função permitiu determinar a velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* em

função do tempo, ou seja, $V_L = \frac{dP}{dt}$, tal como mostrado na Figura 2b. Da mesma forma, a primeira derivada da

temperatura em função do tempo irá resultar na taxa de resfriamento, isto é, $T_R = \frac{dT}{dt}$, como mostrado na Figura 2a.

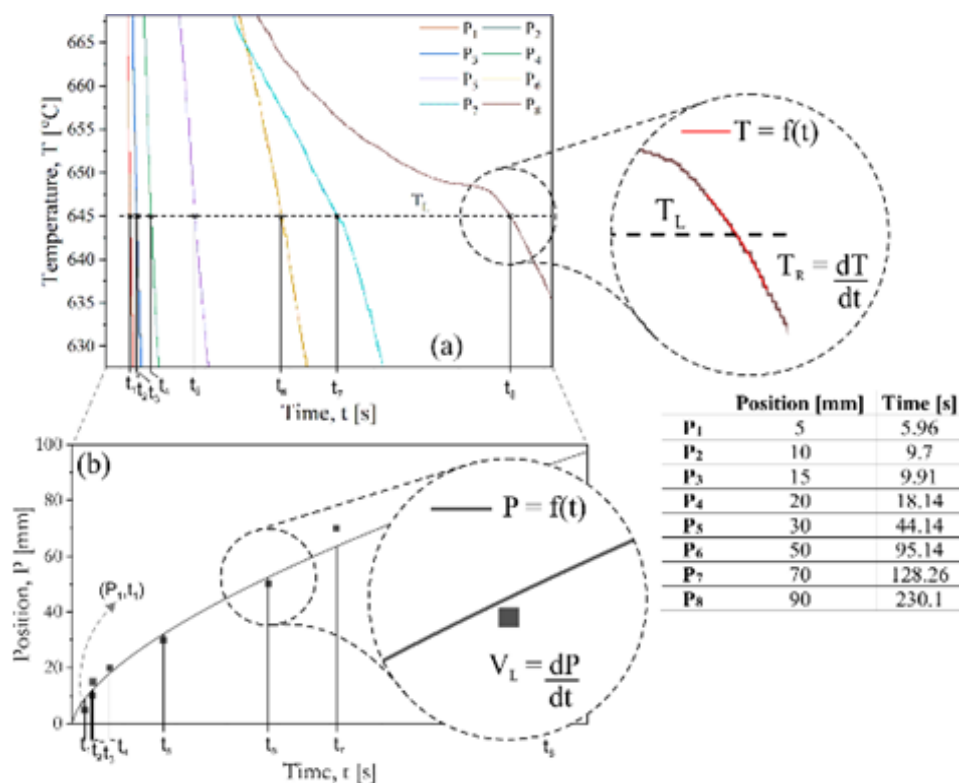


Figura 2. Técnica usada para obtenção dos valores experimentais de V_L e T_R .

Fonte: Azevedo (2023).

Após obtenção dos registros térmicos, o lingote resultante da solidificação foi submetido a técnicas metalográficas, as quais correspondem ao lixamento, polimento e ataque com reagentes químicos específicos. A macroestrutura típica de solidificação da liga foi revelada usando o reagente Keller (100 ml, por 10 ml de HF, 15 ml de HCl, 25 ml de HNO_3 e 50 ml de H_2O), sobre a superfície lixada do lingote lixado (AZEVEDO, 2023).

Uma vez caracterizada a macroestrutura e identificada a ocorrência da transição macroestrutural, iniciou-se o procedimento para

obtenção das amostras correspondentes à caracterização microestrutural, para posterior caracterização e quantificação dos espaçamentos dendríticos primários (λ_1), uma vez que λ_1 é medido na região constituída de grãos colunares. Para tanto, foram retirados do lingote solidificado corpos de prova das seções transversal nas posições correspondentes a 5, 10, 15 e 20 mm. Amostras longitudinais têm sido caracterizadas para observação de dendritas equiaxiais (MENDES *et al.*, 2023). Para a revelação microestrutural se utilizou novamente o Keller em

combinação com o hidróxido de sódio (NaOH) a 5%. As medidas de λ_1 foram realizadas utilizando-se o software ImageJ, e a técnica adotada se encontra mostrada na Figura 3, a qual foi baseada no método do triângulo, utilizando-se o critério de vizinhança, que considera o valor do espaçamento primário igual à distância média entre os centros dos braços dendríticos primários (GÜNDÜZ e ÇADIRLI, 2002).

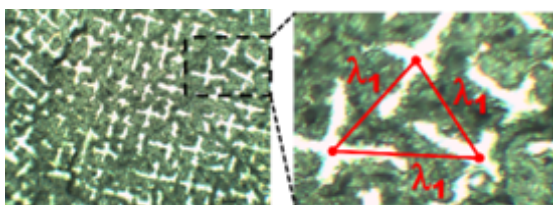


Figura 3. Técnica experimental aplicada para medição do espaçamento dendrítico primário (λ_1).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos registros térmicos para os 8 termopares localizados no metal bem como os parâmetros térmicos experimentais (V_L e T_R), determinados como mostrado na Figura 2, encontram-se analisados detalhadamente por Mendes et al. (2023), os quais estão apresentados nas Figuras 4 e 5. Como esperado, devido à formação gradativa da camada de metal sólido ao longo do comprimento do lingote e do “gap” referente à transferência de calor newtoniana (GARCIA, 2007; BARROS, 2018; AZEVEDO, 2023) o fluido de refrigeração passa a exercer menor efeito na retirada de calor durante a mudança de fase líquido/sólido, tal como evidenciado

pelos comportamentos de resfriamento mais lento nos perfis de temperatura para termopares mais afastados da base refrigerada, como vistos na Figura 4a. Consequentemente, tempos menores e maiores de solidificação foram alcançados à medida que a solidificação avançou, respectivamente, como pode ser notado na Figura 4b. Assim, maiores valores de V_L e T_R foram obtidos para posições mais próximas da STC notando-se, portanto, um perfil decrescente desses valores com o avanço da solidificação, conforme verificado na Figura 5.

A Figura 6 apresenta a macrografia e micrografias reveladas para as estruturas típicas de solidificação para a liga investigada neste trabalho. Como pode ser observado, os níveis de V_L e T_R alcançados (Figura 5), devido à imposição do sistema de refrigeração do dispositivo de solidificação horizontal, exerceram influência no controle das referidas estruturas, resultando no surgimento de duas regiões distintas de grãos, colunares para altos valores de V_L e T_R , equiaxiais com a diminuição dos respectivos parâmetros para posições mais afastadas da base refrigerada. Notou-se, portanto, a ocorrência de uma transição de grãos colunares para equiaxiais (TCE) na posição igual 20 mm a partir da superfície de transferência de calor da lingoteira (STC), na qual V_L e T_R alcançaram valores de 0,64 mm/s e 4,2 °C/s, como indicados na Figura 5, sugerindo a presença de grãos colunares para valores menores que os supracitados.

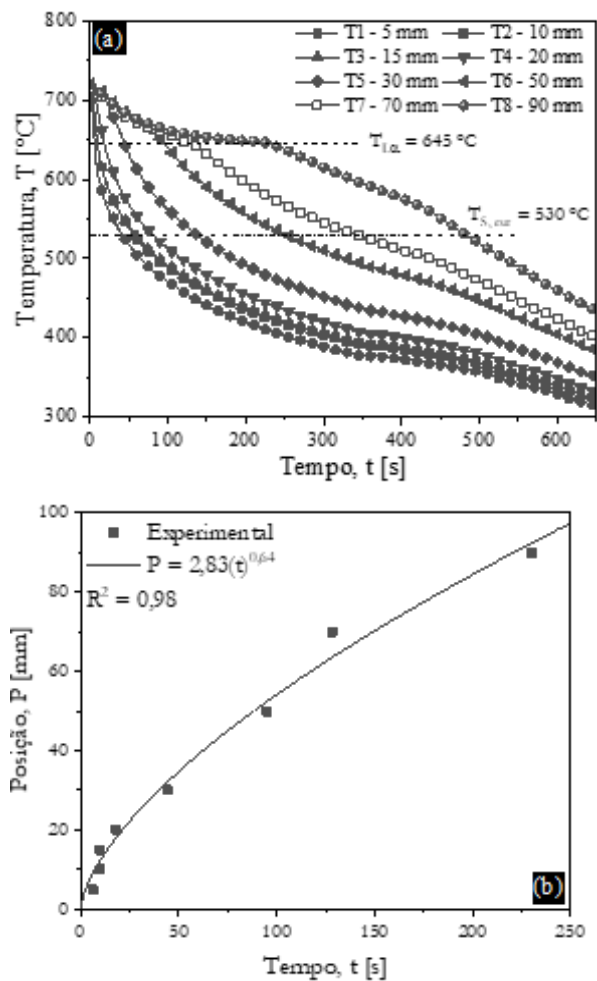


Figura 4. (a) Perfis de temperaturas para os 8 (oito) termopares, e (b) gráfico da posição da isoterma *liquidus* com uma função do tempo, $P=f(t)$.

Fonte: Azevedo (2023).

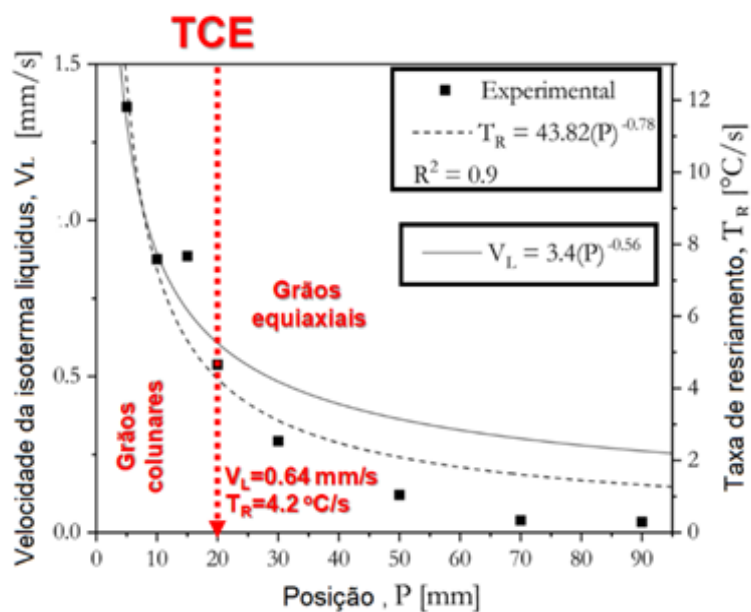


Figura 5. Resultados experimentais de $V_L = f(P)$ e $T_R = f(P)$.

Fonte: Adaptado de Azevedo (2023).

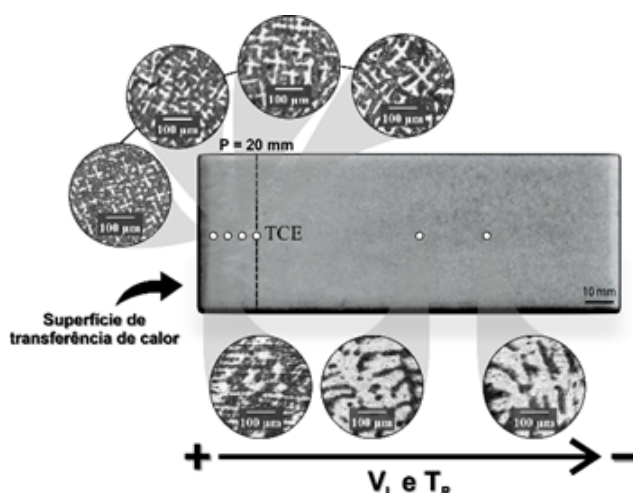


Figura 6. Estruturas típicas de solidificação em escalas macroestrutural e microestrutural.
Fonte: Adaptado de Mendes et al (2023) e Azevedo (2023).

Siqueira (2002) e Siqueira *et al.* (2002) estudaram a TCE em ligas Sn-Pb e Al-Cu solidificadas unidirecionalmente em um sistema vertical ascendente, e propuseram a ocorrência de TCE para T_R igual a 0,2 °C/s (Al-Cu), e 0,014 °C/s (Sn-Pb), sugerindo o crescimento colunar para taxas maiores que esses valores, bem menores que os encontrados no presente estudo. Por outro lado, Gomes *et al.* (2015) realizaram experimentos de solidificação horizontal com ligas Al-3%Cu e Al-3%Cu-5,5%Si e observaram a ocorrência da TCE numa região de variação T_R , ou seja, 0,72 a 0,44 °C/s, e 1.84 a 0.9 °C/s, respectivamente, em vez de uma T_R única como proposto no presente trabalho (4,2 °C/s). Em análise comparativa entre os respectivos estudos, constata-se, portanto, que a presença do Nb na liga Al-3%Cu-5%Nb parece antecipar o crescimento de grãos colunares para altas taxas de resfriamento, ou seja, para $T_R > 4,2$ °C/s.

Como reportado, as estruturas de solidificação são controladas pelos parâmetros impostos no processo, confirmado neste trabalho pelos

resultados obtidos na Figura 6, bem como nos apresentados na Figura 7, a qual representa a dependência dos espaçamentos dendríticos primários (λ_1) como uma função da posição no lingote (P), V_L e T_R . Pode-se notar, claramente, na microestrutura da liga, os efeitos das condições iniciais impostas ao processo de solidificação, resultando em uma estrutura consideravelmente mais refinada para posições próximas da STC quando comparadas às mais distantes que se apresentam mais grosseiras. Isto tem permitido propor expressões matemáticas do tipo potência, dadas pelas equações $\lambda_1 = 60(V_L)^{-1.1}$ e $\lambda_1 = 214.7(T_R)^{-0.55}$ que caracterizam as leis de crescimento de λ_1 com V_L e T_R respectivamente, nas quais os expoentes -1.1 e -0.55 estão concordantes com resultados da literatura para outros sistemas de ligas solidificadas por diferentes condições de crescimento de solidificação direcional tanto vertical (COSTA *et al.*, 2019) quanto horizontal, como a assumida no presente trabalho (LIMA *et al.*, 2018; BARROS 2018).

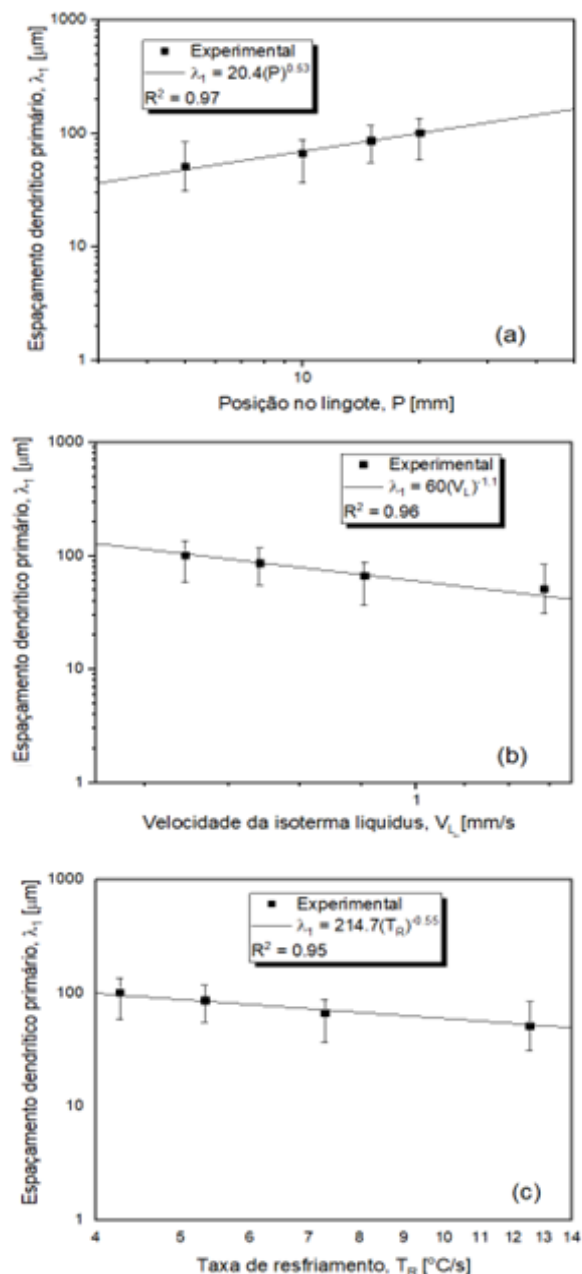


Figura 7. Variação dos espaçamentos primários (λ_1) como uma função da: (a) posição do lingote solidificado (P), (b) V_L e (c) T_R .

Fonte: Adaptado de Hoffmann *et al.* (2023).

CONCLUSÃO

Os resultados experimentais e análises correspondentes permitiram estabelecer as seguintes principais conclusões:

Verificou-se que a macroestrutura típica da solidificação horizontal, sob as

condições assumidas, apresentou duas regiões distintas de grãos, que foram controladas pelos parâmetros térmicos de solidificação, V_L e T_R . A primeira constituída por grãos colunares, notada para valores de V_L e T_R maiores que 0,64 mm/s e 4,2 $^{\circ}\text{C/s}$, respectivamente, e a segunda formada por grãos equiaxiais, verificada para valores de

V_L e T_R menores do que os referidos acima.

Evidenciou-se que microestruturas mais refinadas, ou seja, menores valores de espaçamentos dendríticos primários (λ_1), foram alcançadas para maiores valores de V_L e T_R . Expressões matemáticas do tipo potência foram propostas, as quais caracterizaram a variação nas formas gerais $\lambda_1 = C \cdot (V_L, T_R)^n$, assumidas no presente trabalho como as leis de crescimento dendríticos de braços primários para a liga investigada, com os valores do expoente $n = (-1.1$ e $-0.55)$ concordantes com resultados da literatura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Universidade Federal do Pará (UFPA/ITEC/PPGEM/PROAP/CAPES), e CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processos 304924/2020-2 e 160474/2021-3).

REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira de Alumínio. **Perfil da Indústria Brasileira de Alumínio**. 2020. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>>. Acesso em: 15/07/2022.

Aluminum Association. Aluminum standards and data. The Aluminum

Association, Inc., 2013.

ARES, A. E.; GASSA, L. M.; GUEIJMAN, S. F.; SCHVEZOV, C. E. **Correlation between thermal parameters, structures, dendritic spacing and corrosion behavior of Zn–Al alloys with columnar to equiaxed transition**. Journal of Crystal Growth, V. 310, p. 1355-1361, 2007.

ARES, A. E.; GUEIJMAN, S. F.; SCHVEZOV, C. E. **An experimental investigation of the columnar-to-equiaxed grain transition in aluminum-copper hypoeutectic and eutectic alloys**. Journal of Crystal Growth, V. 312, p. 2154-2170, 2010.

ARES, A. E.; SCHVEZOV, C. E. **Solidification parameters during the columnar-to-equiaxed transition in lead-tin alloys**. Metallurgical and Materials Transactions A, V. 31, p. 1611-1625, 2000.

ASM Handbook Committee. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio, 1990.

AZEVEDO, H. A. M. **Efeito dos parâmetros de solidificação e do tratamento térmico T6 na microestrutura, microdureza, desgaste e condutividade elétrica da liga Al-3%Cu-5%Nb**. Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2023.

BARROS, A.; CRUZ, C.; SILVA, A. P.; CHEUNG, N.; GARCIA, A.; ROCHA, O.; MOREIRA, A. **Length scale of solidification microstructure tailoring corrosion resistance and microhardness in T6 heat treatment of an Al–Cu–Mg alloy.** Corrosion Engineering, Science and Technology, V. 55, n. 6, p. 471–479, ago. 2020.

BARROS, A. S.; MAGNO, I. A.; SOUZA, F. A.; MOTA, C. A.; MOREIRA, A. L.; SILVA, M. A.; ROCHA, O. L. **Measurements of microhardness during transient horizontal directional solidification of Al-rich Al-Cu alloys: effect of thermal parameters, primary dendrite arm spacing and Al₂Cu intermetallic phase.** Metals and Materials International, V. 21, p. 429–439, 2015.

BARROS, A. S. **Solidificação horizontal das ligas Al-3%Cu e Al-3%Cu-0,5%Mg: estrutura dendrítica, microdureza, resistência à corrosão e aplicação do tratamento térmico T6 na liga ternária.** Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2018.

BILONI, H.; CHALMERS, B. **Origin of the Equiaxed Zone in Small Ingots.** Journal of Material Science, V. 3, p. 139, 1968.

BILONI, H.; MORANDO, R. **On the nature of the chill zone in ingot solidification.** Transactions of the Metallurgical Society of AIME, V. 242,

p. 1121, 1968.

BOUCHARD D, KIRKALDY J. S. **Prediction of dendrite arm spacings in unsteady and steady-state heat flow of unidirectionally solidified binary alloys.** Metallurgical and Materials Transactions B, V. 28, n. 4, p. 651–663, ago. 1997.

BOWER T. F.; FLEMINGS M. C. **Formation of the zone in ingot solidification.** Transactions of the Metallurgical Society of AIME, V. 239, p. 216, 1967.

BÜYÜK, U.; ENGIN, S.; KAYA, H.; ÇADIRLI, E.; MARAŞLI, N. **Directionally Solidified Al–Cu–Si–Fe Quaternary Eutectic Alloys.** Physics of Metals and Metallography, V. 121, n. 1, p. 78–83, 2020.

CHALMERS, B. **The structure of ingots.** The Journal of the Australian Institute of Metals, V. 8, p. 255, 1968.

COSTA, T. A.; DIAS, M.; GOMES, L. G.; ROCHA, O. L.; GARCIA, A. **Effect of solution time in T6 heat treatment on microstructure and hardness of a directionally solidified Al–Si–Cu alloy.** Journal of Alloys and Compounds, V. 683, p. 485–494, out. 2016.

COSTA, T. A.; DIAS, M.; SILVA, C.; FREITAS, E.; SILVA, A. P.; CHEUNG, N.; GARCIA, A. **Measurement and**

interrelation of length scale of dendritic microstructures, tensile properties, and machinability of Al-9wt%Si-(1wt%Bi) alloys. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, V. 105, p.1391-1410, 2019.

COUTINHO, M. M.; SARAIVA, J. I. S.; SOUSA, T. P.; ROSA, D. M. **Upward Unsteady-State Solidification of Dilute Al-Nb Alloys: Microstructure Characterization, Microhardness, Dynamic Modulus of Elasticity, Damping, and XRD Analyses.** Metals, V. 9, n. 6, p. 713, 2019.

DILLON, T.; MENDES, G.; AZEVEDO, H.; RODRIGUES, H.; PEREIRA, P.; ROCHA, O. **Effects of Growth and Cooling Rates Via Horizontal Solidification of an AlCuNb Alloy: A Thermal, Microstructural and Mechanical Analysis.** Transactions of the Indian Institute of Metals, V. 75, p. 1429–1439, 2022.

FLEMINGS, M. C. **Solidification Processing.** New York, 1974.

GARCIA, A. **Solidificação: Fundamentos e aplicações.** Editora da UNICAMP, Campinas, 2007.

GOMES, C. H. U.; KIKUCHI R. H. L.; BARROS, A. S.; SILVA, J. N. S.; SILVA, M. A. P. S.; SEABRA A. L. S.; ROCHA, O. F. L. **On the Natural Convection in the Columnar to Equiaxed Transition**

in Directionally Solidified Aluminum-based Binary and Multicomponent Alloys. Materials Research, V.18(6), p.1362-1371, 2015.

GÜNDÜZ, M.; ÇARDILI, E. **Directional Solidification of Aluminium–Copper Alloys.** Materials Science and Engineering A, V. 327, p. 167–185, 2002.

HOFFMANN, E. C.; FEIO, B. Y. G.; AZEVEDO, H. A. M.; RODRIGUES, H.; ROCHA, O. F. L. **Unsteady-state Solidification Thermal Parameters Affecting Growth of Primary Dendritic Arms in an AlCuNb Alloy,** presented in Poster form by Evaldo da Cruz Hoffmann at the XXI B-MRS Meeting, in Maceió-AL, from 01st to 05th of October 2023.

JESUS, E. S. **Influência da Granulometria de Níobio e Tempo de Moagem na Obtenção da Liga Al1,2%Nb via Metalurgia do Pó.** Mestrado em Ciências Mecânicas, Universidade de Brasília, 2018.

KAYA, H.; BÖYÜK, U.; ÇADIRLI, E.; MARAŞLI, N. **Influence of growth rate on microstructure, microhardness, and electrical resistivity of directionally solidified Al-7 wt% Ni hypo-eutectic alloy.** Metals and Materials International, V. 19, n. 1, p. 39–44, 2013.

KAYA, H.; BÖYÜK, U.; ÇADIRLI,

E.; MARAŞLI, N. **Measurements of the microhardness, electrical and thermal properties of the Al-Ni eutectic alloy.** Materials & Design, V. 34, p. 707-712, 2012.

LIMA, J. O.; BARBOSA, C. R.; MAGNO, I. A. B.; NASCIMENTO, J. M.; BARROS, A. S.; OLIVEIRA, M. C.; SOUZA, F. A.; ROCHA, O. L. **Microstructural evolution during unsteady-state horizontal solidification of Al-Si-Mg (356) alloy.** Transactions of Nonferrous Metals Society of China, V. 28, n. 6, p. 1073-1083, jun. 2018.

MENDES, G.; AZEVEDO, H.; DILLON, T.; RODRIGUES, H.; HOFFMAN, E.; ROCHA, O. **The Cu/Nb ratio influencing microstructure, mechanical and electrical properties in as-cast Al₃Cu_xNb alloys.** Transactions of the Indian Institute of Metals, 2023.

MUNITZ, A.; GOKHALE, A. B.; ABBASCHIAN, R. **The effect of supercooling on the microstructure of Al-Nb alloys.** Journal of Materials Science, V. 35, n. 9, p. 2263-2271, 2000.

NANDI, P.; CHATTOPADHYAY, P. P.; PABI, S. K.; MANNA, I. **Solid-state synthesis of Al-based amorphous and nanocrystalline Al-Cu-Nb alloys.** Materials Science and Engineering: A, V. 359, n. 1-2, p. 11-17, 2003.

OHNO, A. **The Solidification of Metals.** Japan, Chijin Shokan, 1976.

SIQUEIRA FILHO, C. A. **Influência de Parâmetros Térmicos de Solidificação na Transição Colunar/Equiaxial.** Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

SIQUEIRA FILHO, C. A.; CHEUNG, N.; GARCIA, A. **Solidification thermal parameters affecting the columnar-to-equiaxed transition.** Metallurgical and Materials Transactions A, V. 33A, p. 2107-2118, 2002.

SOUSA, T. P. **Evolução da microestrutura bruta de fusão de ligas Al-Cu-Nb solidificadas unidirecionalmente.** Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, 2019.

WALTON, D.; CHALMERS, B. **The origin of the preferred orientation in the columnar zone of ingots.** Transactions of the Metallurgical Society of AIME, V. 215, p. 447-457, 1959.

A importância das Startups em um contexto ambiental: estudo de caso do projeto Trashbot

The importance of Startups in an environmental context: a case study of the Trashbot project

Arthur Salomão Garcia Begot

IFPA – Graduado em Tecnologia em Gestão Hospitalar e Técnico em Saneamento. **Endereço:** Av. Gov. Hélio Gueiros, Residencial Jardim Paraíso, QD 01, Casa 04, 40 horas. Coqueiro. Ananindeua/PA. CEP: 67120424. **E-mail:** arthur-garcia10@hotmail.com.

Cassia Rodrigues dos Santos

IFPA – Técnico em Saneamento.

Leon Cristhyan Santos de Oliveira

IFPA – Técnico em Saneamento.

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA, Campus Belém. Doutora em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará.

Franciane Andreza Veloso dos Santos Gonçalves

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA, Campus Belém. Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto.

RESUMO

As startups, atualmente, já são conhecidas no mundo todo pelas suas grandes ideias inovadoras as quais muitas vezes contribuem, seja de forma direta ou indireta, para a melhoria e ampliação do desenvolvimento sustentável e para a saúde pública. Um grande exemplo desse tipo de startup é o projeto *Trashbot*, também conhecido como lixeira eletrônica ou lixeira inteligente artificial, o qual visa, sobretudo, realizar a separação correta dos resíduos sólidos para reciclagem. Nesse artigo, é feito um estudo de caso dessa startup (*Trashbot*) demonstrando a evolução das startups e seus benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública, bem como realizar uma revisão bibliográfica sobre a lixeira inteligente artificial, abordando suas principais características, funções, funcionamento, contexto e pontos favoráveis e desfavoráveis. Assim, podendo expandir o conhecimento acerca desse projeto que pode ser um bom investimento utilizado por muitas empresas em contribuição ao meio ambiente e consequentemente à saúde pública.

Palavras-chave: Meio ambiente. Resíduos. Startup. *Trashbot*.

ABSTRACT

Startups are currently known around the world for their great innovative ideas, which often contribute, either directly or indirectly, to the improvement and expansion of sustainable development and public health. A great example of this type of startup is the Trashbot project, also known as electronic trash or artificial smart trash, which aims, above all, to carry out the correct separation of solid waste for recycling. In this article, a case study of this startup (Trashbot) will be made, demonstrating the evolution of startups and their benefits for the environment and public health, as well as carrying out a bibliographic review on the artificial smart trash, addressing its main characteristics, functions, functioning, context and favorable and unfavorable points. Thus, being able to expand the knowledge about this project that can be a good investment used by many companies in contribution to the environment and consequently to public health.

Keywords: Environment. Waste. Startup. *Trashbot*.

INTRODUÇÃO

As startups já fazem sucesso no mundo desde o final do século XX e início do século XXI; segundo Filipe Garrett, no site “techtudo”, esse termo (startup) surgiu na Região da Califórnia, no vale do Silício, local conhecido por ter uma certa inovação e especialização. O termo Startup ainda é muito confundido e discutido entre os especialistas; alguns afirmam que sua definição se caracteriza por uma empresa que está iniciando; outros acreditam que é uma empresa com inovações e com baixo custo, mas que conseguem crescer de forma acelerada e em pouco tempo. Em contrapartida, já existe uma definição mais atual para o termo startup: de acordo com o artigo “O que é uma startup?” no site da SEBRAE, startup é uma empresa jovem à procura de um modelo de negócio repetível e escalável, a qual realiza seu trabalho com extrema incerteza do futuro da empresa.

As startups não só fazem parte, como também abrangem o processo de globalização, que é a interação social, econômica e tecnológica entre diversas localidades. Alguns exemplos de criações de startups bem conhecidos são: Uber, Google, Netflix, PayPal e outros. Dentre as empresas startups do mundo, algumas destinaram-se a criar projetos para a melhoria e ampliação do desenvolvimento sustentável, como por exemplo, o modelo de projeto da startup *CleanRobotics* nos Estados Unidos, onde um grupo de pesquisadores fizeram um projeto

através de suas próprias ideias sobre reciclagem, denominado *Trashbot*: lixeira inteligente artificial.

Em seguida, de acordo com o site oficial da startup *CleanRobotics*, a lixeira inteligente artificial tem como um dos objetivos principais a reciclagem correta dos resíduos sólidos que são despejados pelas pessoas. Desde início do século XXI, especialistas ambientais e cientistas do mundo todo vem apresentando novas ideias sobre desenvolvimento sustentável ao meio ambiente, que é um sistema de consumo em massa com ênfase na preocupação com a natureza. Um desses estudos foi popularizado por Béa Johnson por volta do ano de 2013, que foi a política dos 5R's, que visa a recomendação de um estilo de vida ecológico. A política dos 5R's é composta por Reutilizar, Recusar, Reciclar, Reduzir e Repensar sobre a situação dos resíduos sólidos e como isso afeta a população e o meio ambiente. Com isso, foram desenvolvidas lixeiras recicláveis, as quais são separadas por cores para que as pessoas possam descartar os resíduos de acordo com a sua classificação. Porém, foi afirmado pelo site da empresa *CleanRobotics* que ainda há muitas pessoas que confundem ou não sabem sobre qual lixeira descartar corretamente os resíduos: “reciclável ou não reciclável?”

Dessa forma, essa situação gera um problema maior quando ocorre o descarte de resíduos incorretamente nas lixeiras, dificultando a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Por conta, principalmente,

dessa problemática os cientistas Vaish Krishnamurthy e Koushil Sreenath propuseram o projeto Trashbot: lixeira inteligente artificial. Assim, o presente trabalho busca atestar a viabilidade da utilização da lixeira inteligente artificial (Trashbot), bem como apontar aspectos favoráveis e desfavoráveis da utilização da mesma.

O objetivo dessa pesquisa é abordar o projeto *Trashbot* da Startup, demonstrando sua importância para a saúde humana e para o meio ambiente. Para tanto, fez-se necessário:

- Dissertar sucintamente sobre o projeto da lixeira inteligente;
- Abordar o funcionamento do projeto e suas características, bem como vantagens e desvantagens;
- Demonstrar dados estatísticos científicos em relação a utilização do projeto;
- Realizar pesquisas sobre o norteamento do tema em relação ao meio ambiente e a saúde pública do Brasil.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei Federal nº 12.305, de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto Federal nº 7.404/2010 é o marco legal para a gestão de resíduos sólidos no Brasil. Essa Política define resíduos sólidos como “todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade”. Um estudo realizado por Ibanhes,

Matos e Schilindwein (2020, pag. 174) demonstra que resíduos sólidos podem ser reciclados, e que essa ação é capaz de ajudar o meio ambiente:

A reciclagem ajuda a preservar o meio ambiente por meio da redução do consumo de recursos naturais não-renováveis, substituindo-os por resíduos recicláveis dentro da cadeia produtiva. (IBANHES; MATOS; SHILINDWEIN. 2020, p. 174)

Segundo Castro:

A reciclagem pode ser definida como uma separação metódica e sistemática de papéis, metais, plásticos, vidros, entre outros, para a sua posterior transformação e reutilização... (CASTRO, 2008, p. 8)

Com isso, ao observar as citações de Castro e dos autores Ibanhes, Matos e Schilindwein relacionadas ao conceito de resíduos sólidos pela PNRS, percebe-se que os materiais mencionados por Castro são resíduos que podem ser reciclados, ou seja, separados para serem transformados ou reutilizados. Além disso, essa ação pode ajudar a preservar o meio ambiente de forma global, contribuindo com a sustentabilidade. Isso tem relação com o exposto pela Agenda 21 no artigo de Souza e Ribeiro:

A sustentabilidade ambiental está relacionada a padrões de consumo e de produção sustentáveis e uma maior eficiência no uso de energia para reduzir, ao mínimo, as pressões ambientais, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição. Os governos, em conjunto com setor privado e a sociedade, devem atuar para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados, por meio da reciclagem, nos processos industriais e na introdução de novos produtos ambientalmente saudáveis. (AGENDA 21 CNUMAD 1996 apud.

SOUZA E RIBEIRO, 2013, p. 370).

Sendo assim, Diane Reis et al. (2017, pag. 3) enfatizam que, segundo autores, o investimento em tecnologias que preservem o meio ambiente podem auxiliar no crescimento sustentável, e algumas dessas tecnologias são desenvolvidas por startups que disseminam novas alternativas sustentáveis (Hunsberger, 2014). O artigo de Carlos Chaym et al. (2021), também menciona sobre startups sustentáveis:

Novos empreendimentos, como as startups, devem ser orientados pelo mercado a seguir o caminho de desenvolvimento e inovação sustentáveis... Dessa forma, as startups envolvidas com sustentabilidade podem ter um papel valioso para o desenvolvimento da economia... e, através de ideias inovadoras, podem ser o caminho para o crescimento... (HESLOP et al. 2019 apud CARLOS CHAYM et al. 2021, p. 5).

Portanto, no presente trabalho aborda-se sobre o projeto *Trashbot* da startup *CleanRobotics*, a qual expõe no site oficial o objetivo principal dessa startup, o que se relaciona com temáticas abordadas por Carlos Chaym et al. e Diane Reis et al. em seus devidos artigos: “Criar soluções sustentáveis, inovadoras e orientadas para a tecnologia para problemas ambientais persistentes.” (CLEANROBOTICS, 2021)

METODOLOGIA

A pesquisa possui caráter dissertativo e explicativo, de natureza quantitativa com tipologia bibliográfica e

documental para que sejam alcançados os objetivos propostos e a chegada aos resultados. A pesquisa será realizada em 6 etapas, descritas a seguir:

1. Revisão bibliográfica sobre Startups: Se dá a partir da busca de informações que fundamentem e contextualizem a área apresentada (startups), analisando e revisando a literatura; essa busca pode ser realizada em sites oficiais, artigos científicos, livros, entre outros documentos.
2. Revisão bibliográfica especificamente sobre o projeto *Trashbot*: Consta da revisão bibliográfica de artigos, livros, sites ou projetos que apresentem uma explicação ou contextualização da área específica descrita (*Trashbot*: lixeira inteligente), de forma a apresentar suas principais características, objetivo, pontos favoráveis e desfavoráveis do projeto.
3. Levantamento de dados científicos: Realizar-se-á um levantamento de todos os dados estatísticos e científicos necessários para exemplificar e demonstrar a utilização do projeto na prática com o auxílio de gráficos, coleta de dados ou imagens da área descrita.
4. Apresentar resultados do projeto *Trashbot* no Brasil:

O estudo será realizado com pesquisas no campo virtual em sites ou artigos tanto nacionais quanto internacionais, mas será feito uma análise especificamente no Brasil, de forma a demonstrar resultados obtidos com a utilização do projeto nessa localidade.

5. Relacionar o tema com o meio ambiente e a saúde pública no Brasil: Após apresentar o projeto, suas características e outras informações importantes, o presente trabalho fará uma relação do projeto com o meio ambiente e a saúde pública do Brasil, demonstrando as inferências que o projeto pode trazer no âmbito descrito.
6. Apresentar conclusões acerca do trabalho de forma geral: Elaborar relatório parcial e final da pesquisa, sendo o relatório final em formato de artigo científico, com a consolidação das informações geradas, conclusões acerca do projeto nos âmbitos descritos e disseminação dos mesmos em eventos acadêmicos e científicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

EVOLUÇÃO DAS STARTUPS

O termo Startup ainda é pouco

conhecido pela maioria das pessoas de forma geral, apesar de grande porcentagem da população já ter utilizado um projeto de startup pelo menos uma vez na vida. Dessa forma, para compreender o conceito desse termo, é necessário que seja realizada uma revisão na bibliografia de autores da ciência renomados no assunto. Descartes de Souza Teixeira, diretor e fundador do Instituto de Tecnologia e Software (ITS), professor da Fundação Instituto de Administração (FIA) e parceiro do Fórum de Inovação da FGV, parte da etimologia da palavra do termo em inglês “*Startup*” – em que “start” é começo ou início e “up” é algo que está pronto para ser lançado; o que tem relação direta com o que Taborda (2006) relatou sobre Startup:

É uma empresa em fase embrionária, geralmente no processo de implementação e organização das suas operações. Pode não ter ainda iniciado a comercialização dos seus produtos ou serviços, mas já está a funcionar ou, pelo menos, em processo final de instalação (TABORDA, 2006, p. 01).

A autora relata que *Startup* é uma empresa que está começando a sua implementação e organização das operações, e está em funcionamento, mesmo que não esteja ainda em uma comercialização. Paralelamente, 6 anos depois, Graham (2012) relata que o sentido e característica principal de uma Startup, contribuindo para a sua definição:

Uma startup é uma empresa concebida para crescer rápido. Sendo recém-fundada não em si mesmo, fazer de uma empresa uma startup. Também não é necessário para uma startup

trabalhar em tecnologia, ou tomar financiamento de risco, ou ter algum tipo de “escape.” A única coisa essencial é o crescimento. Todo o resto que nós associamos com startups decorre do crescimento (GRAHAM, 2012, p. 15).

Nesse mesmo ano, na opinião de Blank (2012):

Uma startup é uma organização temporária construída para buscar respostas que promovam a obtenção de um modelo de negócio recorrente e escalável (BLANK, 2012, p. 29).

Em suma, conclui-se que Startups são empresas que partem de ideias de extremas incertezas, inovadoras e de ideias diferenciadas que visam o crescimento de forma rápida utilizando a tecnologia. Outra conclusão, é que, basicamente, startup é uma empresa que possui um modelo de negócios repetível e escalável, como relata Blank (2012); elas são inovadoras e, normalmente, usam a tecnologia para o seu desenvolvimento. De acordo com o site da SEBRAE, as startups tiveram seu surgimento nos EUA entre os anos de 1996 e 2001, no período chamado bolha da internet; surgiram no Vale do Silício, na famosa região da Califórnia que é especializada em tecnologia e inovação. E apesar de recentes, as Startups já se tornaram conhecidas no mundo todo; alguns exemplos de empresas startups extremamente conhecidas no Brasil e no mundo todo, são: Apple, Microsoft, Samsung, Uber, entre outras. Mas para que servem as *Startups*?

Em síntese, Descartes de Souza Teixeira relata que: “Quando você estimula o surgimento de startups você

estimula o desenvolvimento e gera mais riqueza porque gera mais empresas. É útil para o desenvolvimento, todos os países estão adotando”. Segundo o professor, as startups servem para renovar as atividades empresariais. Já partindo de um ponto de vista mais prático, Felipe Matos, fundador da aceleradora Startup Farm., pesquisador do Mestrado Profissional em Empreendedorismo da FEA-USP e ex-Diretor de Operações do programa Startup Brasil, do Governo Federal, relata em entrevista com Isabela Mena que acredita que as startups sirvam pouco para as pessoas:

Serve mais para identificar empresas com potencial de crescimento, para as quais vem sendo criadas metodologias de gestão específicas, como a startup enxuta (ou lean startup), para as quais existem organizações de apoio, como incubadoras, aceleradoras, investidores anjos e fundos de investimento, que buscam apoiá-las e apostar em seu crescimento.

Em consonância, as startups são desenvolvedoras de ideias inovadoras extremamente importantes para a ciência e algumas que contribuem até mesmo para a melhoria da saúde pública e na questão do meio ambiente. Com a situação atual de escassez de recurso naturais e degradação do meio ambiente, cada vez mais empresas estão se preocupando com esta pauta e adotando uma postura sustentável. Por isso o termo ESG (*Environmental, social and corporate governance*), que nada mais é que um conceito sobre sustentabilidade e questões sociais que passaram a ser consideradas essenciais em decisões

de investimento de grandes empresas. Essa agenda ESG não está na maioria das startups, segundo pesquisa feita pela Associação Brasileira de *Startups* (*Abstartups*) 56,1% das *startups* mapeadas não declararam iniciativas reconhecidas pela ESG; das startups pesquisadas, 15,7% têm projeto focado em ações sociais, 11,3% têm projetos focados em impactos no meio ambiente, gestão de resíduos e reciclagem, 7,4% têm iniciativas em todas as frentes do ESG e somente 5,3% tem iniciativas governamentais com transparência e ética.

Portanto, tendo em vista todos esses dados, observa-se que as startups, no Brasil, não estão tomando como pauta a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. Porém, algumas iniciativas em âmbito de preservação do meio ambiente e desenvolvimento social vêm se destacando, como por exemplo, a *startup* “*Getrak*”. De acordo com o site da “*exame.com*”, *Getrak* é uma startup especializada em desenvolvimento e fortalecimento de infraestrutura de empresas de rastreamentos, ela foi certificada por realizar a reciclagem de *Simcard*; além disso, é feita a destinação correta de plásticos e metais contidos. Entre os meses de julho e novembro de 2021 já foram reciclados 360Kg de papelão e cartões *Simcard* por sua parte.

Nesse sentido, afirma-se que há startups que desenvolvem-se visando a questão da sustentabilidade ambiental, que, de acordo com o documento Agenda 21 (CNUMAD, 1996), é a preservação

do meio ambiente de maneira que haja o equilíbrio entre o suprimento das necessidades da sociedade e o uso racional dos recursos naturais sem que haja prejuízo para a natureza, a fim de reduzir, ao mínimo, as pressões ambientais, o esgotamento dos recursos naturais e a poluição. Segundo o site Oxigênio aceleradora (mai. de 2021), as startups sustentáveis são negócios que entregam uma solução nova para o mercado a partir da sustentabilidade; direta ou indiretamente, são as empresas inovadoras que conseguem neutralizar ou reduzir os impactos ao meio ambiente e sociedade como um todo. Ainda de acordo com o site citado, o principal objetivo é aumentar a eficiência dos processos para, assim, reduzir desperdícios e gastos desnecessários. Com todas essas ações colocadas em prática, a tendência é que todo negócio tenha maior longevidade; afinal, os recursos são aplicados com eficiência, em outras palavras, a produtividade é maior, o desperdício é menor e as oportunidades aparecem com bastante frequência. Tudo isso, com uma gestão eficiente, resulta em uma startup com resultados positivos em curto, médio e longo prazo. Essa é uma das principais características das startups sustentáveis, ou seja, utilizar melhor os recursos disponíveis para alcançar um desempenho mais elevado. A produtividade é, portanto, essencial para que um negócio seja considerado sustentável, conseguindo entregar resultados positivos. Então, a startup é cadastrada na Fundação estadual do Meio Ambiente (Feam) e segue todos

os protocolos de preservação e cuidado com o meio ambiente.

STARTUP TRASHBOT

Um grande exemplo de uma Startup sustentável é a empresa *CleanRobotics*, que busca criar soluções sustentáveis e inovadoras que, por meio da tecnologia, visa combater os problemas ambientais persistentes segundo o site oficial da *CleanRobotics*. Uma das criações dessa empresa foi o projeto *Trashbot*, que é, sobretudo, um sistema autônomo que utiliza a robótica. Segundo Vaish Krishnamurthy e Koushil Sreenath, pesquisadores inventores do projeto *Trashbot*, essa ideia surgiu nos Estados Unidos a partir de suas próprias dúvidas sobre reciclagem, bem como mencionou Charles Yhap, cofundador e CEO da *CleanRobotics*: “A ideia nasceu da frustração”; o cientista relata que sempre achou confuso separar o lixo nas lixeiras. Então, a lixeira inteligente (*Trashbot*) apareceu para facilitar essa separação com o auxílio da tecnologia e tendo um preço competitivo no mercado.

A lixeira inteligente é um recipiente composto de aço inoxidável de calibre pesado que, segundo o site oficial da *CleanRobotics*, resiste à ferrugem e à corrosão, o que a torna perfeita para qualquer ambiente. Além disso, o objeto conta com rodas de trava giratórias para a sua locomoção e um display integrado para adicionar um conteúdo personalizado bem como demonstrado nas Figuras: 1, 2 e 3.

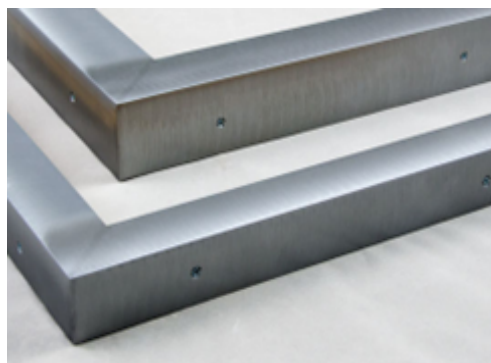


Figura 1. Construção por aço inoxidável.
Fonte: <https://cleanrobotics.com/trashbot>.



Figura 2. Rodas de trava giratórias.
Fonte: <https://cleanrobotics.com/trashbot>.



Figura 3. Display Integrado.
Fonte: <https://cleanrobotics.com/trashbot>.

O monitor personalizado serve, sobretudo, para adicionar conteúdo educacionais. O objetivo da lixeira inteligente não é somente separar o resíduo reciclável do não reciclável, mas também contribuir com a educação ambiental por meio do monitor de comunicação corporativa.

De acordo com Igor Nishikiori, para o site “*techtudo*”, o projeto tem o objetivo principal de auxiliar na coleta seletiva, de forma a reduzir a contaminação no meio ambiente por materiais recicláveis. Segundo Charles Yhap, as pessoas ainda não conseguem separar o resíduo reciclável do não reciclável. Então, o projeto *Trashbot* é capaz de realizar esse procedimento com o auxílio da tecnologia robótica, visão computacional, algoritmos e inteligência artificial. Funciona da seguinte forma: quando um recipiente entra na lixeira, a tampa se fecha automaticamente e os sensores e câmeras enviam informações ao software, classificando o lixo como reciclável ou não reciclável, e, em seguida, direcionando-o para o compartimento adequado. Esse processo demora cerca de 3 (três) a 5

(cinco) segundos (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2020).

Ademais, o trabalho das *Trashbot's* é muito eficiente, sendo essa uma das principais vantagens da utilização dessa lixeira. Outras vantagens descritas pelo site oficial da *CleanRobotics* são as coletas de dados realizados pela lixeira (Figura 4), que proporcionam:

- Projeções de economia (desvios, despesas)
- Auditorias de resíduos exportáveis e sob demanda.
- *Status* de plenitude e *Trashbot* para operações de custódia
- IA personalizável para conformidade
- Dados granulares para *insights* de decisão.

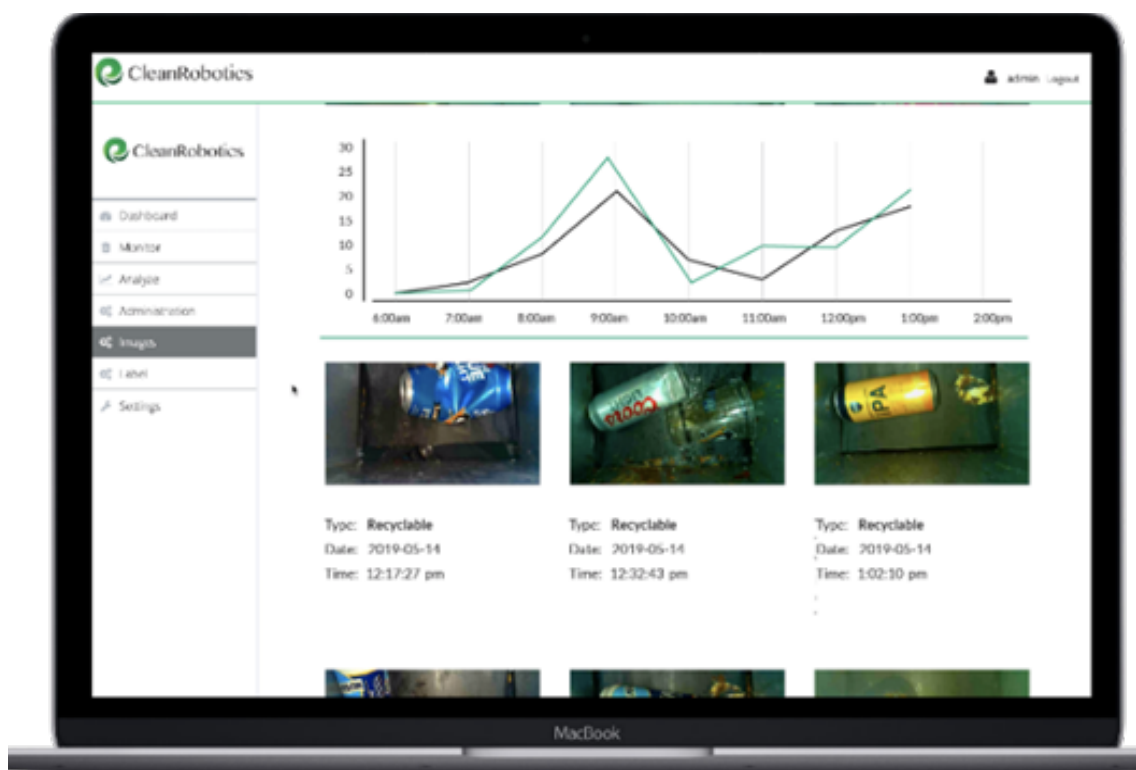


Figura 4. Demonstração de coleta de dados de análise.

Fonte: <https://cleanrobotics.com/trashbot>.

Em contrapartida, é importante destacar uma desvantagem da lixeira artificial: o modelo aceita apenas um material por vez. Por enquanto, a lixeira-robô só está disponível em grande porte, bem como demonstrado na Figura 5, para ficar em aeroportos, estações de trem, shoppings e outros edifícios de grande porte. Os pesquisadores da *Startup* têm ideias futuras de criar versões menores que possam ficar em cafeterias, prédios residenciais e para uso doméstico (TECHTUDO, 2020).



Figura 5. Lixeira-robô.

Fonte: <https://cleanrobotics.com/trashbot>.

LEVANTAMENTO DE DADOS

O projeto *Trashbot* da *Startup CleanRobotics* foi colocado em prática nos últimos anos (em torno de 2019/2020), por isso, há poucos dados que retratam a sua eficiência; assim como há poucas publicações relatando sobre o projeto na literatura brasileira. No entanto, alguns dados estatísticos e relatos de experiência foram coletados e expostos nesse tópico,

sendo suficientes para fundamentar a pesquisa documental.

Em uma entrevista à *Fast Company* em 2020, Charles Yhap relata suas experiências em relação aos resíduos, justificando a criação do projeto *Trashbot*:

A ideia nasceu da frustração [...] Depois de me alimentar, vou despejar as sobras no lixo. Mas nunca tenho certeza se estou jogando os recipientes no local correto [...] começamos a analisar os custos com sensores e componentes robóticos, a crescente acessibilidade de algoritmos, sistemas de IA e, então pensamos que seria possível construir algo que faça isso (separar o lixo) melhor do que as pessoas [...] por isso, pensamos em construir um robô com preço competitivo e agregar mais valor [...] estamos enfrentando uma crise climática e todo o mundo está pensando em maneiras de reduzir a emissão de carbono e o desperdício. No entanto, as pessoas ainda não conseguem reciclar corretamente.

Feito o projeto, foi possível analisar a sua eficiência. De acordo com os desenvolvedores da *Trashbot*, a lixeira eletrônica tem uma taxa de acerto de 90%, contra 30% dos métodos tradicionais., bem como demonstrado no Gráfico da Figura 6.

O gráfico da Figura 6 demonstra a taxa de acerto em porcentagem, ou seja, o sucesso de tal método em realizar o processo de coleta seletiva em detrimento do método descrito (*Trashbot* e tradicional). O método tradicional, que é a coleta seletiva realizada pela população e pelas entidades empresariais e industriais, apresenta uma taxa de sucesso apenas de 30%, enquanto a lixeira eletrônica da *CleanRobotics* apresenta 90%. Assim,

demonstrando a grande eficiência desse projeto. Além disso, também há relato do fundador da startup que criou o projeto, *Tannet* Cook, exposto no gráfico da Figura 7.

No gráfico da Figura 7 é possível visualizar que apenas 20% do lixo reciclável chega às fábricas em boas condições para ser reaproveitado. Ou seja, o restante (80%) chega em más

condições, supõe-se que essas “más condições” se refere à contaminação desses resíduos por conta da coleta seletiva não realizada ou feita de forma inadequada. Assim, percebe-se a grande importância da coleta seletiva, a qual é realizada pela lixeira eletrônica da *CleanRobotics* que propõe melhorar essa situação descrita por Tannet.

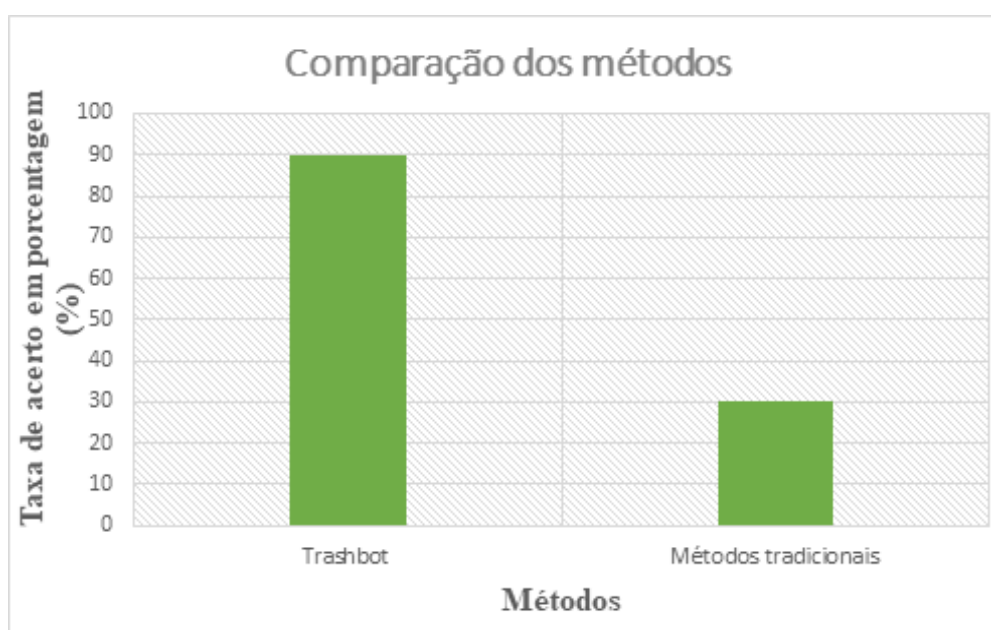


Figura 6. Eficiência dos métodos.

Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/02/trashbot-e-um-robo-lixreira-que-separa-o-lixo-para-ajudar-na-reciclagem.ghtml>.

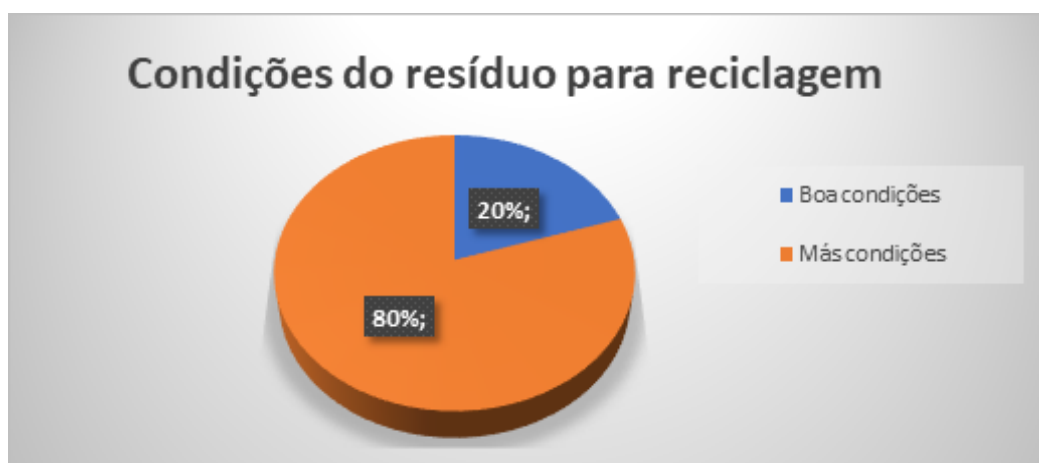


Figura 7. Condições do lixo reciclável.

Fonte: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/02/trashbot-e-um-robo-lixreira-que-separa-o-lixo-para-ajudar-na-reciclagem.ghtml>.

Outro dado científico importante refere-se à categoria “impacto ambiental” de acordo com o site oficial da *CleanRobotics*. Um piloto do *TrashBot* de 2022 em um dos aeroportos mais movimentados do mundo mostrou que 40 *TrashBots* podem desviar 417 toneladas de recicláveis por ano. Isso resulta na redução de 1.111,30 toneladas métricas de equivalentes de dióxido de carbono, o que equivale a tirar centenas de carros das ruas (CLEANROBOTICS, 2022). Além disso, o site também demonstra dados em relação a compostagem: a lixeira-robô pode aumentar a compostagem de resíduos em 200% ou mais, contribuindo para a redução do número de resíduos orgânicos que são mal descartados e causam consequências ao meio ambiente e à saúde humana.

No Brasil, o projeto tem atuações em algumas empresas e é objeto de pesquisa de alguns estudantes pesquisadores, como por exemplo o projeto realizado pelo estudante de engenharia da Computação da Unisociesc, Carlos Henrique Corrêa, o qual possui um projeto semelhante ao *Trashbot* em Santa Catarina, porém em situações mais modestas. Em contrapartida, esse projeto ainda se encontra em escassez na literatura brasileira.

MEIO AMBIENTE E SAÚDE PÚBLICA

Em suma, percebe-se que o projeto da lixeira-robô amplia a proposta da coleta seletiva nos ambientes, separando os materiais que podem ser

reaproveitados para outros fins. Mas qual a relevância disso para o meio ambiente e para a saúde humana?

Atualmente os resíduos sólidos são causadores de diversos tipos de poluição ambiental: poluição do ar, da água, do solo e até mesmo poluição visual. Conforme descreve Valle (2011):

Poluição ambiental pode ser definida como toda ação ou omissão do homem que, pela descarga de material ou energia atuando sobre as águas, o solo, o ar, causa um desequilíbrio nocivo, seja ele de curto, seja de longo prazo, sobre o meio ambiente... (VALLE, 2011, p. 27).

De acordo com Hempe & Noguera (2012), desde o surgimento das indústrias nos últimos séculos, grande parte da população adotou um modelo de alto consumo e alta produção, com isso, houve a maior degradação e exploração do meio ambiente. Consequentemente, o número de materiais descartados pela população aumentou demasiadamente nos últimos tempos, e a falta manejo adequado desses materiais resulta em diversas formas de poluição, o que causa sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, bem como descrevem Hempe & Noguera (2012):

Os resíduos sólidos urbanos gerados nas cidades tem sido motivo de preocupação nas últimas décadas, pois tem causado crescente poluição e impactos socioambientais devido à disposição final inadequada (HEMPE; NOGUERA, 2012, p. 684)

Em síntese, esses impactos socioambientais mencionados pelos autores são consequências que podem afetar a saúde da população

e o meio ambiente, causando desastres ambientais de cunho global e enfermidades dos diversos tipos (doenças físicas, psíquicas, respiratórias, fisiopatológicas, entre outras) na população. Isso decorre da falta de disposição final adequada a esses resíduos, os quais muitas vezes são destinados à lixões a céu aberto; tanto que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000) uma média de 75% (setenta e cinco por cento) de todo o lixo gerado no Brasil tem destinação a céu aberto, mais conhecidos como lixões. E de acordo com Hempe & Noguera (*apud* ISINNO e MOREIRA, 1996; TRESSOLDI e CONSONI, 1998; TAKAYANAQUI, 2005 *apud* MELO, 2009), os principais problemas socioambientais provocados nos lixões são a proliferação de animais vetores de doenças que contaminam a população e geram agravos, geração de maus odores, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do lixiviado (chorume), resultante dos processos de decomposição dos resíduos sólidos.

Portanto, o uso da lixeira inteligente vem com a proposta de redução desses resíduos que são dispostos inadequadamente ao meio ambiente, e consequentemente, reduzindo os agravos na saúde da população e os impactos negativos causados no meio ambiente (poluição), ampliando a proposta da coleta seletiva e a prática da reciclagem e reutilização que são benéficas para o meio ambiente e para a população,

bem como menciona Cavalcante *et al.*, (2012):

A reciclagem e a reutilização de resíduos sólidos têm sido consideradas duas importantes alternativas para a redução de quantidade de resíduos sólidos o futuro, capazes de contribuir para a adoção de práticas voltadas à conservação do meio ambiente, através de uma maior eficiência na utilização de matéria-prima e energia (CAVALCANTE *et al.*, 2012, p. 2047 – 2054)

Ademais, o projeto também tem como uma de suas finalidades trabalhar com a sensibilização e mobilização das pessoas por meio de um monitor como demonstrado na Figura 4, assim, também trabalhando a solução a longo prazo de redução dos impactos ao meio ambiente e a saúde humana pela disposição final inadequada dos resíduos sólidos, que seria a educação ambiental. Segundo a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA, 1999), a educação ambiental são:

processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, 1999, p. 1).

Assim, comparando as abordagens de CAVALCANTE e da PNEA, conclui-se que tanto a reciclagem e reutilização como a educação ambiental, são práticas voltadas para a conservação do meio ambiente. Portanto, o projeto *Trashbot* com suas funções e objetivos (disposição dos resíduos para

reciclagem e educação ambiental) pode contribuir de forma significativa para a conservação ambiental, reduzindo impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

CONCLUSÃO

Diante dos fatos expostos, fica evidente que com o surgimento e avanço das startups, as ideias e tecnologias inovadoras muitas vezes conseguem superar as expectativas científicas e contribuir para a melhoria da situação ambiental e da saúde humana do planeta. Em síntese, o projeto *Trashbot* é um grande exemplo de inovação de startup sustentável que demonstra eficiência na função de destinar os resíduos corretamente para compartimentos recicláveis ou não recicláveis.

Sendo assim, é extremamente recomendável que a lixeira-robô seja utilizada pelas empresas, shoppings e edifícios de grande porte; e futuramente, utilizá-las também em ambientes domésticos. Essa opção pode ser uma alternativa a curto e médio prazo para a minimização dos impactos causados pela disposição final incorreta dos resíduos sólidos.

Portanto, destaca-se neste artigo a importância do incentivo às pesquisas, inovações e tecnologias que auxiliem no combate à degradação e exploração do meio ambiente. Sendo estas invenções extremamente necessárias para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

BLANK, Steve. **“Por que o movimento lean startup muda tudo”**, 2013. Harvard Business Review Brasil.

BLANK, Steve e DORF, Bob. **Startup Manual do Empreendedor**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Alta Books 2014.

BRASIL. Ministério do Meio ambiente. **Agenda 21 e biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: < https://antigo.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/CadernodeDebates9.pdf> Acesso em: 03 de maio de 2022.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 03 de maio de 2022.

CAMPOS, Luis; CANAVEZES, Sara. **Introdução à globalização**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Bento Jesus Coraça, 2011.

CASTRO, Mauriceia Aparecida. **A reciclagem no contexto escolar**. 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/448-4.pdf>> Acesso em: 03 de maio de 2022.

CAVALCANTE, L. P. S.; CAVALCANTE, L. S.; MEDEIROS, V. S. de; MAIA, H. J. L.; ALENCAR, L. D. de. Análise da percepção ambiental e sensibilização de educandos do ensino fundamental de uma escola pública para realização da coleta seletiva. Campina Grande – PB. **Monografias Ambientais**, v. 9, n. 9, p. 2047 – 2054, 2012.

CHAYM, Carlos Dias; SILVA, José Rafael Martins; SILVA, Fábio; LIMA, Klayton Cardoso Araújo; WANDERLEY, Giovanna Martins. **Um levantamento das startups brasileiras com potencial de colaboração para a Economia Azul**. XXIII ENGEMA, 2021. Disponível em: <<http://engemasp.submissao.com.br/23/anais/arquivos/248.pdf?v=1651531776>> Acesso em: 03 de maio de 2022.

CLEANROBOTICS. **Diga olá à reciclagem inteligente e econômica**. 2022. Disponível em: <<https://cleanrobotics.com/>> Acesso em: 01 de junho de 2022.

DORNELAS, José Carlos Assis. **Empreendedorismo: transformando ideias em negócios**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2001

GRAHAM, Paul. Co-fundador da Y Combinator, **“Startup = Growth, Want to start a Startup?”**, set. 2012. Disponível em: <<http://www.paulgraham.com/growth.html>> Acesso em: 02 de maio de 2022.

HEMPE, Cléa; NOGUERA, Jorge Orlando Cuellar. **A educação ambiental e os resíduos urbanos**. HEMPE & NOGUERA, v(5), nº5, p. 682 - 695, 2012. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET/UFSM (e-ISSN: 2236-1170). Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4117/2798>> Acesso em: 10 de maio de 2022.

IBANHES, Eliakyn Dayan; MATOS, Givaldo Mauro; SCHILINDWEIN, Madalena Maria. **Leis ambientais: eficácia da legislação sobre a reciclagem no município de dourados**. Revista Reflexão e Crítica do Direito, v. 8, n. 1, p. 171-195, jan./jun. 2020. Disponível em: <<https://revistas.unaerp.br/rcd/article/download/1496/1714>> Acesso em: 20 de setembro de 2021.

POR BÚSSOLA, PARA EXAME.COM. **Conheça estas 7 startups que contribuem com práticas sustentáveis**. 2022. Disponível em: <<https://exame.com/bussola/conheca-estas-7-startups-que-contribuem-com-praticas-sustentaveis/>> Acesso em: 01 de maio de 2022.

POR CAROL KUVIATKOSKI, IDEIA NO AR. **Startup: o que é, como funciona e como criar uma startup?** 2021. Disponível em: <https://www.ideianoar.com.br/startup/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=startup&utm_term=o_que_e_uma_startup&gclid=Cj0KCQjws4aKBhDPARI->

sAIWH0JWCpOpmTtTLcCpagQnM-ZaLj09xaUp0r7KxGsALYUbj42LM-MENTil9oaAn6KEALw_wcB> Acesso em: 15 de setembro de 2021.

POR ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE, PARA EDITORA GLOBO. **Startup cria lixeira-robô que separa material reciclável.** Atualizado em 17 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2020/02/startup-cria-lixeira-robo-que-separa-material-reciclavel.html>> Acesso em: 25 de fevereiro de 2022.

POR EQUIPE ACE, PARA ACE VENTURES. **O que é uma startup?** 2017. Disponível em: <https://acestartups.com.br/o-que-e-uma-startup/?gclid=Cj0KCQjws4aKBhDPArlsAIWH0JVWQlj0yJMkzVtSWt9gxqorIUAc8V8WbJ_swpGlC4_nAK3upBwPGJsaAgroEALw_wcB> Acesso em: 15 de setembro de 2021.

POR FILIPE GARRETT, PARA O TECHTUDO. **O que é startup? Entenda o significado e como funcionam essas empresas.** 15 de abril de 2020. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/04/o-que-e-startup-entenda-o-significado-e-como-funcionam-essas-empresas.ghtml>> Acesso em: 23 de fevereiro de 2022.

POR IGOR NISHIKIORI, PARA O TECHTUDO. **Trashbot é um robô-lixo que separa o lixo para ajudar**

na reciclagem. 2022. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2020/02/trashbot-e-um-robo-lixo-que-separa-o-lixo-para-ajudar-na-reciclagem.ghtml>> Acesso em: 23 de fevereiro de 2022.

POR ISABELA MENA, VERBETE DRAFT. **O que é Startup.** 01 de jul. de 2015. Disponível em: <<https://www.projeto draft.com/verbeta=-draft-o-que-e-startup/#:~:text=%E2%80%9Cserve%20mais%20para%20identificar%20empresas,investimento%2C%20que%20buscam%20apoi%C3%A1%2Dlas>> Acesso em: 03 de maio de 2022.

POR RAFAEL CARVALHO, NA PRÁTICA ORG. **Afinal de contas, o que exatamente é uma startup?** 2015. Disponível em: <<https://www.napratica.org.br/afinal-de-contas-o-que-exatamente-e-uma-startup/>> Acesso em: 02 de abril de 2022.

POR REDAÇÃO MUNDO ESTRANHO, PARA SUPER INTERESSANTE. **Qual foi o primeiro SOFTWARE criado,** 2018. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-foi-o-primeiro-software-criado/>> Acesso em 16/fev/2022.

POR ROCK STAGE, PARA OXIGÊNIO ACELERADORA. **Veja o que são startups sustentáveis e como aplicar isso!** 2021. Disponível em: <<https://blog.oxigenioaceleradora.com.br/>>

startups-sustentaveis/> Acesso em: 10 de maio de 2022.

POR SILVA LOPES, PARA O STARTUPLIFE. **Startup cria lixeira inteligente para separação de resíduos.** 2020. Disponível em: <<https://startuplife.com.br/blog/noticias/startup-cria-lixeira-inteligente-para-separacao-de-residuos/>> Acesso em: 10 de maio de 2022.

POR SP CIDADE GENTIL, PARA MEDIUM. **Cientistas criadora lixeira-robô que separa sozinha o material reciclável.** 2016. Disponível em: <https://medium.com/@spciadegentil/cientistas-criam-lixeira-rob%C3%B4-que-separa-sozinha-o-material-recicl%C3%A1vel-bd6c33d469c3> Acesso em: 02 de maio de 2022.

POR VITOR PAIVA, PARA O HYPENESS. **Esta lixeira-robô é capaz de separar material reciclável.** 27/02/2020. Disponível em: <<https://www.hypeness.com.br/2020/02/esta-lixeira-robo-e-capaz-de-separar-material-reciclavel/>> Acesso em: 24 de fevereiro de 2022.

REIS, Diane Aparecida; GALVÃO, Graziela Darla Araujo; FLEURY, Andre Leme; CARVALHO, Monteiro Marly. **A visão da sustentabilidade relacionada a Startups: Estudo bibliométrico.** Simpósio Internacional de Gestão de Processos, Inovação e Sustentabilidade (VI SINGEP), 2017.

Disponível em: <<http://www.singep.org.br/6singep/resultado/444.pdf>> Acesso em: 03 de maio de 2022.

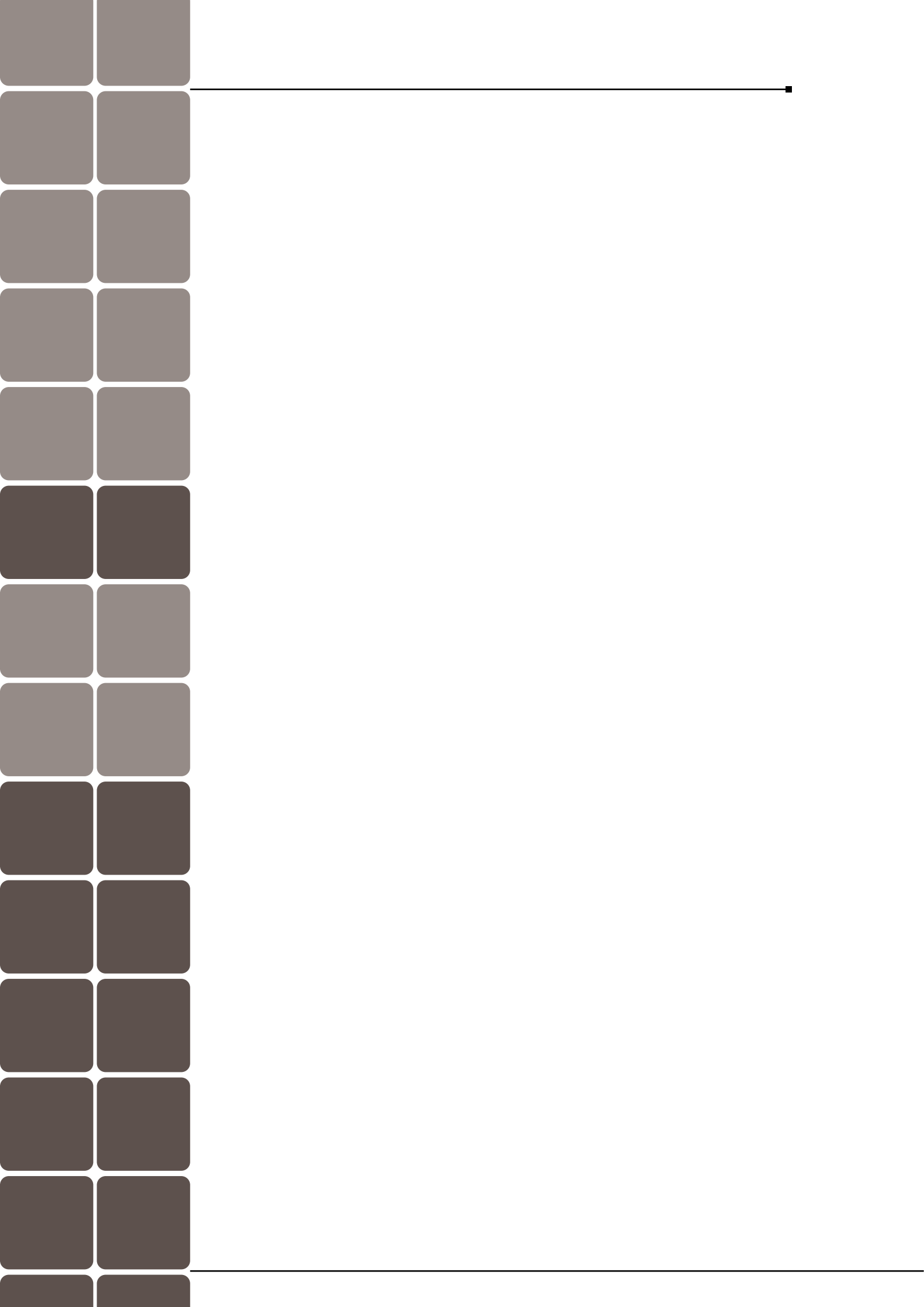
SEBRAE, EMPREENDEDORISMO, STARTUP. **O que é uma startup?** 2014. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-uma-startup,6979b2a178c83410VgnVCM1000003b74010aRCRD>> Acesso em: 2 de abril de 2022.

SOUZA, M. T. S; RIBEIRO, H. C. M. **Sustentabilidade ambiental: uma meta-análise da produção brasileira em periódicos de administração.** Rev. adm. contemp. 17 (3). Jun. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-65552013000300007>> Acesso em: 03/05/22.

TABORDA, Ana. **“O que é uma start-up?”**, dez. 2006. Disponível em: <http://www.gesentrepreneur.com/pdf/o_que_e_uma_start_up.pdf> Acesso em: 02 de maio de 2022.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: ISO 14000.** 11ª ed. São Paulo: SENAC, 2011.

VASCONCELOS, Giliard Gonçalves; MALAGOLLI, Guilherme Augusto. **INOVAÇÃO STARTUP: Transformando ideias em Negócios de Sucesso.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 01. Vol. 09. pp 739-753. Outubro/novembro de 2016.



Estimativa da produção de lodo nas ETAs da RMB: impactos e indicação de soluções viáveis e ambientalmente vantajosas

Estimation of sludge production in the RMB stages: impacts and indication viable and environmentally advantageous solutions

Maria de Jesus Barbosa Pereira da Silva

Graduada em Tecnologia de Saneamento Ambiental - IFPA. **Endereço:** Travessa Barão do Triunfo, 828. Sacramenta. CEP.: 66.083-100. Belém/PA. **E-mail:** mbarbosa35@gmail.com.

Joseane Roberta Moraes de Pina

Graduada em Tecnologia de Saneamento Ambiental – IFPA.

Letícia Souza dos Santos

Engenheira Ambiental e Sanitarista, COSANPA, Belém/PA.

Ilka Suely Dias Serra

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA - *Campus* Belém. Mestra em Engenharia Civil Com Ênfase em Saneamento pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental, IFPA - *Campus* Belém. Doutora em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará.

RESUMO

As ETAs que operam em ciclo completo produzem um determinado resíduo sólido conhecido como lodo, os quais podem vir a causar impactos ambientais negativos quando seu processamento não ocorre da maneira correta. O principal objetivo do trabalho foi estudar quais ETAs da RMB produzem lodo no seu funcionamento, além de indicar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do respectivo resíduo. O estudo demonstrou que, conforme a especificidade do lodo, é possível aplicar diversas soluções ambientalmente e economicamente favoráveis para solução do problema da destinação final do lodo, tais como: o aproveitamento na agricultura como fertilizantes e na construção civil na produção de cerâmicas, levando-se em conta a produção de lodo das 3 ETAs estudadas que somam em média de 10.869,97 kg/dia.

Palavras-chave: Lodos de ETAs. Reaproveitamento. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

ETAs that operate in a full cycle produce a certain solid waste known as sludge, which can cause negative environmental impacts when its processing is not carried out correctly. The main objective of the work was to study which RMB ETAs produce sludge during their operation, in addition to indicating economically viable and environmentally advantageous solutions for the reuse of the respective waste. The study demonstrated that, depending on the specificity of the sludge, it is possible to apply several environmentally and economically favorable solutions to solve the problem of final disposal of the sludge, such as: use in agriculture as fertilizers and in civil construction in the production of ceramics, leading to The sludge production of the 3 ETAs studied is taken into account, which totals an average of 10,869.97 kg/day.

Keywords: ETA sludge. Reuse. Environmental impacts.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano, sobretudo nas grandes metrópoles, gera um aumento da demanda por água potável. Consequentemente há também o aumento da geração de resíduos nas estações de tratamento de água - ETA. Este resíduo – o lodo, é proveniente da remoção de sólidos e outros poluentes da água dos mananciais para a sua potabilização. O lodo se caracteriza como um passivo ambiental nas ETAs, nos casos em que esse lodo é lançado em corpos hídricos. Isto pode causar assoreamento e aumento da concentração de metais na água, dentre outros impactos. Somado a isso, aspectos legais reforçam a necessidade de repensar esta maneira de gerenciar o lodo, sob o ponto de vista de crime ambiental, visto que o lodo caracteriza um passivo ambiental da indústria do saneamento, como citado anteriormente por Libânio, em 2010:

Pode-se citar como impactos no corpo d'água que recebe o lodo de ETA como destino final o aumento da quantidade de sólidos, aumento de cor e turbidez, redução da penetração de luz e, consequentemente, diminuição da atividade fotossintética e concentração de oxigênio dissolvido, assoreamento, aumento da concentração de alumínio e ferro na água, dependendo do coagulante utilizado no tratamento da água bruta, entre outros (LIBÂNIO, 2010, p. 162).

Para que seja um produto de qualidade, a água pode ser submetida, normalmente, a diversos procedimentos técnicos de tratamento de água, que são processos e operações realizados

na água bruta para a obtenção de produto potável físico-químico e bacteriologicamente seguro para consumo humano (CUNHA, 2004). A operação de uma ETA para sua potabilização produz resíduos (lodo) durante o processo, que geralmente são produzidos nas unidades de decantação e filtração.

A disposição do lodo de ETA, no Brasil, é quase sempre realizada em um corpo hídrico (ANDREOLI, 2006). No entanto, essa prática precisa ser modificada, pois vai de encontro a Lei nº 9.605, Lei de Crimes Ambientais, causando transtornos e custos às companhias de saneamento, mas, sobretudo, provocando impactos negativos nos cursos d'água, inviabilizando a oferta de água à atual e futuras gerações, em quantidade e qualidade adequadas para a satisfação das necessidades humanas (MACHADO et al., 2002). Segundo o mesmo autor, a necessidade de dispor esses resíduos de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito moderno, já que estes dejetos são potencialmente poluentes, devido à presença em sua constituição, de impurezas removidas da água bruta durante o processo de tratamento e de compostos químicos, resultantes da adição de coagulantes e condicionantes.

Os gestores de ETAs devem preocupar-se, além da qualidade do seu produto final - água potável, com o gerenciamento do lodo, visando sua destinação final adequada sem risco de passivo ambiental (SMIDERLE, 2016). A disposição do lodo, de

acordo com a literatura, pode se dar de várias formas, entre elas: aterros sanitários, reaproveitamento industrial, na fabricação de material cerâmico, a produção de agregado leve para a construção civil, na produção de cimento, no reaproveitamento agrícola, na produção de fertilizantes orgânicos e compostagem e na recuperação de solos degradados.

O trabalho busca identificar e estimar a produção de lodo das três ETAs (ETA são Brás, ETA 5º Setor e ETA Bolonha). Que produzem o lodo na sua rotina de produção de água potável, relatar se existe tratamento de lodo em cada ETA, além dos impactos ambientais causados e, finalmente, indicar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do lodo.

METODOLOGIA

Na primeira parte do trabalho foi feito um levantamento bibliográfico visando identificar soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para o reuso do lodo, as principais características desse resíduo, estimar a produção de lodo em uma ETA e os tipos de tratamento. Posteriormente foi utilizado um questionário para levantar dados sobre o funcionamento da ETA e, através deste, quantificar o lodo produzido em cada ETA da RMB.

DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Foram selecionadas três ETAs Convencionais na RMB que produzem lodo na sua operação. Na Figura 1 estão marcados os locais alvo de estudo e suas localizações geográficas dentro da RMB.



Figura. Localização geográfica das ETAs na RMB.

Fonte: Google Earth (2020).

QUESTIONÁRIO

Foi elaborado questionário com a finalidade de obter as informações de processo e aspectos gerais de cada ETA, bem como sobre a geração de lodo e sua destinação final. No Apêndice consta o questionário enviado a Concessionária de Água da RMB.

REFERENCIAL TEÓRICO

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO TIPO CONVENCIONAL

Referências na literatura mostram que a maior parte dos mananciais do Brasil, que servem de abastecimento público, é realizado o tratamento convencional.

As estações de tratamento de água (ETA) convencionais são compostas pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação e correção do pH, conforme Figura 2.

Esses processos visam, de modo geral, a remover sólidos suspensos e dissolvidos na água, além da inativação de microrganismos.

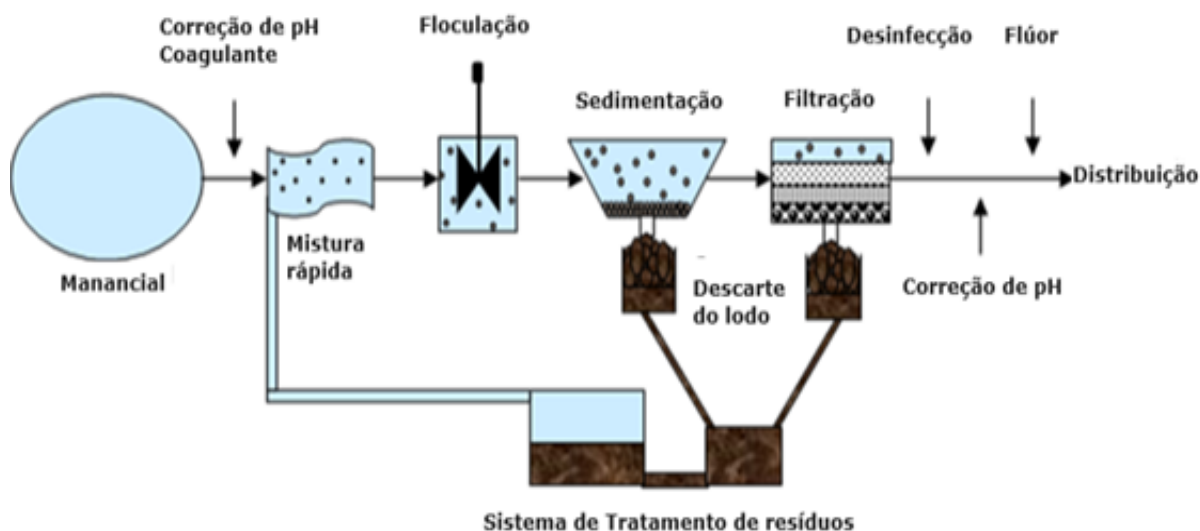


Figura 2. Estação de tratamento de água convencional.

Fonte: Cunha, 2004.

Todo esse processo de potabilidade da água se enquadra ao padrão que foi publicado pelo Ministério da Saúde em 07/05/2021, a Portaria Nº 888, a qual define os padrões de potabilidade de água para consumo humano. Esta legislação substituiu os padrões de Potabilidade definidos no

anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05 de 2017. A Portaria Nº 888 fornece as instruções “sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2021).

Tendo em vista a aprovação da Lei nº 14.026/2020, a qual atualizou

o marco legal do saneamento básico, trouxe mudanças na relação regulatória entre a ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico e o setor de saneamento, posto que a ANA passará a editar normas de referência. Estas regras, que possuem caráter geral, deverão ser levadas em consideração pelas agências reguladoras de saneamento infranacionais (municipais, intermunicipais, distrital e estaduais) em sua atuação regulatória.

Segundo a Lei nº 14.026/2020, a ANA terá o papel de emitir normas de referência sobre: padrões de potabilidade, regulação tarifária dos serviços etc.

O novo marco legal do saneamento define também que a ANA passará a emitir normas de referência relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e à drenagem de águas pluviais em cidades. As duas atividades integram o saneamento básico, assim como o abastecimento de água, a coleta e o tratamento de esgotos, pois a água é uma só.

DEFINIÇÃO DE LODO E COMPOSIÇÃO DE LODO DE ETA

Define-se como lodo de ETA os resíduos gerados a partir das impurezas retiradas durante o tratamento da água bruta captada, que, caso consumida in natura, podem causar patologias a saúde humana. Segundo Silva e Isaac (2002), “pode se apresentar em estado líquido ao ser agitado e em estado gel quando em descanso, sendo caracterizado como um fluido

não-newtoniano, de grande volume e tixotrópico, ou seja, apresentando alterações em sua viscosidade”.

Lodos de ETAs são os resíduos gerados nas descargas de decantadores, flotadores, na lavagem de filtros, no abrandamento e na remoção de ferro e manganês na água bruta (ASCE, 1996). Segundo Cornwell e colaboradores (1987), os resíduos gerados nas lavagens dos filtros e descarga nos decantadores são mais representativos nas ETAs.

Segundo Grandin *et al.*, (1993), este resíduo é constituído, basicamente, de resíduos sólidos de natureza orgânica e inorgânica provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro e manganês. Além dos elementos provenientes da água bruta, também formarão o lodo de ETA os flocculantes, hidróxidos de alumínio e ferro (em grande quantidade) e polímeros condicionantes (em alguns casos) também utilizados no processo de potabilização da água (SILVA *et al.*, 2000).

De acordo com Cornwell (2006); DI Bernardo e Dantas (2005),

(...) a quantidade de lodo formado dependerá da qualidade da água bruta captada, que irá interagir com os produtos adicionados durante o tratamento, resultando em resíduos de massas e volumes diferentes. Além disso também dependerá dos objetivos do tratamento na remoção de impurezas, turbidez e dureza da água (CORNWELL, 2006; DI BERNARDO; DANTAS, 2005, v. 11, p. 107, 2006).

LEGISLAÇÃO PERTINENTE

A preocupação com o descarte correto do lodo de ETA teve início na década de 90, com o surgimento da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) estabelecida pela Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) e com a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (BRASIL, 1997), em que é considerado crime ambiental o lançamento de lodo proveniente de ETA in natura (SILVEIRA, 2012).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) define resíduo de ETA como resíduo sólido, portanto deve ser classificado quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública e seguir toda a legislação referente a resíduo sólido. Em geral, o resíduo de ETA não apresenta característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Guimarães (2007) infere, então, que essa característica também seja desprezada para os resíduos de ETA, pois com o tratamento o resíduo é estabilizado. Por outro lado, eles apresentam propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água, caracterizando-os como resíduos não inertes (GUIMARÃES, 2007). Portanto, o lodo é classificado como resíduo sólido Classe IIA – não inertes.

A Lei 12.305/2010 define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a garantir as premissas da PNRS (Lei 12.305/2010). A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas

à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Também identifica as responsabilidades dos geradores de resíduos e do poder público. Foi regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa. Os principais objetivos dessa lei são:

I. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental estimulando padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços com desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas;

II. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III. Gestão integrada dos resíduos sólidos que busca compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo todos da cadeia de comercialização, como fabricantes, distribuidores, consumidores e órgãos públicos;

IV. Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

V. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

A Resolução CONAMA 357/2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Em seu artigo 2º, inciso IV, preconiza as condições de lançamento como "condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor", sendo de extrema importância que sejam seguidas as recomendações para a aplicação do lodo e que sempre se realize a correção da acidez do solo para o controle da disponibilidade de metais pesados presentes em sua composição química.

TRATAMENTO DE LODO DE ETA

A ETA é parte fundamental do sistema de abastecimento de água para a população. O sistema convencional ou completo é o mais utilizado, com a remoção de partículas finas em suspensão e em solução presentes na água bruta através do emprego de coagulantes. Geralmente, utilizam-se sais de ferro ou de alumínio, que formam flocos pelos hidróxidos insolúveis, e que são removidos nos decantadores e, uma menor parcela, nos filtros.

Em sua saída da ETA, o lodo está constituído por quase 90% de água e possui composição variada, de acordo com a região onde ela está localizada, com o mês de coleta e com o coagulante usado (RICHTER, 2001). Justifica-se esse fato devido os rejeitos de ETA serem compostos, essencialmente, por partículas do solo (que conferem cor e turbidez à água – os colóides); por material orgânico encontrados na

água bruta; por subprodutos gerados pela adição de produtos químicos no processo de purificação e água (na água superficial normalmente estão presentes metais, como: alumínio, ferro e outros carregados pelo escoamento superficial).

O tratamento do lodo das ETAs, basicamente, envolve os processos de adensamento, desaguamento, estabilização e higienização. O adensamento e o desaguamento visam o aumento da concentração de sólidos e a redução do volume de lodo que se dá perante a retirada de água do mesmo. O lodo que vem de decantadores varia numa faixa de 60 a 95% da quantia total de lodo gerado, em quantidade de sólidos, enquanto a água de lavagem dos filtros varia de 5 a 40% (YUZHU, 1996), sendo que essa quantia total depende da qualidade da água bruta, do tipo e dosagem do coagulante, do projeto das unidades da ETA e da eficiência da operação.

Esses resíduos gerados nas estações possuem elevada umidade e para se trabalhar com eles é necessária a redução de seu volume para facilitar sua disposição diminuindo custos com transportes, com a disposição final e, com isso, os riscos de poluição do meio ambiente. As fases do tratamento do lodo podem ser assim apresentadas:

1. Espessamento de lodo de ETAs: Esta é a primeira etapa de remoção da água de lodo de ETAs. Os tipos mais comuns são os espessadores por: a) gravidade (sedimentadores), sendo o mais antigo e disseminado, onde as unidades podem ser alimentadas continuamente ou por

batelada dependendo da ETA e das particularidades operacionais dos decantadores e b) por flotação (flotação por ar dissolvido), utilizados tanto em ETAs como em lodo de ETEs.

2. Desidratação do lodo: A definição do tipo de sistema de desidratação a ser utilizado depende de vários fatores, podendo ser citados: área necessária para implantação, custo da área, distância da estação até o destino final, condições climáticas, custo de equipamentos, simplicidade de operação, necessidade de condicionamento químico, preparo de recursos humanos para operação, entre outros. Vários são os métodos para remoção de água podemos citar: Sistemas mecânicos: Centrífugas, filtros-prensa e prensa desaguadora; Sistemas naturais: leitos de secagem, lagoas de lodo.

3. A estabilização do lodo tem por finalidade reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação. Na estabilização são adicionados ao lodo produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos;

4. A higienização busca garantir um nível de patogenicidade do lodo que, ao ser disposto no solo, não cause riscos à população e ao meio ambiente. Somente após este processo o lodo estará pronto para ser transportado. O tempo para conclusão da higienização depende do

tipo de processo adotado pela unidade de gerenciamento e de sua eficiência, variando de zero, na secagem térmica, a 30/60 dias na calefação.



Figura 3. Filtro da ETA 5º Setor



Figura 4. Filtro da ETA 5º Setor

APROVEITAMENTO/DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ETA

Estima-se que normalmente ocorre uma maior produção de lodo nas ETA no chamado “inverno amazônico” que é o período chuvoso entre os meses de novembro a março, onde há a piora a qualidade da água dos mananciais da RMB, onde a cor e a turbidez são alteradas e, com isso, há a necessidade da utilização de maior quantidade de produtos químicos para a potabilização dela.

Até o momento, na RMB, o destino mais comum para os resíduos das ETAs são os cursos d’água, ainda

que seja considerado um resíduo sólido. São esses fatores que motivam pesquisas que visam atenuar os problemas causados pelo seu descarte incorreto no meio ambiente.

Uma das soluções viáveis, após os estudos realizados é que se deve rever os procedimentos para remoção do lodo dos decantadores, a fim de se minimizar os desperdícios de água durante essa operação, sendo recomendado a realização de estudos para reduzir o período entre duas remoções consecutivas de lodo, ou ainda, a possibilidade de se poder realizar descargas intermediárias de lodo de fundo, com a finalidade de se manter ou aumentar o período entre as operações de limpeza.

Existe a viabilidade econômica do uso desta quantidade de lodo produzida como insumo agrícola, fertilizante ou mesmo na construção civil. Estes são os destinos que são propostos como possíveis soluções viáveis para o aproveitamento do lodo produzido nas ETAs da RMB. Será traçado uma análise deste reuso, iniciando com o uso na agricultura e, posteriormente, como insumo na fabricação de cerâmica, ou tijolos, a serem utilizadas na construção civil. Então, neste sentido, o presente trabalho apresenta uma proposta alternativa de disposição final do lodo gerado nas ETAs da RMB, como veremos no decorrer do trabalho.

VIABILIDADE DE REUSO DO LODO

Segundo a literatura, atualmente

há várias pesquisas para a utilização benéfica dos lodos geradas da ETA, o qual deixou de se conceituado como um “resíduo”, logo sendo conceituado como um produto para beneficiamento, tornando-se assim, a possibilidade da realização de vários estudos, com um diagnóstico mais amplo, buscando uma visão da melhor forma de beneficiamento e viabilidade econômica, e ambientalmente sustentável.

Entretanto, para (SILVA, 2011), “é necessário um tratamento prévio do lodo antes de um possível aproveitamento em processos produtivos”. Inicialmente é necessário realizar o método de adensamento, que consiste na produção de uma torta concentrada de sólidos. Pode ser feito por gravidade, flotação com ar dissolvido ou adensadores mecânicos por tela. Após o adensamento é realizada a desidratação do lodo, onde temos as fases de drenagem, evaporação e transpiração, que dependem do clima, da permeabilidade do solo, das características do lodo, da profundidade da lagoa, da área superficial, entre outros.

O resíduo gerado nas ETAs Bolonha, São Brás e 5º Setor consistem, basicamente, do lodo gerado nestas etapas do tratamento, oriundo principalmente da limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros. A caracterização dos resíduos gerados nessas ETAs, assim como sua quantidade, é de grande importância nesse estudo principalmente devido a possíveis impactos ambientais

destes ao meio ambiente, bem como na definição de uma disposição final adequada. De acordo, com o Relatório da Cosanpa (2020), o primeiro projeto de grande porte desenvolvido na RMB para tratamento de resíduos de ETAs, se aplicará em uma UTR, a ser implantada na área denominada Complexo Produtor do Bolonha.

ESTIMATIVA GERAÇÃO DE LODO DAS ETAS DA RMB

Segundo (DI BERNARDO & DANTAS, 2006) a quantidade total de sólidos gerado quando ocorre o processo de coagulação, utilizando o produto sulfato de alumínio é dada pelas Equações 1 e 2.

$$PSS = Q \cdot (4,89 \cdot DAL + SST + DP + DCAP + 0,1 \cdot DCAL) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$PSS = Q \cdot (0,44 \cdot DsAL + SST + DP + DCAP + 0,1 \cdot DCAL) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

Em que:

PSS: Produção de SST (Kg/dia);

Q: Vazão de água bruta a ser tratada (m^3/d);

DAL: Dosagem de sulfato de alumínio (mg Al/L);

SST: concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA (mg/L);

DsAL: Dosagem de sulfato de alumínio com 17,17% de Al_2O_3 (mg Sal/L);

DP: Dosagem Polímero Seco (mg/L);

DCAP: Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L);

DCAL: Dosagem de cal hidratada

(mg/L).

O coeficiente presente na **Equação 1**, correspondente a 4.89, refere-se, segundo o autor, a relação molar entre a massa molecular do precipitado $Al(OH)_3 \times 3H_2O$ (132 g) e a massa molar do Al (27 g). Com isso temos (132/27), o que significa que 1 mg/L de alumínio produzirá 4,89 mg/L.

Segundo a Ficha de Segurança de Produtos Químicos (FISQP) do produto utilizado nas ETAS para coagulação, o sulfato de alumínio possui 8% de Al_2O_3 (alumina). Sendo assim a equação que deve ser utilizada é a **Equação 2**, fazendo o ajuste de acordo com a concentração de alumina no produto, e retirando as variáveis referentes a produtos que não estão sendo utilizados no tratamento, como o polímero (Dp), carvão ativado (Dcap) e cal hidratada (Dcal). A equação que deve ser utilizada para estimativa da geração de resíduos na Eta está representada pela **equação 3**.

$$PSS = Q \cdot (0,39 \cdot DsAL + SST) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

O coeficiente 0,39 foi calculado a partir do produto entre o coeficiente 4,89, apresentado na **Equação 1**, e o valor da concentração de Al_2O_3 do sulfato de alumínio utilizado (8%), sendo assim temos, $(0,08 \cdot 4,89)$.

A dosagem de sulfato de alumínio no período analisado variou de 15 a 27 PPM nas ETAs e para a obtenção do valor de SST foi utilizada a equação que relaciona turbidez a SST conforme presente na **Equação 4**.

$$SST = a \times Tu \quad (4)$$

Em que:

SST: concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA (mg/L);

Tu: Turbidez (uT);

a: coeficiente a ser determinado experimentalmente.

Conforme os autores DI BERNARDO & DANTAS, 2006, para água com baixa cor verdadeira, o valor do coeficiente “a” pode variar de 0,7 a 2,2. Os valores de cor da água bruta do lago Bolonha variaram de 26,6 a 89,8 UC entre os anos de 2021 a 2023, enquanto que a variação de turbidez nesse mesmo período foi de 1,76 a 16,8 NTU. Durante a realização da pesquisa a cor e turbidez da água bruta apresentavam os valores de 50 UC e 7,6 NTU, respectivamente. Considerando o coeficiente “a” no valor de 2 para estimar o valor de SST, têm-se o valor obtido como o dobro da turbidez para essa análise. Na **Tabela 1** estão representadas as variáveis utilizadas na composição da **Equação 3**.

REUSO NA AGRICULTURA

Em relação ao reuso de lodo na Agricultura, estudos mostram que o lodo das ETAs, assim como o lodo das ETEs, contém nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas, sendo que o lodo proveniente das ETAs tem menor concentração de fatores patogênicos em comparação aos provindos das ETEs.

Assim, seu aproveitamento na Agricultura se mostra promissor e de certa eficácia, porém, são necessários estudos corroborando e avaliando os efeitos do mesmo tanto no solo como nas culturas e também estudos sobre os efeitos na fertilidade do solo, pois, de acordo com AWWA (American Water Works Association), plataforma que tem como objetivo a preservação de nossa floresta e recursos naturais por meio da conscientização de toda sociedade (1995), o lodo de ETA possui uma característica mais análoga aos solos do que se comparado com o lodo de ETE, fazendo com que o Nitrogênio e o Carbono orgânico no lodo de ETA sejam mais estáveis, menos reativos e concentrados

Tabela 1. Quantidade de lodo nas ETAs estudadas (2023).

ETAs	Q (m³/dia)	DsAl (mg/L)	SST (mg/L)	PSS (Kg/dia)
Bolonha	377.160	15	15,2	7939,21
5º Setor	48.096	27	15,2	1237,51
São Brás	70.056	23	15,2	1693,25

Na agricultura, o lodo de ETA não é reconhecido como matéria prima na fabricação de fertilizantes orgânicos

ou uma classe que o encaixe na classificação da instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 da

EMBRAPA, que descreve quais “os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais de acordo com as matérias primas utilizadas em sua produção”. Vale ressaltar que a classe “D” desta instrução normativa classifica os fertilizantes orgânicos que utilizam qualquer quantidade de matéria prima oriunda de tratamento de dejetos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura, permitindo o uso de lodo de ETE como matéria prima para fertilizantes. Para o reconhecimento do lodo das ETAs como tal, são necessários estudos sobre suas propriedades e como o uso dele contribui para o desenvolvimento de plantas. Estes estudos estão sendo desenvolvidos em várias estações científicas.

Como resultado destes estudos, pesquisadores da área agrícola indicam que o Nitrogênio (N) é, habitualmente, o mais precioso constituinte do lodo, por ser o elemento do qual as culturas agrícolas necessitam em maior quantidade, mas, quando aplicado em concentrações acima da capacidade de absorção destas, pode lixiviar (carrear nutrientes do solo) na forma de nitratos e contaminar o lençol freático. Sendo mais estável e em menor quantidade, o N presente no lodo das ETAs apresentam menor potencial de lixiviação.

SILVA (2005), ao utilizar lodo de ETA em estudos de recuperação de área degradada devido a exploração de Cassiterita (minério de estanho), verificou aumento do pH do solo e dos teores de Cálcio (Ca) e Ferro (Fe). O autor descreve que o uso do lodo de

ETA como fertilizante pode ser viável porque contém determinados nutrientes às plantas, como o próprio Fe e Ca além de outros, que seriam o enxofre (S), magnésio (Mg), cobre (Cu) e manganês (Mn). Análogo a esse estudo, TEIXEIRA et al. (2005) em estudo sobre aplicação de lodo de ETA em solo desgastado, concluiu que este pode ser disposto em áreas degradadas, visto que eleva os teores de macronutrientes e o valor de pH do solo, porém, completou que, em altas doses podem causar a salinidade do solo, mas que pode ser corrigida pelo monitoramento da quantidade aplicada. “O lodo de ETA pode ser usado como fertilizante, aplicando-o nos solos, contanto que o alumínio apareça em concentração acumulada menor do que 25%” (SABAGG, 2004)

Em conformidade com o exposto acima, podemos inferir que a utilização do lodo de ETAs na agricultura é bastante promissor e, em termos de gestão governamental, pode se apresentar com custos baixos e resultados satisfatórios. Apesar desta assertiva, atualmente, no Brasil, há poucos estudos sobre o efeito do lodo de ETA na agricultura, fazendo com que o mesmo não seja reconhecido como matéria prima para fabricação de fertilizantes ou como condicionador de solo.

REUSO DO LODO NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA

Considerando que o volume de lodos gerados nas ETAs é ininterrupto e os desafios para a correta destinação

final, bem como o reuso deste material são permanentes, é praticável analisar seu aproveitamento na fabricação de cerâmica, ou de tijolos para a utilização na construção civil e sua viabilidade econômica.

Assim, estudos conduzidos por Paixão (2005), revelaram que com a adição do lodo na mistura de argila, “os corpos cerâmicos produzidos exibiam alterações nas propriedades mecânicas em relação aos corpos produzidos somente com argilas puras”. O autor destaca ainda que, “as partículas de lodo atuaram como inclusões amorfas na massa argilosa até 1000° C, o que influenciou a fratura do corpo cerâmico, diminuindo assim a resistência”. Paixão (2005). No entanto, afirma o autor que foi possível incorporar até o limite de 10% de lodo como matéria-prima na fabricação da cerâmica, garantido as propriedades requeridas para a cerâmica vermelha na construção civil.

Em outros estudos, vamos encontrar Ramires et al. (2005), que mostraram que blocos cerâmicos fabricados com adição de 2% de lodo, da região de São Leopoldo – RS, apresentaram resultados em conformidade com as normas vigentes para este tipo de material. Aqueles autores observaram ainda um acréscimo na resistência à compressão dos blocos conformados com 2% de lodo. Já Andrade (2005), avaliou a possibilidade da adição de lodo da ETA Cubatão na argila para fabricação de bloco cerâmico nas proporções de 1:4; 1:5; 1:8 e 1:10. Com os ensaios, concluiu-se que a incorporação de

7% em massa de lodo não alterou consideravelmente as características de esquadro, absorção de água e de resistência dos blocos.

Os resultados dos experimentos realizados com os tijolos cerâmicos confeccionados a partir da incorporação do lodo de ETA, permitiram concluir que este tipo de lodo pode ser reciclado no processo de fabricação de tijolos cerâmicos. Entretanto, a sua incorporação deve ser feita em até 10% a fim de evitar danos durante o processamento e na qualidade final do tijolo produzido. Este é o experimento feito em pequena escala em Laboratórios de Pesquisa. A retração linear da massa cerâmica diminui com o incremento de lodo, no entanto, adições superiores a 10% em peso de lodo de ETA, aumenta ligeiramente a absorção de água e diminui a resistência mecânica à compressão.

Dispondo dos resultados obtidos, futuros trabalhos podem ser realizados a fim abordar a viabilidade da aplicação desta técnica em escala real. Acredita-se, porém, ser viável a aplicação, mas esbarra nos poucos estudos e experimentos nesta área, além dos custos extras que poderão advir da implantação de projetos científicos voltados a esta pesquisa, pois o experimento de maiores, ou menores proporções de adição de lodo às misturas de argila para fabricação de cerâmica iria demandar tempo, elevadas verbas públicas, ou iniciativa privada e mão-de-obra especializada. Então, economicamente se tornaria quase inviável, principalmente quando

se fala de gestão local e a dificuldade de captação de recursos nesta área de produção científica.

REUSO DO LODO NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Diante das pesquisas sobre a utilização de lodo em materiais cimentícios, estudos mostram que o lodo adicionado a esses materiais tem função de calcinação, mistura de moagem, redução de poluição lançada aos corpos d'água, redução da vegetação suprida na atividade de extração da argila, além de diminuir a utilização dos demais materiais, como a argila e o xisto.

Para a utilização do lodo na produção de materiais cimentícios é necessário que o preparo seja seco ou moído, pois ele precisa ter uma granulação adequada para ser misturado com os outros materiais que também deverão estar com uma granulação adequada.

Os resultados preliminares permitiram aferir que as adições de lodo com melhor desempenho localizavam-se na faixa de adição entre 1% e 5% de lodo seco em relação ao agregado miúdo. Em relação aos valores obtidos com o concreto referência, utilizando agregados naturais (areia e brita 1), o concreto com adição de 3% do lodo (em relação à massa do agregado miúdo) apresentou uma redução insignificante dos valores aos 7 e 28 dias de cura. Por isso, em termos de resistência mecânica, a adição de 3% de lodo em relação ao agregado miúdo natural possibilita a obtenção de concretos com características mecânicas similares às do concreto usual (MEGDA, 2005, p. 6).

Como o lodo das ETAs possuem alta concentração de matéria orgânica, esta característica vem a comprometer a qualidade do produto final, ou até mesmo inviabilizar o uso para tal finalidade, como refere Megda (2005).

Os lodos de ETAs que utilizam coagulantes durante o processo de tratamento, normalmente contêm outros elementos orgânicos que são adicionados durante o processo de fabricação do cimento, e por isso, o lodo é introduzido no processo de fabricação do cimento na fase de pré homogeneização das matérias primas. O teor de sólidos necessário para esta aplicação é de no mínimo 50%, valores menores comprometem a qualidade do cimento (MEGDA, 2005, p. 6)

CONCLUSÃO

Considerando a enorme quantidade de resíduos provenientes do tratamento de águas nas ETAs na região metropolitana de Belém e o excedente despejado no meio ambiente, é importante a continuação e disseminação do conhecimento sobre a utilização do lodo gerado, cujo objetivo é buscar alternativas de aplicabilidade e interação deste resíduo na fabricação de cerâmicas, na produção de materiais cimentícios e na agricultura, principalmente. Neste trabalho foram analisadas alternativas de destinação final para os lodos produzidos em ETAs e estudada a viabilidade econômica e ambientalmente vantajosas, destas opções destacadas no trabalho, como destino para o lodo das ETAs da RMB.

Vale destacar que a COSANPA está implantando uma UTR na área do Bolonha, resultado de adequação dos resíduos gerados nas ETAs a

legislação vigente no Brasil. A partir do funcionamento da UTR, propõem-se a realização de novos estudos para se definir a caracterização desse lodo e ao melhor destino do mesmo.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L. **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceito da ISO 14.001**. Dissertação de doutorado USP – 2008.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos, Brasília, SPR. 2006.

ANDRADE, P. DE S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2005.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduo do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Projeto PROSAB.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. **Lei 9.605 de 13 de fevereiro de 1998**. Brasília: Diário Oficial da União, 1998.

BRASIL. Leis et al. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 2010.

CORNWELL, D.A. **Water treatment residuals engineering**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2006.

COSANPA. **Relatório de Informações Gerenciais 2013**. Belém, 2013.

COSANPA. **Relatório de Informações Gerenciais 2020**. Belém, 2020.

DANTAS, E. **Entrevista realizada pessoalmente em julho de 2016**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2016.

DIAS, Genebaldo Freire. **Mudança climática e você: cenários, desafios, governança, oportunidades, cinismos e maluquices**. São Paulo: Gaia, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.

Métodos e Técnicas de tratamento de água de Campos dos Goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo- Tratamento de Água. 2. ed. São Carlos: RiMa Editora, v. 2. 1584 p, 2005

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 107-107, 2006.

DIBERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água.** São Carlos: LDiBe Editora, v. II, 2008.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, 1993. v. 2, p. 324-341.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília.** Brasília: [s.n.], 2007. Dissertação (mestrado), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

MACHADO, L. C. G. T.; PEREIRA, J. A. R.; PONTE, M. X.; LOPES, L. de N. **Caracterização do Lodo Gerado nos Decantadores da ETA Bolonha.** In: VI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Anais

MEGDA, Cláudia Regina. **Propostas de Aproveitamento de Lodos Gerados em ETAs.** São Carlos: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água,** Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2001.

SABAGG, M. G., MORITA, D. M. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. SILVEIRA, C. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem / secagem com manta geotêxtil. Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. 136 p

SANEPAR. **Sistema Corporativo de Controle Industrial.** Foz do Iguaçu, PR. 2014.

SILVA, E. T.; MELO, W.J.; TEIXEIRA, S.T. **Chemical attributes of a degraded soil after application of**

water treatment sludges. Scientia Agricola, Piracicaba, 2005, vol.62, n.6, pp. 559-563.

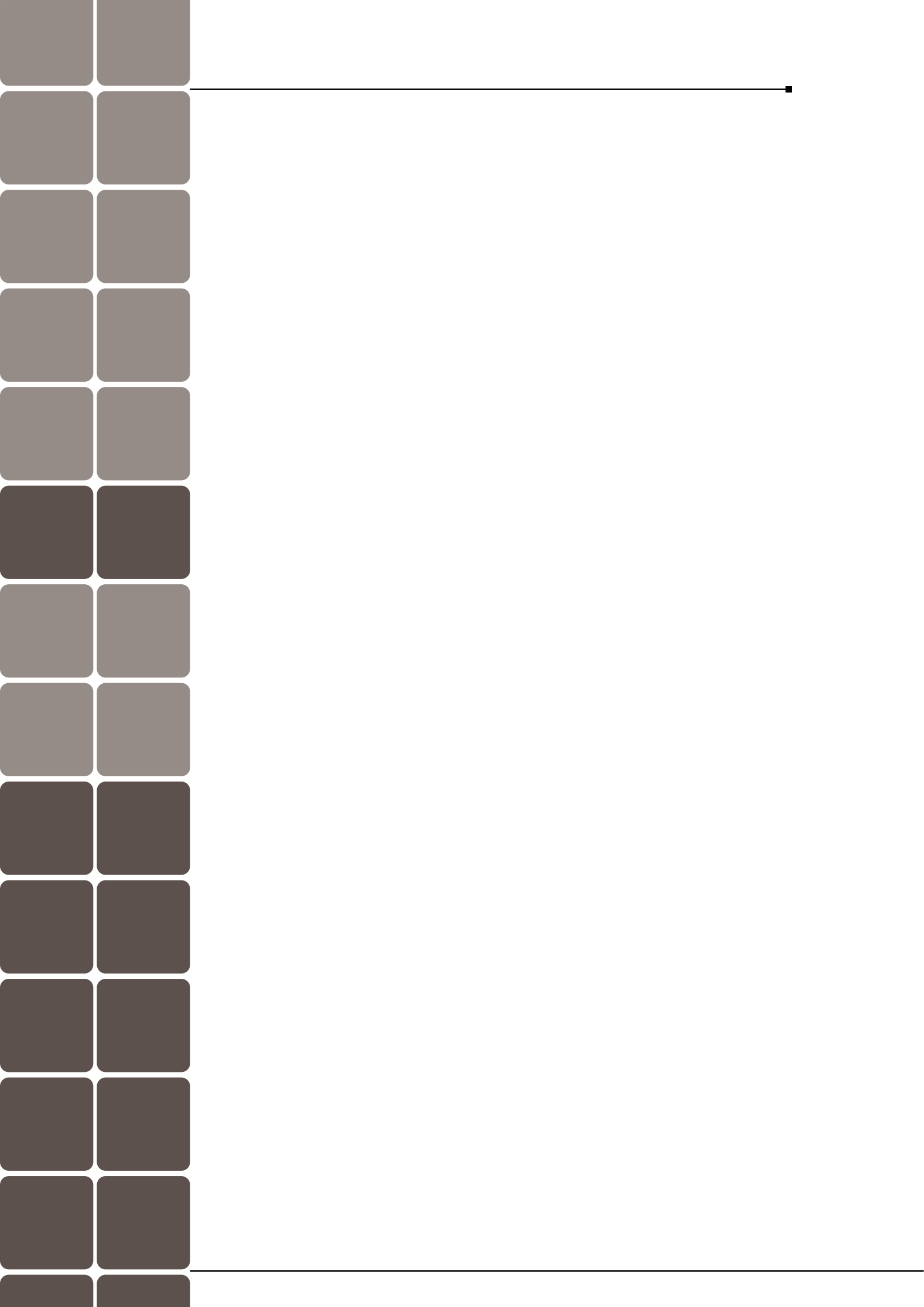
SILVA JR., A. P. da. ISAAC, R. de L.
Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar.
In: CONGRESSO INTERAMERICANO

SMIDERLE, Juliana Jerônimo, **Estudo de Viabilidade para Destinação Final do Lodo da ETA Laranjal/RJ - UFRJ/Escola Politécnica**, 2016.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. 136 p.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W.J.; SILVA, E.T. (2005) **Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado.**

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996



Sífilis: análise do conhecimento da comunidade em relação à infecção

Syphilis: analysis of community knowledge regarding the infection

Stephanie Barbosa Pereira

Mestranda do Programa de pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia. **Endereço:** Parque Artur Bernardes, rua B, nº 72 A. Bairro Tapanã. CEP 66825-115. Belém/PA. **E-mail:** stephanie.pereira1005@gmail.com.

Layse Rodrigues do Rozario Teixeira Lins

Mestranda em Ecologia Aquática e Pesca pela Universidade Federal do Pará.

Roberto Vilhena do Espírito Santo

Docente do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Pará - *Campus* Belém. Doutor em Ecologia Aquática e Pesca pela Universidade Federal do Pará.

RESUMO

Analisar o conhecimento de uma amostra da população, avaliando aspectos gerais relacionados aos agentes causadores, formas de transmissão, prevenção e tratamento das Infecções Sexualmente Transmissíveis (ISTs), com foco na sífilis. Foi desenvolvido um questionário com 17 questões objetivas e discursivas das quais 13 são mais importantes, pois abordam causadores, modos de transmissão, prevenção e tratamento acerca da IST. Além disso, incluímos perguntas sobre escolaridade, gênero, idade e localidade. A coleta de dados foi realizada virtualmente por meio do Google Forms, com o questionário divulgado por links em mídias sociais. 139 pessoas participaram da pesquisa, destes, 58 (42%) participantes não possuíam conhecimento, 38 (27%) tinham conhecimento parcial, e 43 (31%) demonstraram compreensão sobre a IST. Observa-se, portanto, que a amostra não dispõe ou possui informações incompletas e equivocadas sobre a infecção. Destaca-se a necessidade urgente de iniciativas educacionais e de conscientização para fornecer informações claras e objetivas, pois o conhecimento é a primeira linha de defesa na prevenção das ISTs, incluindo a sífilis. Esse esforço pode contribuir significativamente para reduzir a vulnerabilidade da população em relação a essas doenças.

Palavras-chave: ISTs. Informação. Educação em Saúde. Prevenção. Tratamento.

ABSTRACT

Analyze the knowledge of a sample of the population, evaluating general aspects related to the causative agents, forms of transmission, prevention and treatment of Sexually Transmitted Infections (STIs), with a focus on syphilis. A questionnaire was developed with 17 objective and discursive questions, 13 of which are most important, as they address the causes, modes of transmission, prevention and treatment of STIs. Additionally, we included questions about education, gender, age and location. Data collection was carried out virtually through Google Forms, with the questionnaire published via links on social media. 139 people participated in the research, of which 58 (42%) participants had no knowledge, 38 (27%) had partial knowledge, and 43 (31%) demonstrated understanding about STI. It is therefore observed that the sample does not have or has incomplete and misleading information about the infection. The urgent need for educational and awareness initiatives to provide clear and objective information is highlighted, as knowledge is the first line of defense in preventing STIs, including syphilis. This effort can significantly contribute to reducing the population's vulnerability to these diseases.

Keywords: STIs. Information. Health Education. Prevention. Treatment.

INTRODUÇÃO

As Infecções Sexualmente Transmissíveis (IST) manifestam-se como patologias causadas por microrganismos, incluindo vírus, bactérias, protozoários e fungos (GOLDMAN; BENNETT, 2001). A principal via de transmissão ocorre através do contato sexual (vaginal, oral, anal) sem o uso de preservativo. Além disso, a propagação pode ocorrer verticalmente, da mãe para o feto durante o parto ou amamentação, assim como pelo contato com lesões ou secreções corporais de indivíduos infectados.

A terminologia Infecções Sexualmente Transmissíveis (IST) foi adotada em substituição à expressão Doenças Sexualmente Transmissíveis (DST). Isso se deve ao fato de que a expressão "infecção" ressalta a possibilidade de uma pessoa ter e transmitir um patógeno, mesmo na ausência de sinais e sintomas, o que pode facilitar a disseminação (BRASIL. Ministério da Saúde, 2020). Essa mudança destaca a importância de reconhecer que uma pessoa pode ser portadora de uma infecção sem ser aparentemente doente, enfatizando a necessidade de prevenção e conscientização.

Santim (2019) aponta que os aspectos socioculturais e econômicos possuem relação direta com a fragilidade em contrair IST, pois a falta de acesso a condições básicas como saúde, educação e informação são determinantes para minimizar o risco

de infecção. A autora complementa que grande parte dos estudos apontam que os jovens têm iniciado a vida sexual cada vez mais precocemente, crescendo-se a isso, a falta de prevenção adequada, baixa idade, mudam frequentemente de parceiras(os) além do uso de drogas são apontadas como os principais motivos que tornam os jovens vulneráveis a situações de risco, dentre as quais as Infecções Sexualmente Transmissíveis.

Compreende-se que a imaturidade, em razão da pouca idade, dificulta o discernimento sobre algumas circunstâncias de suscetibilidade e vulnerabilidade para a aquisição de IST na adolescência, visto que, por várias vezes estes dispõem de informações incompletas e/ou inconsistentes. Ademais, nota-se certo distanciamento da família, influência de mídias sociais além de outros fatores que podem interferir negativamente no desenvolvimento saudável do sexo e da sexualidade (SILVA *et al*, 2020).

Entre adultos e idosos o comportamento sexual de risco é caracterizado principalmente pelo não uso de preservativos durante as relações e pelo uso de anticoncepcionais, tal fato se deve a impressão de desobrigação a proteção por possuírem em sua grande maioria relação afetiva com um único parceiro (GÖRGEN, 2019).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A sífilis é uma patologia infecciosa de evolução crônica causada pela bactéria espiralada gram-negativa *Treponema pallidum*. Responsável por

diversos sintomas, a sífilis apresenta distintas fases: primária, secundária, latente, terciária e congênita, sendo conhecida como um mal silencioso que demanda atenção (LIMA *et al.*, 2019).

A sífilis adquirida desenvolve-se quando os treponemas entram na mucosa ou na pele durante o ato sexual. Essas bactérias espiroquetas invadem membranas mucosas ou penetram por lesões cutâneas resultantes da atividade sexual. Sob o epitélio, multiplicam-se localmente, propagando-se pelo sistema linfático e corrente sanguínea (DE SOUSA, 2020).

Semelhante a outras IST, a sífilis pode ser adquirida por contato sexual, compartilhamento de objetos cortantes contaminados, bem como transmissão vertical (transplacentária), e contato com lesões. Muitos portadores são assintomáticos, e quando sintomas ocorrem, podem passar despercebidos, facilitando a transmissão inadvertida da infecção. Se não tratada, a sífilis pode progredir para formas mais graves, afetando principalmente os sistemas nervoso e cardiovascular (BRASIL, 2020).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou a incidência de casos de sífilis, revelando que a prevalência global da infecção em homens e mulheres foi de 0,5%, com variações regionais entre 0,1% e 1,6%. Conforme os dados da OMS, o cenário da sífilis no Brasil não se diferencia significativamente de outros países. Desde 2010, observou-se um aumento nas notificações compulsórias, atingindo uma taxa de detecção de

54,5 casos por 100.000 habitantes em 2020 (BRASIL, 2020).

Portanto, é crucial examinar o conhecimento presente no contexto urbano acerca das Infecções Sexualmente Transmissíveis, com especial atenção à sífilis. Essa análise busca identificar o nível de compreensão da população em relação a essa infecção, bem como avaliar as informações disponíveis sobre as ISTs de maneira geral. Destacamos a importância de familiarizar-se com outras infecções, pois estas podem ter impactos significativos na saúde pública, acarretando consequências sanitárias, sociais e econômicas.

MÉTODOS

O presente trabalho consiste em uma pesquisa de natureza básica, quali-quantitativa e exploratória, realizada por meio de levantamento virtual. Utilizou-se o questionário Google Forms, disponibilizado por meio de links em redes sociais, alcançando assim quatro regiões do país: Norte, Nordeste, Sudeste e Sul.

O formulário é composto por 17 questões, entre objetivas e discursivas, abordando causadores, formas de transmissão, prevenção e tratamento da sífilis. Além disso, inclui perguntas sobre escolaridade, gênero, idade e município. A amostra foi constituída por 139 participantes, com o objetivo de quantificar o conhecimento dos entrevistados em relação a infecção.

Após a obtenção e análise dos dados, observou-se que, ao utilizar a

escala de avaliação de conhecimento, alguns participantes demonstraram entendimento parcial sobre prevenção e formas de contaminação. No entanto, houve dificuldade em identificar o agente causador, a existência de cura da infecção e vice-versa. Na triagem e análise dos dados, foi aplicada a estatística descritiva básica para fornecer insights sobre a compreensão da patologia pelos participantes. Em relação a área de atuação 55 (39%) participantes ocupa-se com Educação, ao passo que 30 (22%) ocupa-se com Recursos Humanos,

RESULTADOS

A pesquisa contou com a participação de 139 indivíduos que informaram três identidades sexuais distintas. A opção feminina destacou-se como a mais representativa na amostra, correspondendo a 65% das entrevistas, enquanto a masculina foi registrada em 34%, e um participante identificou-se como não binário. Quanto à faixa etária, a predominância situou-se entre 21 e 30 anos, abrangendo 94 casos, o equivalente a 68% do total.

Quatro regiões do país contribuíram para o estudo, sendo a maioria das entrevistas proveniente do norte do Brasil, representando 90%, seguido pelas regiões nordeste e sudeste, ambas com 4%, e o sul, com 3%. No aspecto educacional, 81 entrevistados (58%) possuem ensino superior, seguido pelo ensino médio com 46 (33%), técnico com 9 (7%), fundamental com 2 (1%), e nenhum

com 1%, respectivamente.

Quando questionados se já tinham ouvido falar de sífilis, 96% dos entrevistados afirmaram que sim, enquanto 4% responderam negativamente. Sobre os meios pelos quais ouviram falar da sífilis, as instituições de educação básica foram o meio mais apontado, com 45%, seguidas por TV, com 19%, e instituições de saúde, com 16%. As redes sociais também foram mencionadas por 15 entrevistados.

Quando indagados sobre seus conhecimentos mínimos sobre sífilis, 88% afirmaram conhecer, enquanto 12% informaram não conhecer. Quanto ao agente causador da infecção, 42% disseram ter conhecimento, enquanto 58% afirmaram não conhecer. Em relação às formas de contaminação, 22% afirmaram não conhecer, enquanto 78% afirmaram ter conhecimento.

Nas perguntas objetivas sobre o agente causador da infecção, 69% identificaram-no como uma bactéria, 5% como um fungo, 3% como um protozoário e 23% como um vírus (Figura 1).

Ao examinar as respostas fornecidas para as formas de contaminação da sífilis, observou-se que a contaminação por meio de relações sexuais foi a mais frequentemente mencionada, registrando 104 citações (55%). Em segundo lugar, a contaminação vertical foi destacada em 40 menções (21%), enquanto a terceira forma mais expressiva foi a contaminação por troca de fluidos corporais, com 25 referências (13%) (figura 2).

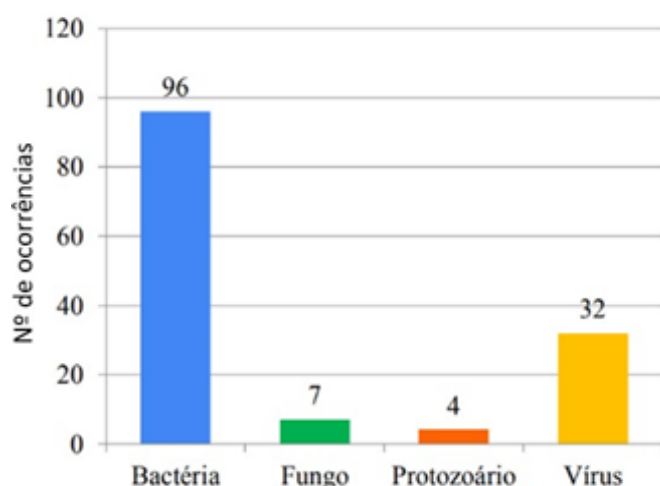


Figura 1. Ocorrência de citações de microrganismos como causador as Sífilis.

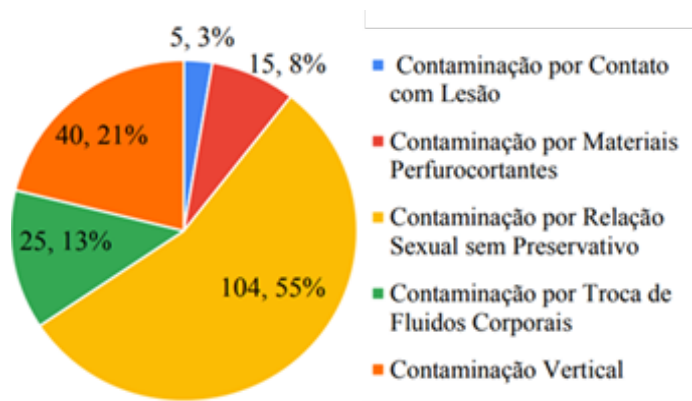


Figura 2. Formas de contaminação apontadas pelos participantes.

O uso do preservativo foi amplamente destacado, registrando 91 citações (69%). Em segundo lugar, mencionou-se o uso, manuseio e descarte de materiais perfurocortantes,

com 25 citações (19%). Outras práticas citadas incluíram o exame pré-natal, com 9 menções (7%), e a não amamentação de crianças por mães infectadas, com 7 referências (5%)

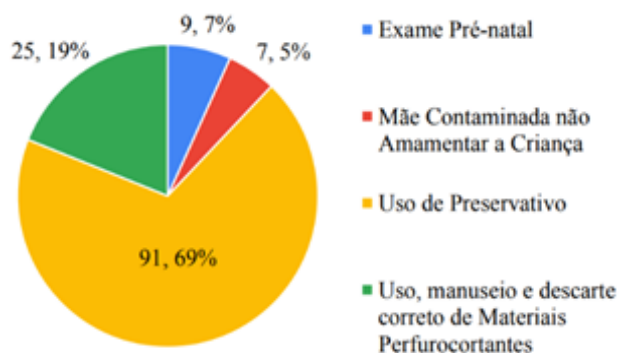


Figura 3. Formas de prevenção citada pelos entrevistados.

(Figura 3).

Após analisar as respostas dos entrevistados, observou-se que 43 participantes (31%) tinham conhecimento sobre a infecção, 38 (27%) possuíam conhecimento

parcial (por não responderem ou não souberem abordar aspectos como formas de infecção, agente causador, entre outros), e 58 (42%) não possuíam conhecimentos mínimos sobre a infecção (Figura 4).

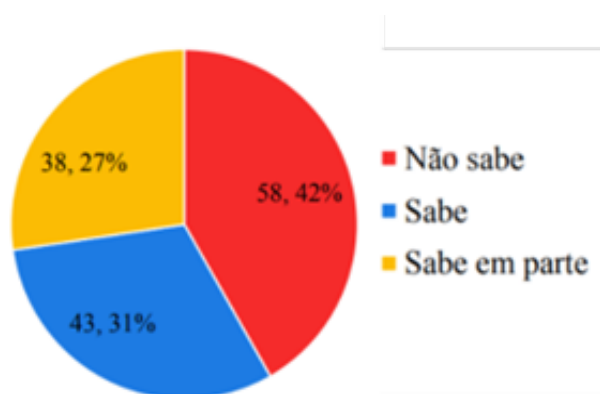


Figura 4. Número e porcentagem de entrevistados que sabiam, sabiam em parte e não sabiam sobre Sífilis.

Quanto à questão da cura, 32 participantes (23%) responderam que a sífilis não é curável, enquanto 107 (77%) afirmaram que é possível a cura.

DISCUSSÃO

Os resultados desta investigação revelam que a amostra estudada não possui um conhecimento satisfatório sobre a sífilis e, de maneira mais abrangente, sobre as Infecções Sexualmente Transmissíveis (IST). Essa falta de conhecimento reflete uma lacuna preocupante para as questões de saúde.

No que diz respeito à identificação de gênero dos participantes, observou-se uma predominância de identificação feminina, divergindo de estudos como os de Brito, A.B. *et al.* (2021) onde a identificação masculina

foi mais representativa em comparação a este estudo, onde 65% das entrevistas foram de indivíduos identificados como femininos.

Quanto ao conhecimento sobre a sífilis, 42% dos participantes não possuíam conhecimentos mínimos, corroborando resultados similares encontrados no estudo de Bastos *et al.* (2018), onde 67,3% da amostra também não detinha informações substanciais sobre a infecção.

Uma das lacunas identificadas nos conhecimentos foi a falta de compreensão sobre o agente causador da sífilis. Este estudo demonstrou uma dispersão significativa de respostas quanto ao patógeno, assemelhando-se ao estudo de Rodrigues (2019), que identificou 60% da amostra sem conhecimento sobre o agente causador. Aqui, 69% dos participantes

responderam corretamente, indicando a bactéria como o causador da patologia.

Em relação às formas de transmissão, destacou-se que 78,8% dos participantes indicaram "relações sexuais" como principal meio, semelhante ao estudo de Rodrigues (2019). No entanto, é preocupante que 21% dos participantes indicaram não ter conhecimento ou responderam de forma incorreta, evidenciando a necessidade de informação mais precisa e abrangente.

Apesar de a sífilis ser curável, 23% dos participantes a apontaram como não curável, alinhando-se com os achados de Basto (2018), onde apenas 25,4% tinham consciência da possibilidade de tratamento e cura. A confusão entre "vacina" e "injeção" como formas de tratamento ressalta a necessidade de esclarecimentos adicionais sobre os métodos de tratamento.

A predominância da escola como principal meio de aquisição de conhecimentos sobre IST destaca a importância do ambiente educacional na disseminação de informações. Contudo, é notável que mesmo entre aqueles com ensino superior, apenas 31% demonstraram conhecimento substancial sobre a sífilis. Isso reforça a necessidade de aprimorar a abordagem educacional para garantir um entendimento mais profundo dessas questões.

Na pesquisa realizada por Silva (2020) 55,2% dos participantes afirmaram que a Escola foi o principal veículo que pelo qual receberam

informações das IST e sobre vários aspectos, semelhantemente, De Sousa (2020) mostra em sua pesquisa que os participantes apontaram o ambiente escolar como um importante meio de informação para se adquirir conhecimento sobre as IST.

Em síntese, os resultados sugerem a urgência de estratégias de educação e conscientização mais eficazes, adaptadas ao contexto educacional e social, para abordar lacunas de conhecimento e promover uma compreensão abrangente e precisa das IST, incluindo a sífilis.

CONCLUSÃO

Diante desses achados, fica evidente que há uma urgência em implementar estratégias eficazes de educação em saúde, principalmente focadas na disseminação de informações precisas sobre sífilis e ISTs. O fato de que uma proporção considerável da amostra, independentemente do nível educacional, demonstrou falta de conhecimento reforça a necessidade de abordagens educacionais abrangentes e acessíveis. Além disso, a identificação da escola como a principal fonte de conhecimento sobre ISTs destaca o papel fundamental da educação formal na promoção da conscientização. Estratégias que fortalecem o currículo escolar e capacitam professores para abordar questões de saúde sexual podem desempenhar um papel crucial na redução da vulnerabilidade da população a ISTs.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Pará por proporcionar a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.; IGNÁCIO, M. A. O.; FREITAS, A. P. F.; PARADA, C. M. G. L.; DUARTE, M. T. C. Vulnerabilidade de mulheres que fazem sexo com mulheres às infecções sexualmente transmissíveis. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25(10):3809-3819, 2020.

BARBOSA, L. U.; PEREIRA, J. C. N.; LIMA, A. G. T.; COSTA, S. S.; MACHADO, R. S.; HENRIQUES, A. H. B.; FOLMER, V. Dúvidas e medos de adolescentes acerca da sexualidade e a importância da educação sexual na escola. *Revista eletrônica acervo saúde*. Vol.12(4) mar. 2020. ISSN 2178-2091.

BASTOS, L. M.; TOLENTINO, J. M. S.; FROTA, M. A. O.; TOMAZ, W. C.; FIALHO, M. L. S.; BATISTA A. C. B.; TEXEIRA, A. K. M; BARBOSA, F. C. B. Avaliação do nível de conhecimento em relação à Aids e sífilis por idosos do interior cearense, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23(8):2495-2502, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento

de Doenças de Condições Crônicas e Infecções Sexualmente Transmissíveis – DCCI. *Boletim epidemiológico sífilis* 2020. Out. 2020. ISSN 2358-9450.

BRASIL. Ministério Da Saúde. Secretaria De Vigilância Em Saúde. Departamento De Doenças De Condições Crônicas E Infecções Sexualmente Transmissíveis – DCCI. *Boletim epidemiológico hiv/aids* 2020. Dez. 2020. ISSN 1517 1159.

BRITO, A. C.; COSTA, W. C; CARBONELL, R. C. C.; FERREIRA, A. I. C.; RIBEIRO, L. B.; NAKASHIMA, F.; TICIANELI, J. G.; FONSECA, A. J.; MACHADO, L. F. A.; COSTA, B. J. S. Avaliação da aceitação, crenças, percepção e nível de conhecimento parental acerca da vacina do Papilomavírus Humano. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*. Mar. 2021 REAS | Vol. 13(3).

DE SOUSA, R. F. V. Infecções Sexualmente Transmissíveis: percepção de adolescentes e jovens em uma instituição de ensino público de referência no estado do Piauí. Teresina- Pi. Dissertação de Mestrado. Instituto Oswaldo Cruz, 2020.

DOS SANTOS, S. C.; SOUZA, M. A. S.; PEREIRA, J. S.; ALEXANDRE, A. C. S.; RODRIGUES, K. F. A percepção dos idosos sobre a sexualidade e o envelhecimento. *Braz. J. Hea. Rev.*, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 3486-3503 mar/abr. 2020.

FARIAS, A. G. S.; JOAQUIM, D. C.; BENEDITO, F. C. S.; BRITO, E. H. S.; COSTA, E. C.; LEITE, A. C. R. M. Perfil sociodemográfico e econômico e comportamento sexual de brasileiros e estrangeiros recém-ingressos em uma universidade pública. 2020 jan/dez; 12:779-785.

FONTE, V. R. F.; SPINDOLA, T.; FRANCISCO, M. T. R.; SODRÉ, C. P.; ANDRÉ, N. L. N. O.; PINHEIRO, C. D. P. Conhecimento e percepção de risco em relação às infecções sexualmente transmissíveis entre jovens universitários. *Cogitare enferm.* (23)3: e55903, 2018.

FONTELES, A. C. S.; DE QUEIROZ, C. A.; VIEIRA, C. A. L.; PINTO, L. N. P.; DE ANDRADE, L. O. M.; LOPES, R. E.; ARRUDA, L. P. Relato de experiência: desafios na promoção de saúde às gestantes adolescentes acompanhadas na atenção secundária. *Rev. Interfaces.V.9. n 2.* 2021.

GOLDMAN, M. D. L.; BENNETT, M. D. Tratado de Medicina Interna. Rio de J. 2021.

GÖRGEN, A. L. H. Comportamento sexual de risco e fatores associados em adultos e idosos da atenção primária da cidade de Passo Fundo. Passo fundo-RS. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Medicina) Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019. 51 f. [https://](https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/4065/1/ANA%20LET%C3%8DIA%20HARTMANN%20G%C3%96RGEN.pdf)

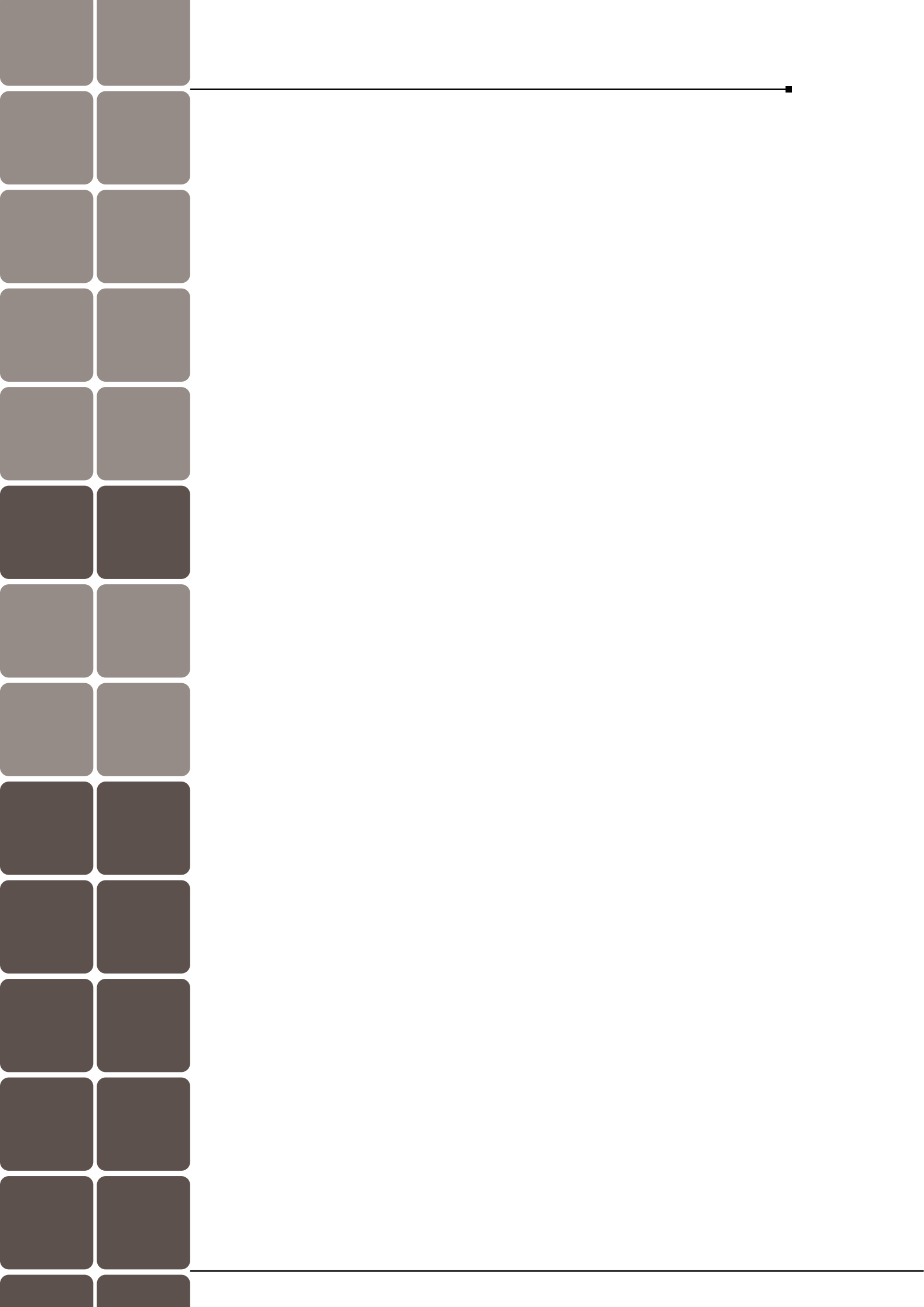
rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/4065/1/ANA%20LET%C3%8DIA%20HARTMANN%20G%C3%96RGEN.pdf (Acesso em 20/02/2024).

LIMA, E. G.; SARMENTO, V. A.; SOUZA, V. J.; GONÇALVES, I. Sífilis congênita como uma etiologia para microcefalia. *Revista Científica Fagoc Saúde - Volume IV – 2019.*

RODRIGUES, J. A. DE A.; L. DA S.; MANGIAVACCHI, B. M. Avaliação do conhecimento de alunos do município de são josé do calçado-es sobre sífilis adquirida e sífilis congênita. *Revista Científica Interdisciplinar.* ISSN: 2526-4036 N° 1, volume 4, artigo nº 10, janeiro/junho 2019.

SANTIN, L. HIV/Aids na juventude: algumas questões para debate. Caxias do sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Caxias do Sul, 2019.

SILVA, M. S. O.; COSTA, T. S.; XAVIER, F. A. S.; PINTO, L. R.; SOUZA, A. E. S.; AGUIAR, F. P.; MONTEIRO, A. D. S.; RODRIGUES, H. T. O. Dificuldades em se realizar ações de prevenção e diagnóstico sobre a percepção de infecções sexualmente transmissíveis (IST): relato de experiência. *Braz. J. Hea. Rev., Curitiba, v. 3, n. 5, p. 13589-13595 set/out. 2020.*



INSTRUÇÕES AOS AUTORES

1. A Revista ENGRENAGEM adota as normas de documentação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os artigos devem ser elaborados no formato de texto, com extensão *.doc*, em folha no formato A4, com 3 cm de margens superior e esquerda e 2 cm de margens inferior e direita. Com o total de **20 (vinte) páginas, no máximo**.

2. Após a seleção dos artigos, os autores deverão **preencher e assinar o termo de cessão de direitos autorais** (solicitar modelo ao Conselho da Revista, via e-mail) do artigo a ser publicado e enviá-lo para o Conselho Editorial da Revista Engrenagem IFPA – *Campus* Belém (Endereço: Av. Almirante Barroso, 1155 – Marco – Belém/PA – CEP 66.093-020).

3. **A folha de rosto** (coluna única) deve conter, na seguinte ordem:

3.1. título em português, em negrito, não devendo exceder a 2 linhas, justificado, entrelinhas simples, a primeira letra em caixa alta (as demais somente quando necessário) e fonte arial (para todo o artigo), corpo 14;

3.2. título em inglês, em itálico, compatível com o título em português, seguindo a mesma formatação e separado deste por uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas simples);

3.3. nome de cada autor (**máximo quatro**), em corpo 10 e negrito, justificado, com entrelinhas simples, seguido, na linha imediatamente abaixo, da afiliação institucional e titulação por ocasião da submissão do trabalho, mantendo uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas simples) entre o título em inglês e o nome do primeiro autor bem como entre o nome do último autor e o Resumo. Manter, também, uma linha em branco entre os nomes dos autores (corpo 10 e entrelinhas simples). Endereços residencial e eletrônico somente do autor principal, antecidos das expressões em negrito “**Endereço:**” e “**E-mail:**”;

3.4. resumo, com título grafado em corpo 10, negrito, justificado e caixa alta (RESUMO), com conteúdo redigido em parágrafo único, corpo 10, espaço simples, alinhamento justificado e Palavras-chave (mínimo 3 e máximo 5) separadas por ponto, grafadas com as iniciais em caixa alta na linha imediatamente abaixo do resumo e antecida pela expressão “Palavras-chave:” em negrito, corpo 10, justificado, mantendo-se uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas simples) entre as palavras-chave e o abstract;

3.5. **ABSTRACT** e **Keywords** (inglês), compatíveis com seus correspondentes em português, obedecendo à mesma padronização, mas grafados em itálico, inclusive o seu conteúdo.

4. **Texto** propriamente dito, em fonte arial, corpo 12 e entrelinhas 1,5, em duas colunas,

com espaçamento entre elas de 1,25 cm, contendo:

- 4.1. títulos das seções sem numeração, justificados, em caixa alta, negrito e entrelinhas simples. Os títulos das subseções devem obedecer ao mesmo padrão, mas sem negrito. Subdivisões menores também devem obedecer ao mesmo padrão dos títulos, mas apenas as iniciais em caixa alta e sem negrito. Evitar criar mais do que três níveis de divisão;
- 4.2. uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas 1,5 cm) entre o título das seções e subseções e o texto;
- 4.3. parágrafos alinhados a 1,25 cm da margem esquerda;
- 4.4. uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas 1,5 cm) entre o texto de cada seção ou subseção e o título da seção ou subseção seguinte;
- 4.5. referências em ordem alfabética, não numeradas, entrelinhas simples, corpo 12, justificadas, com entrelinhas dupla entre duas referências consecutivas, contendo todos os dados necessários à devida identificação das obras.

5. Citações bibliográficas, tabelas, quadros, figuras, siglas e abreviaturas, e fórmulas e equações, quando houver, devem obedecer à seguinte padronização:

- 5.1. citações bibliográficas feitas de acordo com as normas da ABNT (NBR 10520 – *Informação e Documentação - Citações em documentos - Apresentação*), adotando-se o sistema autor-data, sendo que, para citações diretas de mais de 3 linhas, adotar corpo 10, entrelinhas simples e recuo de 1,25 da margem esquerda;
- 5.2. tabelas, quadros e figuras, apresentados/inseridos após o parágrafo onde foram referenciados e o mais próximo possível, podendo ser editados em coluna única como forma de preservar a qualidade da imagem/informação;
- 5.3. tabelas em corpo 10, alinhadas à margem esquerda da página e abertas nas laterais, com cabeçalho em negrito. Sua identificação, exibida em cima, alinhada à esquerda, deve iniciar com a palavra **Tabela**, seguida do **número de ocorrência** no texto em algarismo arábico, seguido de ponto, ambos em negrito, com o texto que a identifique com a primeira letra em caixa alta (as demais somente quando necessária) e com ponto final (Exemplo: **Tabela 1.** Relação de coeficientes.). A referência da fonte de dados deve estar embaixo da Tabela, antecédida da palavra “**Fonte**” em negrito (Exemplo: **Fonte:** Oceanário de Lisboa (2014)). Ressalta-se que, quando se tratar de produção dos próprios autores, **não é necessário informar a fonte**. Deixar uma linha em branco (corpo 12 e entrelinhas 1,5 cm) entre a informação da Fonte e o texto na sequência, inclusive se for outra Tabela. Deixar também uma linha, com o mesmo padrão acima referido, entre o texto que vem antes da Tabela e a Tabela;
- 5.4. quadros em fonte 10 com os quatro lados fechados, seguindo a mesma padronização das tabelas, inclusive quanto a sua numeração e à grafia da

palavra “**Quadro**” (Exemplo: **Quadro 1**. Cenário base.);

5.5. figuras (desenhos, fotografias, gráficos, mapas e plantas, esquemas, fluxogramas, organogramas, macrofluxos), identificação/título e fonte embaixo, obedecendo ao mesmo padrão de numeração e de grafia estabelecido para as tabelas, inclusive quanto à grafia da palavra “**Figura**” (Exemplo: **Figura 1**. Rodovia de pista simples.);

5.6. siglas e abreviaturas devem ser evitadas, pois dificultam a leitura. Quando necessárias, devem ser introduzidas entre parênteses, logo após o emprego do referido termo na íntegra por extenso, quando do seu primeiro aparecimento no texto. Exemplo: Região Metropolitana de Belém (RMB). Após a primeira alusão no texto, usar somente a sigla ou abreviatura nas citações seguintes;

5.7. fórmulas e equações numeradas, sequencialmente, e alinhadas à margem direita.

6. As Referências, além de obedecerem ao disposto no item 4.5., devem seguir o que estabelece a NBR 6.023 – *Informação e Documentação – Referências- Elaboração* / Ago. 2002), observando o seguinte:

6.1. no corpo do texto, quando diversos trabalhos forem citados no mesmo parágrafo, estes devem ser apresentados em ordem cronológica. Se houver mais de um trabalho do mesmo autor no mesmo ano, devem ser utilizadas letras para distingui-los. Exemplo: Coutinho (2003a), Coutinho (2003b), etc.;

6.2. no caso de trabalho de até três autores, seus sobrenomes na citação devem vir separados por vírgula e pela palavra “e”. Exemplo: Silva, Coutinho Neto e Assunção (2007);

6.3. no caso de mais de três autores, indicar apenas o sobrenome do primeiro autor, acrescentando a expressão *et al.* Exemplo: Coutinho Neto *et al.* (2008), sendo que, nas Referências, deve constar o nome de todos os autores. Outras palavras em latim, como *apud*, também devem ser grafadas em itálico;

6.4. nas Referências, o sobrenome dos autores deve vir em caixa alta. Exemplo: BELLEN, H. M.V.;

6.5. deve-se indicar, em itálico, o título do periódico (para artigos) ou o nome da obra (para capítulos de livro);

6.6. Quando houver duas ou mais referências do mesmo autor, a partir da segunda, esta deverá ser separada da anterior por espaço simples e uma linha de seis toques substituirá o nome do autor;

6.7. As notas não bibliográficas devem ser colocadas no rodapé em corpo 8, entrelinhas simples, ordenadas por algarismos arábicos e deverão aparecer imediatamente após o segmento do texto ao qual se refere a nota.

7. Os artigos publicados na REVISTA ENGRENAGEM têm como proprietário dos direitos autorais o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará –

Campus Belém. Desta forma, a reprodução total dos artigos desta revista em outras publicações, ou para qualquer outra utilidade, está condicionada à autorização por escrito do Presidente do Conselho Editorial (Editor-chefe).

8. O presente documento encontra-se disponível em: <http://www.belem.ifpa.edu.br/engrenagem> .

O Conselho Editorial da REVISTA ENGRENAGEM está disponível nos seguintes contatos: Av. Almirante Barroso, n.º1.155 – Bloco “N”, piso superior - Marco – CEP 66.093-020 - Belém/PA; Fone (91) 3201-1723; E-mail: revista.engrenagem@ifpa.edu.br e sítio eletrônico: <http://www.belem.ifpa.edu.br/engrenagem>

SUMÁRIO

Editorial

Leonardo Oliveira do Nascimento

Influência do Exame Nacional do Ensino Médio no Ensino de Física: Revisão de Literatura

Impact of the National High School Exam on Physics Teaching: Literature Review

Odinilton Guerreiro Martins

Marcus Max Trindade Fernandes

Hardiney dos Santos Martins

Andressa Tavares Parente

Gestão da sustentabilidade: uma análise no setor elétrico brasileiro

Sustainability management: an analysis in the Brazilian electricity sector

Sandra Maria Costa Monteiro

Fabricao Quadros Borges

Pobreza menstrual: uma realidade entre estudantes da Educação Básica em Belém/PA?

Menstrual poverty: a reality among Basic Education students in Belem/PA?

Agatha Gabrielle Campos dos Santos

Amanda dos Santos Braga

Rafael Gouveia Alcântara

Vinícius Conrado Alcântara

Cezarina Maria Nobre Souza

Agentes protetores contra danos causados pelo mercúrio

Protective agents against damage caused by mercury

Lorena Araújo da Cunha

Carlos Alberto Machado

Efeito quantitativo dos parâmetros de fluxo de calor na evolução estrutural da liga Al₃Cu₅Nb solidificada horizontalmente

Quantitative effect of heat flow parameters on the structural evolution of horizontally solidified Al₃Cu₅Nb alloy

Hugo André Magalhães de Azevedo

Evaldo da Cruz Hoffmann

Bruno Yuji Goto Feio

Otávio Fernandes Lima da Rocha

A importância das Startups em um contexto ambiental: estudo de caso do projeto Trashbot

The importance of Startups in an environmental context: a case study of the Trashbot project

Arthur Salomão Garcia Begot

Cassia Rodrigues dos Santos

Leon Cristhyan Santos de Oliveira

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Franciane Andreza Veloso dos Santos Gonçalves

Estimativa da produção de lodo nas ETAs da RMB: impactos e indicação de soluções viáveis e ambientalmente vantajosas

Estimation of sludge production in the RMB stages: impacts and indication viable and environmentally advantageous solutions

Maria de Jesus Barbosa Pereira da Silva

Joseane Roberta Moraes de Pina

Letícia Souza dos Santos

Ilka Suely Dias Serra

Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha

Sífilis: análise do conhecimento da comunidade em relação à infecção

Syphilis: analysis of community knowledge regarding the infection

Stephanie Barbosa Pereira

Layse Rodrigues do Rozario Teixeira Lins

Roberto Vilhena do Espírito Santo

Instruções aos autores