

# ENGENHARIA NO SÉCULO XXI

VOLUME 17



Editora Poisson

Editora Poisson

# Engenharia no Século XXI

## Volume 17

1ª Edição

Belo Horizonte  
Poisson  
2020

**Editor Chefe:** Dr. Darly Fernando Andrade

**Conselho Editorial**

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

Msc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas

Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**E57**

**Engenharia no Século XXI - Volume 17/  
Organização Editora Poisson - Belo  
Horizonte - MG: Poisson, 2020**

**Formato: PDF**

**ISBN: 978-65-86127-91-1**

**DOI: 10.36229/978-65-86127-91-1**

**Modo de acesso: World Wide Web**

**Inclui bibliografia**

**1. Engenharia 2. Educação. I. Título.**

**CDD-620**

**Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

[www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)

[contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

# SUMÁRIO

**Capítulo 1:** Despertando vocações para as carreiras de Exatas e Tecnologia: O Projeto Sarminina Cientistas..... 06

Kátia Simone Teixeira da Silva de La Salles, Wendell Ferreira de La Salles, Maira Silva Ferreira, Janyeid Karla Castro Sousa, Paulo Rogério de Almeida Ribeiro

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.01

**Capítulo 2:** Qualidade da água em trecho do Eixo Leste do Projeto de Transposição do Rio São Francisco, Brasil..... 15

Érika Alves Tavares Marques, Cláudia Ricardo de Oliveira, Ariane Silva Cardoso, Maristela Casé Costa Cunha, Maria do Carmo Martins Sobral

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.02

**Capítulo 3:** Modelagem no tratamento de água: Influência do gradiente de velocidade ..... 26

Ana Carolina de Assis Reis, José Roberto Delalibera Finzer, Mauro Luiz Begnini

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.03

**Capítulo 4:** Aplicações de *machine learning* para previsão de dados de níveis de água subterrânea: Uma revisão ..... 35

Thiago Boeno Patricio Luiz

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.04

**Capítulo 5:** Estudos sobre a água do ar condicionado..... 43

Sandra Maria de Lima, Carla Maria Abido Valentini, Ricardo Augusto Moraes Zaque, Fernanda Silveira Carvalho de Souza, Priscila Ferreira Machado Albano

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.05

**Capítulo 6:** Viabilidade da reutilização da água proveniente de ar condicionado..... 50

Júlio César Furtado Filho, Wilson Marques Silva

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.06

**Capítulo 7:** Nova configuração de sistema anaeróbico com menor custo de implantação e melhor eficiência..... 62

Antonio Carlos Braconi

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.07

# SUMÁRIO

**Capítulo 8:** Intervenções ocorridas no Teatro São João no contexto do Sítio Histórico de Sobral ..... 69

Eder Paulus Moraes Guerra

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.08

**Capítulo 9:** As possibilidades de atuação do engenheiro de produção na Modelagem da Informação da Construção (BIM)..... 80

Judith Ferreira Campos, Maria Aparecida Fernandes Almeida

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.09

**Capítulo 10:** Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos ..... 95

Jorge Augusto Dalmolin, Yader Alfonso Guerrero, Breno Barra, Marcelo Heidemann

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.10

**Capítulo 11:** Ensaios de moagem do feldspato pegmatítico do Alto Serra Branca-PB ..... 112

Gerson Ferreira da Silva, Elbert Valdiviezo Viera

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.11

**Capítulo 12:** Estudo do efeito inibidor das cinzas de carvão mineral na corrosão do aço embutido em argamassa em meio a íons sulfato ..... 127

Daniele Ferreira Lopes, Sabrina Neves da Silva

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.12

**Capítulo 13:** Avaliação de riscos ambientais: O caso das erosões nas margens da Rodovia BR – 010, trecho localizado no Município de Ipixuna do Pará..... 136

Mozart Antonio Ribeiro, Paulo Danilo Albuquerque de Oliveira, Madson Alan Rocha de Sousa

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.13

**Capítulo 14:** Sintonia de controlador PID utilizando Algoritmo Enhanced Scatter Search para um rastreador solar..... 148

José Diogo Forte de Oliveira Luna, Georgios Joannis Ninos Neto, José Silvan Batista Mota Júnior, José Ricardo Pérez-Correa

**DOI:** 10.36229/978-65-86127-91-1.CAP.14

**Autores:**..... 160

# Capítulo 1

## *Despertando vocações para as carreiras de Exatas e Tecnologia: O Projeto Sarminina Cientistas*

*Kátia Simone Teixeira da Silva de La Salles*

*Wendell Ferreira de La Salles*

*Maira Silva Ferreira*

*Janyeid Karla Castro Sousa*

*Paulo Rogério de Almeida Ribeiro*

**Resumo:** Este artigo relata algumas ações desenvolvidas pela equipe de execução do projeto de extensão "Sarminina<sup>1</sup> Cientistas: Estimulando Meninas do Maranhão para as Carreiras de Exatas e Tecnologia", vinculado à chamada Pública CNPq/MCTIC nº 31/2018 Meninas nas Ciências Exatas, Engenharias e Computação. A estratégia do projeto constitui em uma ferramenta de mediação entre a prática de ensino, os saberes, as habilidades e o contexto social. O projeto atua em duas frentes: uma, a fim de promover o estímulo à curiosidade das meninas do Ensino Fundamental e do Ensino Médio nas áreas de ciências exatas e tecnológicas, com o intuito de incentivar o ingresso destas jovens nessas áreas; e outra para o desenvolvimento técnico das alunas de graduação, com a participação delas em palestras, oficinas e minicursos, propondo a complementação de sua formação, além do desenvolvimento de projetos científicos ou tecnológicos e do incentivo à participação em competições, visando à excelência acadêmica, a diminuição da evasão, das taxas de reprovação, entre outros parâmetros. As ações propostas no projeto buscam popularizar a área de ciências e tecnologia para a comunidade e promover o ingresso e permanência das mulheres nessa área de forma igualitária e democrática. Por meio das ações integradas, espera-se contribuir sobremaneira no estímulo à curiosidade do conhecimento nessa área, compartilhando novos saberes e perspectivas eficazes na superação do problema de desigualdade de gênero nas Ciências Exatas e Tecnologia.

**Palavras-chave:** Sarminina Cientistas, Gênero, Escolas públicas, Ciências exatas e tecnologia.

---

<sup>1</sup> Sarminina – Expressão usada para falar com um grupo de garotas

## 1. INTRODUÇÃO

Um estudo feito com dados do Núcleo de Tecnologia de Informação da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) mostra que no período de 1996 à 2018 o ingresso de mulheres na Universidade representou apenas 28,2% do total de alunos contra 71,8% dos homens. Na área técnica, representada pelo Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), o perfil é o mesmo. Observa-se que cursos do CCET possuem como ingressantes menos que 35,0% de mulheres. A exemplo, temos os cursos de Ciências da Computação com 11,0%, Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia com 25,3%, Engenharia Civil com 33,8%, Engenharia da Computação com 30,4%, Engenharia Elétrica com 16,8%, Engenharia Mecânica com 21,4%, Física 15,6% e Matemática com 17,7%.

Essa dificuldade de participação das mulheres nas ciências exatas é um problema mundial, segundo Vanderlan Bolzani (BOLZANI, 2017).

Ainda segundo Bolzani, no Brasil, de acordo com o censo escolar do INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira), o número de mulheres que concluiu o ensino médio é ligeiramente superior ao de homens no período de 2000 a 2012. Nos cursos de graduação, considerando-se todas as carreiras, aí incluídas áreas onde a predominância feminina é marcante - como pedagogia, letras, ciências humanas, em 2012, elas representavam 57,1% dos concluintes. Quando o assunto é ensino superior, o público feminino representa 60% dos estudantes que terminam alguma faculdade, mas apenas 41% concluem algum curso relacionado a área da ciência. É o que aponta o censo de Educação superior divulgado em 2015.

E quais seriam as razões que limitam a participação das mulheres nas ciências exatas e engenharias? Como fazer com que as novas gerações sejam estimuladas a atuar nessas áreas? Como manter motivadas e reter as alunas de graduação nestas áreas? Como ampliar a representação da mulher e a inclusão no mercado de trabalho tecnológico?

Baseado nestas reflexões e pensando em ampliar a participação feminina nestas áreas de formação, um grupo interdisciplinar, composto por professoras de diversas áreas de Ciência e Tecnologia (C&T), propõe o projeto “Sarminina Cientistas: Estimulando Meninas do Maranhão para as Carreiras de Exatas e Tecnologia”, que tem como principal objetivo incentivar o ingresso de mulheres nos cursos das seguintes áreas: Química, Física, Computação, Matemática e Engenharias.

O enfoque interdisciplinar do grupo proponente do projeto permitirá transpor obstáculos e barreiras postas entre as disciplinas, as áreas de conhecimento e os agentes envolvidos nos processos de ensino aprendizagem. Nessa direção, a interdisciplinaridade vem ao encontro de uma proposta pedagógica fundamentada na Educação por Competência (PERRENOUD, 1999), baseada em atividades coletivas de trabalho que desenvolvam competências interpessoais e profissionais para o exercício do trabalho das alunas.

O projeto atuará em duas frentes: uma a fim de promover o estímulo à curiosidade das meninas do Ensino Fundamental e do Ensino Médio nas áreas de ciências exatas e tecnológica, com intuito de incentivar o ingresso destas jovens nestas áreas e outra para o desenvolvimento técnico das alunas de graduação, com a participação destas em palestras, oficinas e minicursos, propondo a complementação de sua formação, além do desenvolvimento de projetos científicos ou tecnológicos e do incentivo à participação em competições, visando a excelência acadêmica, a diminuição da evasão, das taxas de reprovação, entre outros parâmetros.

As atividades desenvolvidas pela equipe estarão diretamente relacionadas com a tríade Ensino, Pesquisa e Extensão, procurando enfatizar a indissociabilidade desses três segmentos, colaborando para a melhoria da qualidade do ensino dos cursos de graduação envolvidos no âmbito deste projeto.

O projeto será executado em três escolas da rede pública da Cidade de São Luís – Maranhão sendo duas a nível estadual e uma a nível federal: Colégio Militar do Corpo de Bombeiros (Colégio 2 de Julho), Liceu Maranhense e Colégio Universitário (COLUN), respectivamente.

## 2. AÇÕES VOLTADAS PARA EDUCAÇÃO BÁSICA

O projeto “Sarminina Cientistas: Estimulando Meninas do Maranhão para as Carreiras de Exatas e Tecnologia” foi proposto no sentido de promover ações que visam, não somente fomentar a igualdade de gênero, mas também que promovam o contato precoce das alunas do ensino básico com as áreas de ciência e tecnologia, esclarecendo o papel e os aspectos positivos dessas carreiras, visando um aumento no

ingresso de mulheres em áreas predominantemente masculinas (BARROS, 2018). É de fundamental importância a oportunidade que se oferece para cada aluna, em adquirir conhecimentos básicos sobre a ciência e seu funcionamento, o qual dará condições de entender o seu redor, além do engajamento e fixação desses talentos nas áreas de atuação correlatas e assim se tornarem agentes no desenvolvimento científico e tecnológico, em especial no Maranhão, onde as desigualdades são intensas e os índices de inclusão social estão aquém do que possa sonhar para o mínimo de uma adequada qualidade de vida.

Neste artigo faremos um breve relato de duas ações voltadas às alunas de ensino médio: "experimentando e entendendo a ciência" e "vivendo com as estrelas" uma experiência de visitação das alunas do Colégio Militar do Corpo dos Bombeiros ao Laboratório de Divulgação Científica - da Ilha da Ciência (LCD da Ilha da Ciência) e ao planetário, respectivamente, ambos vinculados ao Departamento de Física da UFMA.

Na ação "experimentando e entendendo a ciência" usou-se a Física como ferramenta para despertar o interesse de meninas pela ciência antes do seu ingresso na universidade. A ação foi realizada na "Ilha da Ciência", um laboratório interativo de ciência e tecnologia permanente para formação e informação científica, através de maneiras diferenciadas, lúdicas e ativas de aprendizagem, em especial na área das ciências básicas para a difusão do conhecimento, para que em um futuro próximo estes venham a contribuir na consolidação desta área no País.

Foram apresentados pelos alunos bolsistas do curso de Física da UFMA, diversos experimentos científicos que demonstram as leis que regem o Universo, em especial da Física, de forma lúdica e interativa, fazendo a junção de teoria e prática. Dos experimentos apresentados podemos citar: levitadores magnéticos, motor de transmissão eletromagnético, gerador elétrico com rotor levantado, duplo cone duplo, bobinas de indução, experimento de centro de massa, conjunto para demonstração da conservação do momento angular, conjunto de espelhos côncavos, prismas e de luz, pêndulo simples, experimentos de Hoppe, levitador com fluxo de ar, entre outros (Figura 1).

As meninas foram divididas em grupos, para que pudessem realizar e discutir cada experimento, levantando questionamentos e apresentando suas ideias para os bolsistas do laboratório. As meninas interagem fisicamente com os experimentos, proporcionando uma experiência mais ativa na percepção dos fenômenos físicos apresentados.

A segunda ação "vivendo com as estrelas" teve como objetivo mostrar que a ciência pode ser divertida e que está presente na vida de todos, despertando a curiosidade das meninas para a astronomia, uma das matérias mais interdisciplinares que existem na educação (BERNARDES, 2008). Nesse sentido, os ambientes não formais, como o planetário (Figura 2), se tornam ferramentas importantíssimas no contexto pedagógico, pois proporcionam uma imersão tridimensional e despertam nos visitantes o fascínio pelo universo. Isso os estimula a buscar mais informações sobre o tema, o que produz efeito positivo e significativo na aprendizagem.

Baseado em uma estrutura circular, onde um projetor, junto a um sistema de som, reproduz vídeos sobre a física em 3D, a infraestrutura do planetário permite a imersão das alunas, na medida em que informações sobre o planeta Terra, a natureza humana e o Sistema Solar são repassados.

Cada sessão durou em média 30 minutos, sendo composta por grupos de 20 alunas.

Após as duas ações foi disponibilizado questionário eletrônico<sup>2</sup>, a plataforma Google, para avaliar a percepção das alunas participantes sobre a atividade realizada e o que poderia ser melhorado em futuras replicações.

---

<sup>2</sup> [https://docs.google.com/forms/d/16O91Ros60AVA5pxdIP9\\_P5LfvelCXRQKD-eJkjkGz0/edit?ts=5cc85b24](https://docs.google.com/forms/d/16O91Ros60AVA5pxdIP9_P5LfvelCXRQKD-eJkjkGz0/edit?ts=5cc85b24)

Figura 1: Exemplos de experimentos apresentados as alunas



Fonte: Assessoria de Comunicação/ASCOM (2019).

Figura 2: Planetário UFMA



Fonte: Assessoria de Comunicação/ASCOM (2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 EXPERIMENTANDO E ENTENDENDO A CIÊNCIA: A VISITAÇÃO AO LABORATÓRIO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA - ILHA DA CIÊNCIA

No laboratório da Ilha da Ciência, as meninas puderam vivenciar fenômenos vistos teoricamente na escola, instigando então sua curiosidade. Observou-se que no início da ação as participantes estavam tímidas, mas com o tempo, a timidez foi sendo substituída pela curiosidade, e todas se envolveram nas demonstrações dos experimentos com muita interação com a bolsista do laboratório (Figura 03).

Figura 3: Observação de experimentos no laboratório de Divulgação Científica - Alunas do Colégio Militar do Corpo de Bombeiros



Fonte: Assessoria de Comunicação/ASCOM (2019)

Durante a apresentação pelos bolsistas e enquanto vivenciavam estas primeiras experiências científicas, constatou-se o entusiasmo das alunas ao relatarem oralmente comentários como:

Adorei a experiência, seria bom termos mais oportunidades como estas. (Estudante 08, 14 anos, 2019).

Incentivar meninas com visitas, experimentos, entre outros para trabalharem nesse tipo de área (Estudante 02, 16 anos, 2019)

### 3.2 VIVENDO COM AS ESTRELAS: SESSÃO PLANETÁRIO

Com o tema "vivendo com as estrelas" a sessão do planetário teve como objetivo principal levar os conhecimentos básicos sobre a Terra e o Sistema Solar, noções de orientação e concepção de universo, mostrando como a ciência explica o seu funcionamento.

Após a sessão do planetário, registrou-se relatos das alunas, tais como:

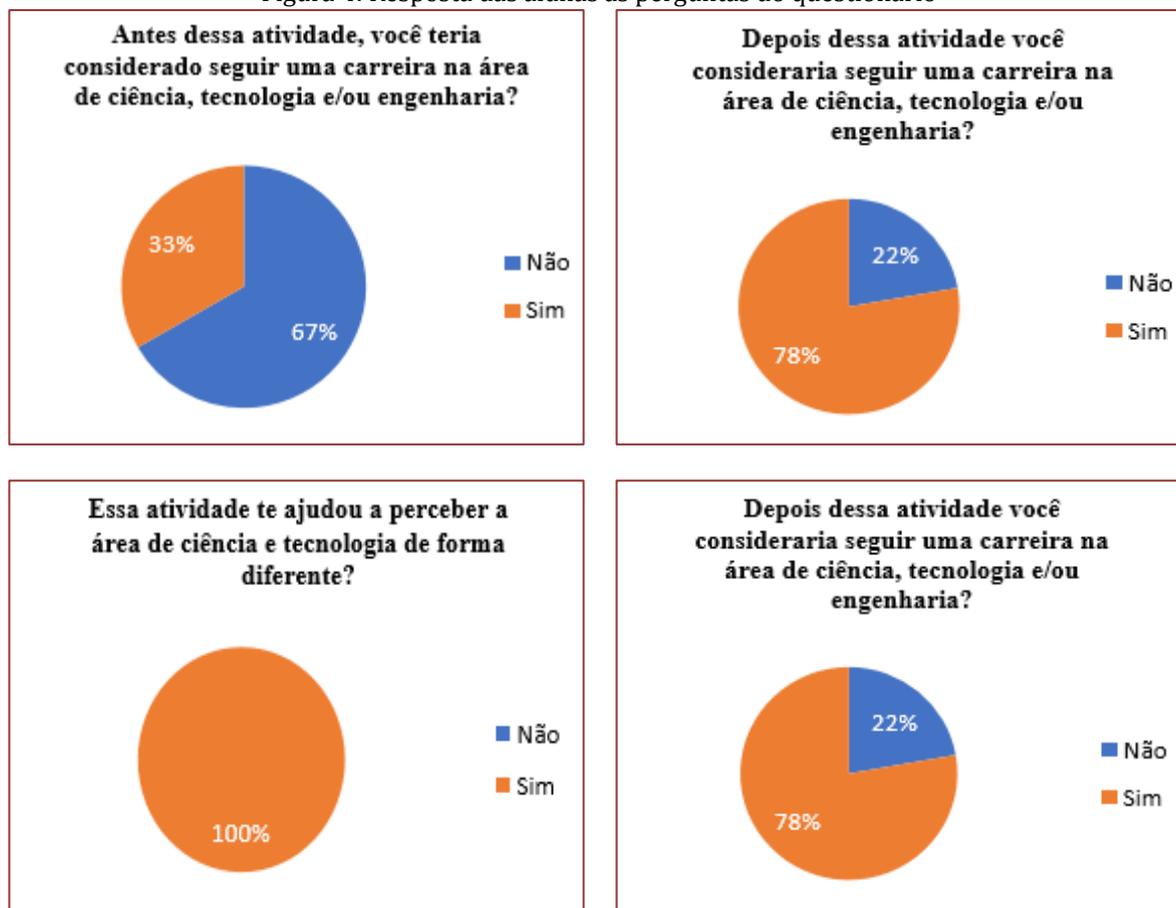
Foi muito interessante, a gente aprende muita coisa sobre os astros e de uma forma bem legal (Aluna 04, 15 anos, 2019)

### 3.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIO

Os dados obtidos das ações implementadas foram analisados de forma quantitativa através de questionário. Neste questionário perguntou-se inicialmente questões relacionadas a identificação das alunas, tais como idade e o ano atual do ensino médio em que se encontravam. Observou-se a partir destes dados que as alunas participantes cursavam do 1º ao 3º ano do ensino médio do Colégio 2 de Julho, com faixa etária de 14 a 18 anos.

As demais questões que integravam o questionário consistiam em questões objetivas e subjetivas, objetivas, a fim de obter suas percepções sobre as atividades realizadas e, sensibilizá-las para uma reflexão sobre a presença da mulher nos cursos da área de C&T. Os resultados das questões objetivas são apresentados na Figura 4, e referem-se especificamente a uma avaliação por parte das alunas das atividades por elas vivenciadas.

Figura 4: Resposta das alunas as perguntas do questionário



Fonte: Questionário próprio elaborado pela equipe da ação

A partir da análise da Figura 4, conclui-se que de um total de 18 alunas entrevistadas, 67% consideravam, antes das ações implementadas, seguir uma carreira na área de ciência e tecnologia e/ou engenharia. Após ações implementadas houve um aumento de 11% no interesse das alunas em seguir a carreira em C&T. Assim, percebemos que existe o desejo do público feminino sobre a área quando os conteúdos abordados em sala de aula são apresentados na forma lúdica e relacionados com a prática, não somente na teoria

Observou-se também, que 100 % das alunas entrevistadas afirmam que esta atividade ajudou a perceber a área de ciência e tecnologia de forma diferente. E uma vez questionadas se a implementação destas atividades na escola contribuiria para maior interesse das alunas por ciência, tecnologia e/ou engenharia, todas foram unânimes em afirmar que sim.

A avaliação dos resultados das questões subjetivas presentes no questionário é discutida a seguir:

Ao questionamento "Na sua opinião, qual é o motivo de não termos muitas mulheres na ciência, tecnologia e/ou engenharia?", são reproduzidas literalmente abaixo as respostas mais significativas e que podem contribuir para uma melhor reflexão neste estudo:

Por terem talvez conhecimentos equivocados sobre dificuldade de determinada profissão que envolve esse rumo. (Aluna 02, 15 anos, 2019)

A falta de incentivo para que mulheres sigam essas áreas. (Aluna 04, 15 anos, 2019)

Muitas das vezes, a falta de oportunidades e informações, pois sabemos que elas também têm a mesma capacidade que os homens, tanto que diz respeito a prática das atividades quanto a capacidade de aprender. (Aluna 11, 16 anos, 2019)

Porque antigamente geralmente apenas homens estudavam e isso vem causando efeito nos dias atuais, já que as mulheres não têm muitos exemplos femininos nessas áreas. (Aluna 09, 15 anos, 2019)

Muitas vezes por não terem tantas oportunidades para entrar, também pode sobre a questão do preconceito e por muitas vezes não terem o contato com tais Áreas, e pôr na nossa sociedade atual muitas pessoas julgam essas Áreas apenas para homens. (Aluna 11, 16 anos, 2019)

Desigualdade em relação aos homens. (Aluna 12, 16 anos, 2019)

O medo de não encontrar oportunidades de trabalho depois da formação. (Aluna 13, 16 anos, 2019)

Talvez, as mulheres não tenham muito interesses por essa área, fora que, muitos familiares ainda vivem cultura machista e impedem das mulheres ingressarem nessa área acham que só os homens têm capacidade. (Aluna 15, 17 anos, 2019)

O fato desta área ser considerada "machista" uma Área onde os homens atuam, tanto que os nossos maiores cientistas foram homens. No entanto as pessoas esquecem que em grande parte dessas pesquisas várias mulheres ajudaram, porém os seus nomes não são citados. Com relação a essa falta de mulheres nesse setor se dá justamente a isso! (Aluna 16, 16 anos, 2019)

Principalmente, pelo desincentivo por uma parte geral da sociedade, e da mulher em si mesmo. Muitas vezes acreditando que tais empregos ou carreiras são, ou inalcançáveis, ou de não cabimento a sua pessoa (a mulher). (Aluna 17, 16 anos, 2019)

Muitas meninas não têm apoio para ingressar na carreira de tecnologia, justamente por "ser difícil demais", considerada uma profissão masculina. "Você não daria conta" É o que muitos dizem, porém na última década a quantidade de mulheres nas faculdades de exatas aumentou significativamente, mostrando que elas podem e conseguem atingir seus objetivos, não importa qual. Além disso, a contribuição feminina para o mundo da ciência tem sido representada com êxito pelas cientistas, professoras, universitárias...enfim, por todas as mulheres dessa área. Como exemplo, tivemos recentemente a divulgação da primeira foto de um buraco negro, registro feito por uma equipe comandada por uma jovem de 29 anos, um feito histórico. (Aluna 18, 15 anos, 2019)

Observa-se que a maioria das alunas acreditam que a razão de tão poucas mulheres ingressarem nas áreas das ciências, tecnologia e/ou engenharias são: por considerarem que é uma área predominantemente masculinas, e que a influência da sociedade em relação a desigualdade de gênero faz com que a mulher não tenha interesse em entrar no mercado de trabalho por se considerarem incapazes, além da falta de oportunidade e informação.

Os resultados acima estão em acordo com o publicado pelo Sindicato de Engenheiros do Estado de São Paulo (2019) e por Soares (SOARES, 2001) que aponta que adolescentes do sexo feminino possuem uma menor expectativa do sucesso profissional em áreas da Ciência e Tecnologia e conseqüentemente se tornam profissionais menos confiantes, por subestimarem suas habilidades.Com relação a questão "Quanto do que pode ser feito para termos mais mulheres na ciência, tecnologia e/ou engenharia?" as principais reflexões são apresentadas a seguir:

Incentivando meninas com visitas, experimentos, entre outros para trabalharem nesse tipo de área. (Aluna 12, 15 anos, 2019)

Falar sobre trabalhos de mulheres cientistas que não são tão famosos, mas são importantes, representatividade, lugar de fala, oportunidade. (Aluna 03, 17 anos, 2019)

Implementação de atividades que as incentivem a perceber essas áreas com outra visão e a seguir nessas carreiras. (Aluna 04, 15 anos, 2019)

Oferecer mais oportunidades as mesmas, mais incentivo e mais atenção à elas nessa área (Aluna 05, 16 anos, 2019)

Mais trabalhos como esse para que as mulheres se interessarem melhor sobre essa área (Aluna 06, 15 anos, 2019)

Mais atividades como esta podem contribuir ao interesse de um maior número de mulheres. (Aluna 08, 14 anos, 2019)

Promover projetos para mostrar as mulheres que elas podem fazer o que quiser, e que ciência, tecnologia e engenharia são também áreas muito interessantes. (Aluna 09, 15 anos, 2019)

Mostrando uma forma de estudo que possa despertar o interesse delas, de que não somente números, e sim uma coisa bonita de se ver e admirar.

Abrir mais oportunidades, permitir que nessas áreas sejam iguais a todos independente do sexo, trabalhar nas escolas visitas para lugares que trabalham com essas áreas, ouvir relatos de mulheres que trabalham nessas áreas e ter atividades práticas para que todos possam entender um pouco. (Aluna 11, 16 anos, 2019)

Uma exploração a mais sobre o assunto de uma forma "menos chata", pois se a pessoa tiver um primeiro contato de uma forma "divertida" ela vai ter curiosidade e se interessar mais pela área de exatas. Eu, particularmente, tive um ótimo contato, com profissionais que sabiam dar uma excelente aula e hoje eu pretendo cursar uma área relacionada ao assunto. (Aluna 12, 15 anos, 2019)

Oportunidade e valorização da mulher nesse mercado de trabalho. (Aluna 13, 16 anos, 2019)

Criar oportunidades, maneiras de expor para tais que é possível conquistar uma boa carreira, crescer no mercado de trabalho fazendo o que gosta. (Aluna 14, 18 anos, 2019)

Palestras voltadas para "mulheres nas exatas" e projetos que mulheres possam participar. (Aluna 15, 18 anos, 2019)

Implantar métodos e ações como essas que estão sendo realizados nesse projeto. (Aluna 16, 16 anos, 2019)

O incentivo desde uma idade jovem, tanto na escola quanto na casa, e o reforçamento da ideia de que mulheres também podem tomar tais carreiras na tecnologia. (Aluna 17, 16 anos, 2019)

Observa-se que quando do questionamento a cima as alunas na sua maioria sugerem um maior incentivo as meninas, com visitas, experimentos, projetos, divulgação de trabalhos femininos na área de C&T, além de que pelas descrições das alunas o projeto Sarminina Cientistas se mostrou uma excelente forma de despertar o interesse delas por áreas predominantemente masculinas.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desenvolvidas com as alunas da Escola Militar do Corpo de Bombeiro foram de grande importância, pois demonstrou a necessidade de se implantar alternativas de aprendizagem que estimulem a curiosidade das meninas do ensino médio nas áreas de C&T. Acredita-se que essas ações possam fortalecer a imagem de que as áreas das Ciências, Tecnologia e/ou Engenharia devam também ser atuadas pelas mulheres, possibilitando um novo olhar científico que promova o enriquecimento da produtividade científica e tecnológica. O estudo mostrou que as participantes sofrem a influência dos estereótipos de gênero de nossa sociedade, o que pode dificultar o interesse pela área de C&T.

## 5. AGRADECIMENTOS

A equipe envolvida neste trabalho agradece ao Departamento de Física da UFMA pela disponibilidade de utilização do espaço físico. Agradecimentos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo financiamento do projeto (processo nº 442951/2018-3).

## REFERÊNCIAS

- [1] BARROS, S. C. V., MOURÃO, L. Panorama da participação feminina na educação superior, no mercado de trabalho e na sociedade. *Psicologia & Sociedade*, 30, 2018.
- [2] BERNARDES, T. O.; IACHEL, G.; SCALVI, R. M. F. Metodologia para o ensino de Astronomia e Física através da construção de telescópios. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1, p. 103-117, abr. 2008.
- [3] BOLZANI, V.S.(2017). Mulheres na ciência: por que ainda somos tão poucas? *Cienc. Cult.*[online]. 2017, vol.69, n.4, pp.56-59. ISSN 2317-6660. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000400017>. Acesso em: 01 out. 2018.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Censo da Educação Superior 2015. Brasília: INEP, 2016. Disponível em: [http://download.inep.gov.br/educacao\\_superior/censo\\_superior/resumo\\_tecnico/resumo\\_tecnico\\_censo\\_da\\_educacao\\_superior\\_2015.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_superior/censo_superior/resumo_tecnico/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2015.pdf). Acesso em: 05 out. 2018
- [5] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA. Gender and Education for All - the leap to equality. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132550\\_eng](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132550_eng). Acesso em: 07 maio 2019.
- [6] PERRENOUD, P. Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas. Porto Alegre: Artmed, 1999.
- [7] SINDICATO DOS ENGENHEIROS NO ESTADO DE SÃO PAULO. Gênero - Mais mulheres na engenharia, apesar das dificuldades. Disponível em: <https://www.seesp.org.br/site/index.php/jornal-do-engenheiro/item/14626-genero-mais-mulheres-na-engenharia-apesar-das-dificuldades>. Acesso em: 09 maio 2019.
- [8] SOARES, T. A. Mulheres em ciência e tecnologia: ascensão limitada fundamental. *Quim. Nova*, v. 24, n. 2, p. 281-285, 2001.

# Capítulo 2

## *Qualidade da água em trecho do Eixo Leste do Projeto de Transposição do Rio São Francisco, Brasil*

*Érika Alves Tavares Marques*

*Cláudia Ricardo de Oliveira*

*Ariane Silva Cardoso*

*Maristela Casé Costa Cunha*

*Maria do Carmo Martins Sobral*

**Resumo:** O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água de reservatórios localizados na Bacia do Alto Rio Paraíba, no trecho do Eixo Leste do Projeto de Transposição do Rio São Francisco. Para avaliar a qualidade da água, foram monitorados 9 pontos amostrais durante 2011 a 2017 para coleta dos parâmetros: temperatura, pH, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e coliformes termotolerantes. Os dados referentes à vazão foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas. Os dados físico-químicos e bacteriológicos pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba. Os parâmetros pH, Fósforo Total, DBO, turbidez, coliformes termotolerantes e Nitrogênio Total apresentaram desconformidade em relação à Resolução CONAMA 357/2005. O IET da água nos pontos monitorados variou entre ultraoligotrófico (Q72) a hipereutrófico (Q72) e o IQA variou entre razoável (Q70 e Q76) e boa (Q68, Q69 e Q73) durante o período estudado. Esses resultados indicam a necessidade de ações que possibilitem a melhoria da qualidade da água e viabilize o uso para suprimento de diversas demandas. Neste sentido, recomenda-se continuar o monitoramento da qualidade de água para avaliar os impactos ambientais no Alto Curso da Bacia do Rio Paraíba, identificar os pontos em desacordo com a legislação e pontos de lançamento de efluente/esgoto a montante dos reservatórios, a fim de definir as medidas mitigadoras.

**Palavras-chave:** Reservatórios, semiárido, monitoramento, transposição, Bacia do Rio Paraíba.

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica no semiárido paraibano sempre foi um elemento limitante em relação ao desenvolvimento desta região. A seca prolongada nos últimos seis anos não apenas tem diminuído a oferta de abastecimento de água por parte da rede pública, mas aliados à carência de políticas públicas e à má utilização dos recursos hídricos, vem tornando a região pouco desenvolvida em relação às demais regiões do Brasil. Cirilo et al. (2010) apontam para o fato de que grandes esforços vêm sendo implantados com o intuito de desenvolver infraestruturas capazes de disponibilizar água para tentar garantir o abastecimento humano e animal, além de viabilizar a irrigação.

O Alto curso do Rio Paraíba está inserido em uma das regiões mais secas do País, o Cariri, compreendendo os municípios de Monteiro, Camalaú, Congo, São João do Cariri, Cabaceiras e Boqueirão. Para amenizar o problema da escassez hídrica foram construídas na bacia, várias barragens de modo a garantir o abastecimento em períodos de crise. Os resultados absolutos obtidos, por exemplo, em número de obras realizadas, foram significativos, entretanto a gestão dos recursos hídricos foi ineficiente, o que acarretou na persistência dos problemas com escassez desta região.

O Ministério da Integração Nacional (MIN) elaborou o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), Eixo Leste, com o objetivo de garantir o atendimento de todas as demandas urbanas e industriais gerando uma oferta hídrica contínua, possibilitando o desenvolvimento econômico da região. O Eixo Leste do PISF levará as águas do Rio São Francisco para o Rio Paraíba, que será responsável pela manutenção dos níveis dos açudes Epitácio Pessoa (Boqueirão) e Acauã. De acordo com os estudos feitos pelo consórcio executor da obra, foram destacados alguns impactos gerados pelo PISF, dentre eles, o assoreamento e erosão de rios e áreas de risco, alteração na qualidade da água, perdas de áreas produtivas, dentre outras (ARAÚJO SEGUNDO NETO e VIANA, 2016).

O mau uso dos recursos hídricos vem contribuindo para agravar a qualidade de água e ampliando os problemas na região semiárida. Apesar dos esforços, os problemas com a escassez ainda são recorrentes, tornando as populações, em especial as dispersas das áreas urbanas, vulneráveis à ocorrência das estiagens prolongadas.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água de reservatórios localizados na Bacia do Alto Rio Paraíba, no trecho do Eixo Leste do Projeto de Transposição do Rio São Francisco.

## 3. METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba (BHRP), possui uma área de 20.071,83 km<sup>2</sup>, compreendida entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15"; Oeste de Greenwich, é a segunda maior do estado da Paraíba (Figura 1), pois abrange 38% do seu território, abrigando 1.828.178 habitantes que correspondem a 52% da sua população total (AESAs, 2018). Ocupando uma das áreas com maior escassez hídrica do Brasil, a BHRP apresenta um espaço geográfico composto por 18 municípios, inseridos parcial ou totalmente na Bacia (SANTOS, 2014). Além disso, a sua área é composta pelas sub-bacia do Rio Taperoá e pelas regiões do Alto, Médio e Baixo Curso do Rio Paraíba, que com exceção do baixo Curso do Rio Paraíba, as demais regiões e a sub-bacia se incluem no perímetro do Semiárido brasileiro que historicamente sofre um complexo e cíclico cenário de escassez hídrica que assola a região (MIRANDA, 2017).

Na região do Alto Curso do Rio Paraíba, área de estudo do trabalho, o clima é do tipo BSw<sup>h</sup> (segundo a classificação climática de Köppen) ou seja, semiárido quente, com precipitação pluvial média anual variando de 400 a 600 mm e com estação seca de 8 a 10 meses. Nessa região, estão localizados importantes reservatórios de água, tais como: Poções, Camalaú e Epitácio Pessoa.

O Alto curso do Rio Paraíba está inserido em uma das regiões mais secas do País, o Cariri, com médias anuais pluviométricas em torno de 500 mm e extremamente mal distribuídas, concentrando 65% do total anual em até 4 meses (LACERDA, 2003). Como forma de amenizar a escassez hídrica da região, foram construídas várias barragens com o intuito de garantir reservas hídricas durante o período úmido para serem utilizadas na complementação das demandas do período seco (LANNA, 2002).

Os dados climatológicos foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climatológicos (INPE/CPTEC, 2019), referentes ao período 2010 a 2017.

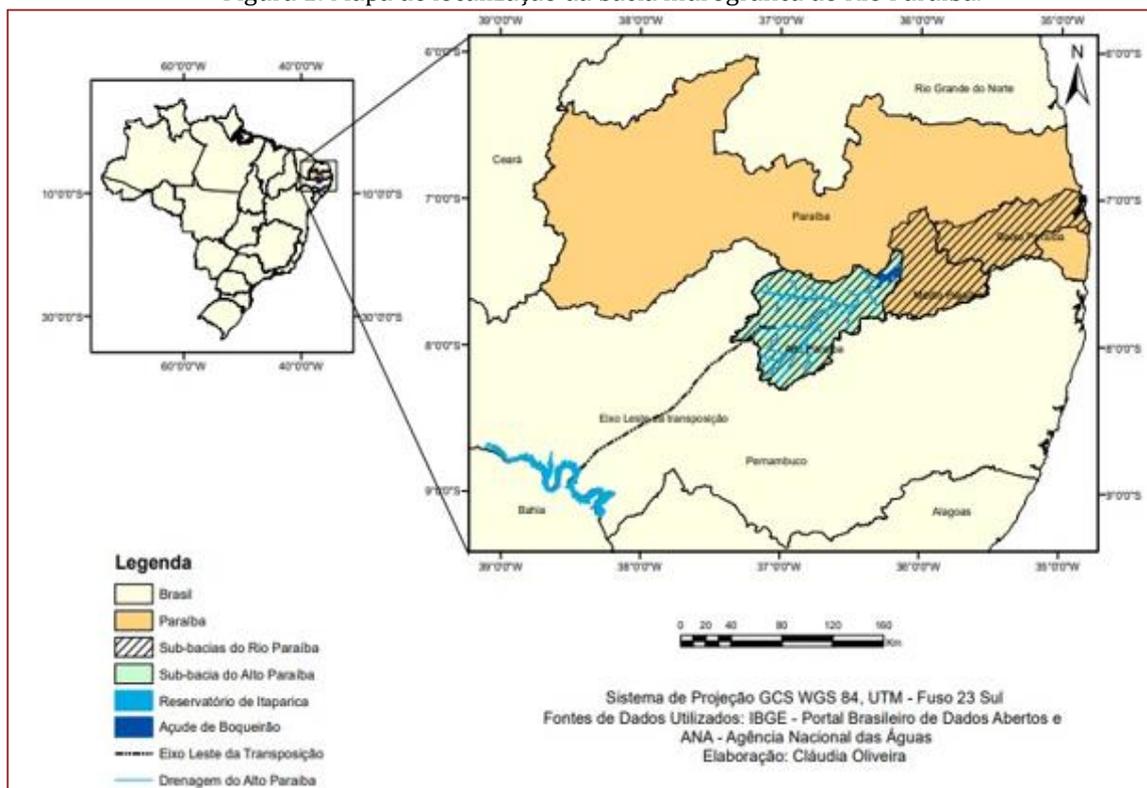
Para avaliar a qualidade da água, foram monitorados 9 pontos amostrais durante 2011 a 2017 para coleta dos parâmetros: temperatura (°C), pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, fósforo total (PT), nitrogênio total (NT), oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (STD) e coliformes termotolerantes (CT) (Tabela 1). Os dados referentes à vazão foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AES/A). Os dados físico-químicos e bacteriológicos pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) e os dados referentes à precipitação na bacia do Rio Paraíba foram fornecidos por Xavier et al. (2013).

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos amostrais localizados na BHRP.

Ponto	Localidade	Latitude	Longitude
Q68	Reservatório Poções (Eixo)	-07°53'21.19958"	-36°59'50.58801"
Q69	À montante do remanso do Açude Camalaú	-07°52'15.39056"	-36°53'11.94487"
Q70	Açude Camalaú	-07°53'13.76235"	-36°49'59.12300"
Q71	Rio do Meio (Caraúbas)	-07°43'03.43465"	-36°29'59.25429"
Q72	Remanso do Reservatório Epitácio Pessoa	-07°31'04.65834"	-36.18'33.12235"
Q73	Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)	-07°29'13.92651"	-36°08'24.21558"
Q74	À jusante do Açude Epitácio Pessoa	-07°30'18.79123"	-36°03'56.27791"
Q75	Rio Bodocongó-PB	-07°31'40.54900"	-35°59'57.83268"
Q76	Rio Paraíba à jusante do Açude Acauã	-08°16'37.98899"	-35°10'19.66386"

Fonte: MIN, (2015)

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.



O cálculo do IQA (Índice de Qualidade das Águas) foi feito por meio do produtório ponderado dos parâmetros oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO<sub>5,20</sub>, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total segundo as equações 1 e 2. Um número entre 0 e 100; qi = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise); wi = peso correspondente ao i-ésimo

parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

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

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ (Equação 2)}$$

Sendo  $n$  o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA. Os valores do IQA são classificados em faixas, que variam entre os estados brasileiros. Para a avaliação da qualidade de água foi considerada a faixa de IQA utilizada no Estado da Paraíba: 80-100 ótima; 52-79 boa; 37-51 razoável; 20-36 ruim; 0-19 péssima (ANA, 2018a).

O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) foi feito segundo o Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (CETESB, 2007), onde se considera:  $\leq 47$  Ultraoligotrófico;  $47 < IET \leq 52$  Oligotrófico;  $52 < IET \leq 59$  Mesotrófico;  $59 < IET \leq 63$  Eutrófico;  $63 < IET \leq 67$  Supereutrófico;  $> 67$  Hipereutrófico.

#### 4. RESULTADOS

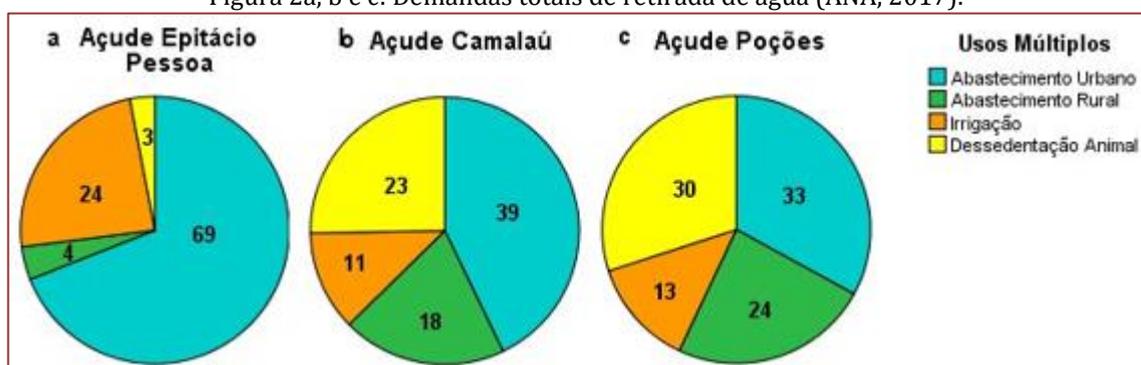
Dentre as obras construídas para amenizar a escassez hídrica no Alto curso do Rio Paraíba, o Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, tem como finalidade perenizar o Rio Paraíba, gerar energia elétrica, jamais efetivada, e um ano após a inauguração, passou a abastecer a cidade de Campina Grande. Ao longo dos anos passou a ter sua água associada a outros usos como irrigação, pesca artesanal, dessedentação de animais, lazer e esportes. Sua bacia hidráulica ocupa um território de 12.410 km<sup>2</sup>, com capacidade de armazenamento de 411,69 m<sup>3</sup> de água. Dentre as demandas totais de retirada desse reservatório, 69% são para abastecimento urbano, 24% para irrigação, 4% para abastecimento rural e 3% para dessedentação animal (Figura 2a) (ANA, 2017).

Com capacidade de 412 Hm<sup>3</sup>; o Açude Camalaú, no município de Camalaú, projetado para irrigação e piscicultura, com capacidade de 46 Hm<sup>3</sup>. Dentre as demandas totais de retirada, 49% são para abastecimento urbano, 23% para dessedentação animal, 18% para abastecimento rural e 11% para irrigação (Figura 2b).

O Açude Poções, localizado em Monteiro e projetado para irrigação e abastecimento, com capacidade de 30 Hm<sup>3</sup>. Dentre as demandas totais de retirada, 33% são para abastecimento urbano, 30% para dessedentação animal, 24% para abastecimento rural e 13% para irrigação (Figura 2c) (ANA, 2017).

#### Localidade

Figura 2a, b e c: Demandas totais de retirada de água (ANA, 2017).



Segundo Xavier et al. (2013), o mês de abril, em geral, apresenta em toda a bacia, as maiores vazões, seguido pelos meses de março e maio. Os meses de menor vazão são setembro, outubro e novembro, refletindo a dinâmica climática regional. Durante o período de estudo a precipitação pluviométrica média registrada no Alto Curso do Rio Paraíba variou entre 188,4 mm e 970,6 mm.

No período de estudo a temperatura média da água variou entre 25,43°C e 28,29°C (Figura 3), temperaturas típicas para a região semiárida. Já a pluviosidade média foi de 598,66 mm, destacando-se o ponto Q76 onde foi observada a maior pluviosidade (Figura 4).

No período de estudo houve uma estiagem prolongada que, juntamente com a elevada evaporação típica da região semiárida, resultou na redução drástica dos volumes dos reservatórios Poções, Camalaú e Epitácio Pessoa, que tiveram redução de 54%, 53% e 91% de suas capacidades totais a partir do ano de 2011 (Figura 5).

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos monitorados nos pontos amostrais localizados no Alto curso do Rio Paraíba entre 2011 a 2017 estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios dos parâmetros físico-químicos monitorados nos pontos amostrais localizados no Alto curso do Rio Paraíba entre 2011 a 2017.

Ponto	Temp. água(°C)	pH	DBO5,20 (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (UNT)	PT (mg.L <sup>-1</sup> )	NT(mg.L <sup>-1</sup> )	CT(NMP.100 mL <sup>-1</sup> )	OD(mg.L <sup>-1</sup> )	STD(mg.L <sup>-1</sup> )
Q68	25,52	8,05	53,33	33,90	0,52	2,30	534,60	6,82	0,46
Q69	27,10	8,30	17,80	64,10	0,55	1,50	531,60	9,13	0,11
Q70	27,25	8,90	21,80	12,80	0,46	1,90	110,30	10,02	0,40
Q71	25,43	8,10	11,00	51,90	0,32	1,10	228,30	10,06	0,12
Q72	27,84	8,70	43,80	335,80	0,14	4,30	1.071,00	8,82	0,13
Q73	25,75	7,90	22,70	2,20	0,19	0,70	202,30	8,34	0,48
Q74	26,89	8,61	80,20	77,70	1,14	2,90	215,00	-	-
Q75	28,29	9,70	51,40	20,10	2,43	1,50	306,00	7,19	5,89
Q76	27,92	9,20	32,90	8,20	0,32	2,00	95,40	9,23	1,78
Média	26,89	8,61	37,21	67,41	0,67	2,02	340,01	69,61	9,37

As linhas tracejadas nas figuras 6 a 12 correspondem ao máximo valor permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios Classe 2.

Figura 3: Variação da temperatura da água período amostral.

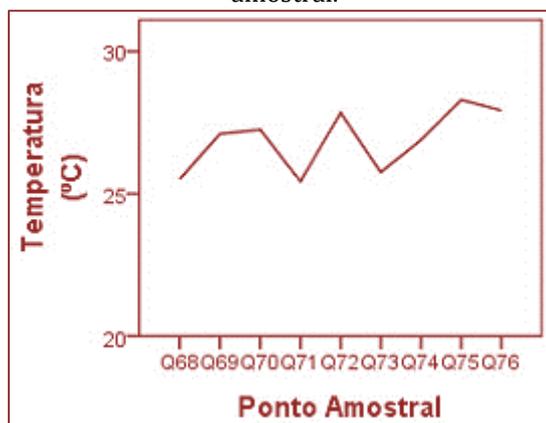


Figura 4: Variação da pluviosidade durante o período amostral.

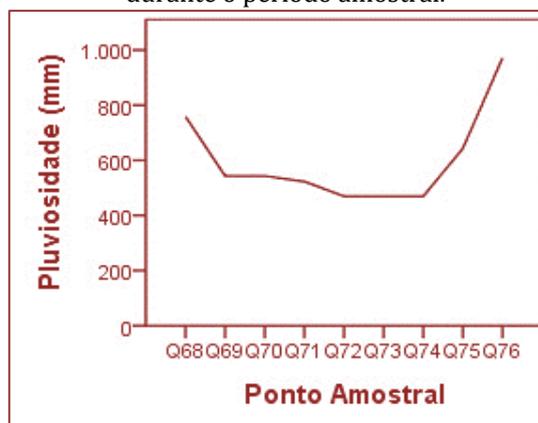
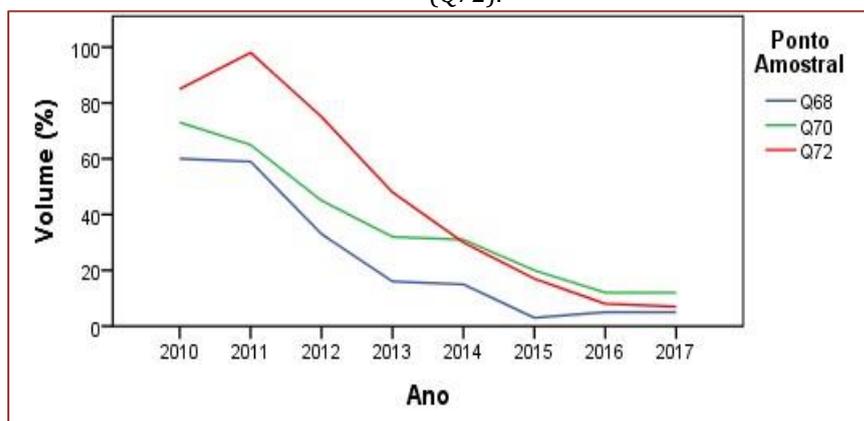
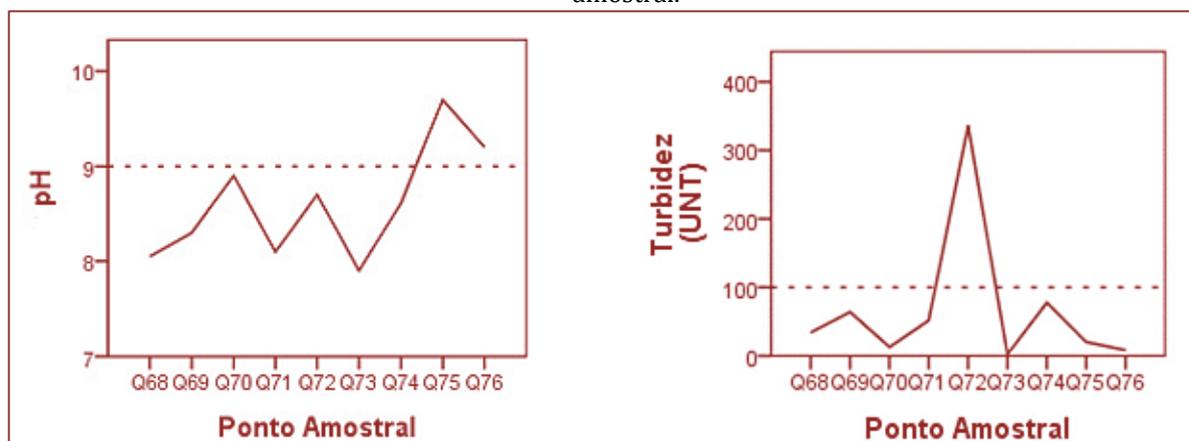


Figura 5: Variação do volume de água nos reservatórios Poções (Q68), Camalaú (Q70) e Epitácio Pessoa (Q72).



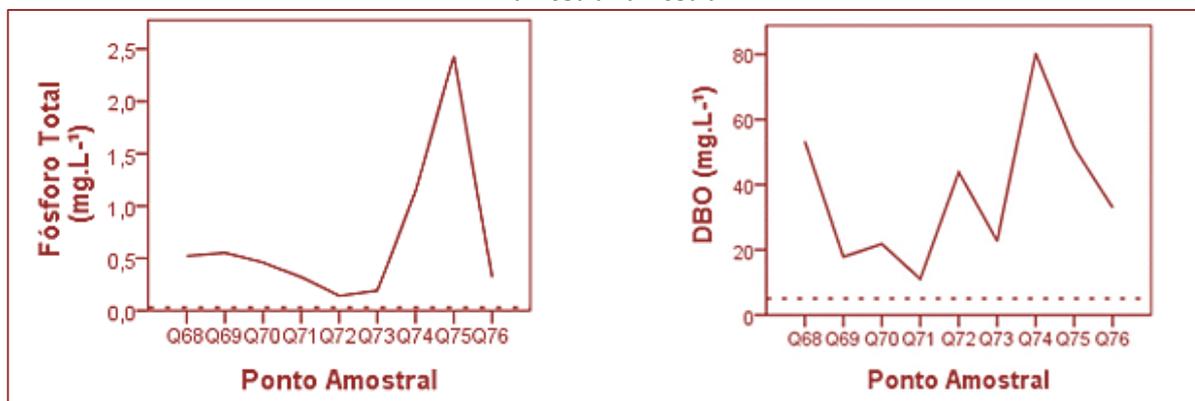
Os pontos Q75 e Q76 apresentaram o pH em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de Classe 2, que é de um pH variando entre 6,0 e 9,0 (Figura 6). Em ambientes aquáticos que apresentam precipitação menor que a evaporação, como ocorre no semiárido paraibano em períodos de seca, é normal que esses ecossistemas apresentem valores de pH superiores a oito (BARBOSA, 2002). Com relação à turbidez, o ponto Q72 também ficou acima dos limites da Legislação vigente (Figura 7). A redução do volume de água do reservatório durante a estiagem prolongada contribuiu para elevação da turbidez.

Figura 6: Variação do pH durante o período amostral. Figura 7: Variação da turbidez durante o período amostral.



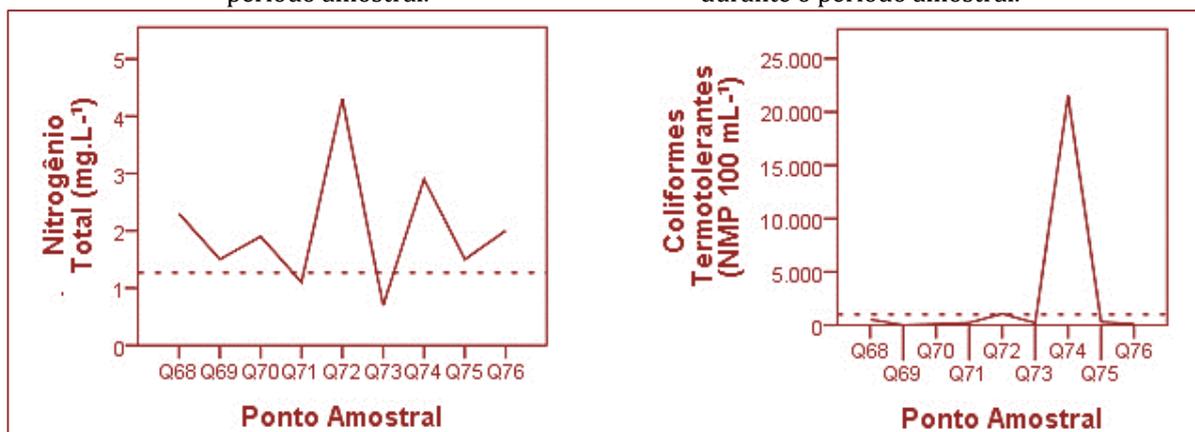
Com relação à DBO e o Fósforo Total (Figuras 8 e 9), todos os pontos apresentaram desconformidade em relação à Legislação, sendo que o ponto Q74 apresentou o maior valor em relação à DBO e o ponto Q75 em relação ao Fósforo Total.

Figura 8: Variação do fósforo total durante o período amostral. Figura 9: Variação da DBO durante o período amostral.



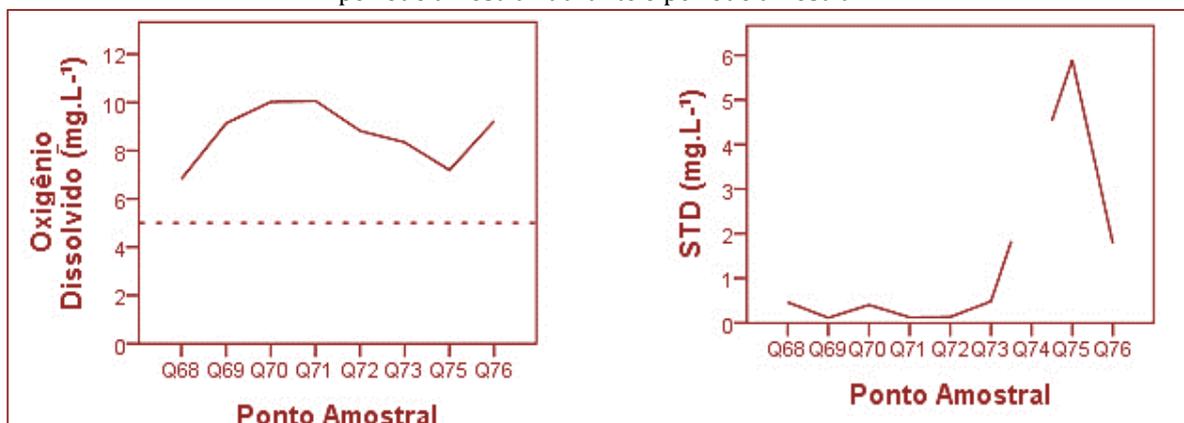
Para o Nitrogênio Total todos pontos apresentaram desconformidade com a Legislação, com exceção dos pontos Q71 e Q73 (Figura 10). Já em relação ao parâmetro coliformes termotolerantes, com exceção do ponto Q74, os demais pontos monitorados estiveram em conformidade (Figura 11).

Figura 10: Variação do nitrogênio total durante o período amostral. Figura 11: Variação dos coliformes termotolerantes durante o período amostral.



Quanto ao oxigênio dissolvido e aos sólidos totais dissolvidos, todos os pontos monitorados atenderam os valores estabelecidos pela Legislação (Figuras 12 e 13, respectivamente).

Figura 12: Variação do oxigênio dissolvido durante o período amostral. Figura 13: Variação dos sólidos totais dissolvidos durante o período amostral.



Segundo Lima et al. (2013), o reservatório Epitácio Pessoa, a exemplo de tantos outros do Nordeste, é submetido a agressões constantes, principalmente, por estar parcialmente localizado em perímetro urbano, o que tem provocado diversos impactos negativos, desrespeitando as leis ambientais brasileiras. Os autores apontaram como fontes de poluição os pontos comerciais, turismo predatório, lançamento de resíduos sólidos e saneamento inadequado dos municípios localizados no seu entorno. Segundo o Portal G1 (2015), no município de São Domingos do Cariri, localizado a 223 Km de João Pessoa, resíduos poluentes e efluentes provenientes de um matadouro e do lixão do município, são despejados no Riacho Gravatá, que desagua no leito do Rio Paraíba e, conseqüentemente, desemboca no açude Epitácio Pessoa, que abastece vários municípios do Agreste paraibano.

No Brasil, há uma crescente preocupação com a qualidade da água distribuída à população humana. A cada revisão do padrão de potabilidade, ao lado dos indicadores mais tradicionais de qualidade higiênica, novos indicadores são introduzidos com a preocupação de levar a um maior aperfeiçoamento do controle e da vigilância da qualidade da água. Desde a Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990, até a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, atualizada em 12 de dezembro de 2011 pela Portaria nº 2914, do Ministério da Saúde, ocorreram mudanças sensíveis no padrão de potabilidade, sendo notável a recomendação da monitoração dos indicadores mais específicos *Escherichia coli* e cianobactérias (FREITAS, 2015).

O IET nos pontos monitorados variou entre ultraoligotrófico (Q72) a hipereutrófico (Q72) e o IQA variou entre razoável (Q70 e Q76) e boa (Q68, Q69 e Q73) durante o período de estudo (Tabela 3).

Tabela 3: IET e IQA calculados para os pontos amostrais durante o período observado.

PONTO	IET MÉDIO	CLASSIFICAÇÃO	IQA	CLASSIFICAÇÃO
Q68	53,30	Mesotrófico	56,85	Boa
Q69	58,70	Mesotrófico	72,10	Boa
Q70	49,83	Oligotrófico	68,40	Razoável
Q71	68,83	Hipereutrófico	-	-
Q72	46,40	Ultraoligotrófico	-	-
Q73	48,00	Oligotrófico	72,10	Boa
Q74	56,70	Mesotrófico	-	-
Q75	58,10	Mesotrófico	-	-
Q76	51,00	Oligotrófico	53,50	Razoável

## 5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica pode ser representada por uma série de parâmetros que são capazes de exporem suas principais características, sendo estas químicas, físicas ou biológicas. Os indicadores que servem como parâmetro de qualidade de água nesse estudo são o fósforo total e o nitrogênio total, os quais quando apresentam valores acima dos permitidos, podem servir como indicadores de águas possivelmente poluídas (Von Sperling, 1998). O aporte de nutrientes constitui-se de um dos maiores problemas em reservatórios artificiais.

As condições climáticas da região semiárida, associadas a fatores como o longo período de estiagem, alto tempo de residência da água e altas taxas de evaporação contribuem para o aumento das concentrações de nutrientes nos reservatórios, favorecendo a eutrofização (OLIVEIRA et al., 2017). O estado eutrofizado dos sistemas aquáticos é consequência das ações antrópicas, especialmente o lançamento de efluentes de esgotos industriais e domésticos sem tratamento, o carreamento de agrotóxicos advindo de áreas agricultáveis, desmatamento da vegetação nativa, erosões, redução da Área de Preservação Permanente (APP), dentre outros (SILVA et al., 2014; MANTZOUKI et al., 2015).

Com base nos resultados obtidos e corroborando com os dados observados em estudo realizado por Silva (2012), foram constatadas altas concentrações de fósforo durante todo período amostral, a autora ainda correlaciona este evento ao favorecimento da ocorrência de cianobactérias nos reservatórios Epitácio Pessoa, Camalaú e Poções. De acordo com Índice de estado trófico (IET) os reservatórios foram classificados variando entre ultraoligotrófico a hipereutrófico, o que gera preocupações em relação a utilização da água, sobretudo para o abastecimento público. Em alguns casos, o próprio ciclo biogeoquímico, a presença e dinâmica de produtores primários, como as macrófitas aquáticas, podem direcionar o estado trófico do sistema para eutrófico (MENDES et al., 2017).

A nascente do Rio Paraíba está localizada no município de Monteiro-PB, onde o lançamento dos efluentes domésticos é lançado diretamente no leito do rio, em locais inapropriados e não existe manutenção das fossas sépticas e rudimentares, contribuindo para degradar a qualidade da água (SILVA et al., 2014). O lançamento de esgoto doméstico caracteriza-se como um problema grave, visto que o Rio Paraíba está contemplado pelo PISF (Eixo Leste), que tem como meta levar água para as regiões mais secas do semiárido. Sendo assim, o rio não pode ter a qualidade da sua água comprometida, pois ele precisa apresentar as condições gerais de qualidade para o consumo e abastecimento humano, enquadrando-se, portanto, nas classes correspondentes da Resolução Conama nº. 357 (BRASIL, 2005), que tem como objetivo a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, de maneira geral.

A disposição inadequada de resíduos sólidos no leito do rio e nas margens dos reservatórios ocasiona poluição e degradação ambiental. O problema da má disposição de resíduos se agrava mais ainda no período de chuva, já que as primeiras enxurradas são capazes de arrastar todo o lixo para o rio (SILVA et al., 2014). Esse tipo de poluente diminui a quantidade de oxigênio da água e, dessa forma, compromete a qualidade desse recurso utilizado por boa parte da população (CASTRO, 2008).

O desmatamento da vegetação nativa na Bacia do Rio Paraíba favorece o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005).

No presente trabalho constatou-se valores de fósforo variando entre 0,14 mg.L<sup>-1</sup> a 2,43 mg.L<sup>-1</sup>, corroborando com os elevados valores constatados por Silva et al. (2014) no leito do Rio Paraíba, com valores entre 0,10 mg.L<sup>-1</sup> a 9,53 mg.L<sup>-1</sup> possivelmente pelo saneamento deficiente dos municípios inseridos na bacia hidrográfica e pelo uso de detergentes.

Atualmente, considerando o início da operação do Eixo Leste do PISF, foram liberadas vazões das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba, estas se deram por meio de resoluções conjuntas entre a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018b; 2018c) e a AESA (2018). Foi autorizada para o estado da Paraíba a vazão total de 4,673 m<sup>3</sup>/s, desta a vazão de 2,79 m<sup>3</sup>/s será destinada ao abastecimento humano, 0,7 m<sup>3</sup>/s para irrigação e 1,18 m<sup>3</sup>/s para outros fins (ANA, 2018 c). Espera-se que com a chegada das águas do rio São Francisco, além do aumento da oferta hídrica na região, garanta a qualidade da água do rio Paraíba.

## 6. CONCLUSÕES OU RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros pH, Fósforo Total, DBO, turbidez, coliformes termotolerantes e Nitrogênio Total apresentaram desconformidade em relação à Resolução CONAMA 357/2005. O IET da água nos pontos monitorados variou entre ultraoligotrófico (Q72) a hipereutrófico (Q72) e o IQA variou entre razoável (Q70 e Q76) e boa (Q68, Q69 e Q73) durante o período estudado. Esses resultados indicam a necessidade de ações que possibilitem a melhoria da qualidade da água e viabilize o uso para suprimento de diversas demandas.

A área do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba necessita de uma gestão adequada dos recursos hídricos disponíveis, visto que o Rio Paraíba está contemplado pelo PISF (Eixo Leste), que tem como meta levar água para as regiões mais secas do semiárido. Neste sentido, recomenda-se continuar o

monitoramento da qualidade de água para avaliar os impactos ambientais no Alto Curso da Bacia do Rio Paraíba, identificar os pontos em desacordo com a legislação e pontos de lançamento de efluente/esgoto a montante dos reservatórios, a fim de definir as medidas mitigadoras. O uso sustentável dos recursos hídricos também é fundamental para garantir a segurança hídrica na bacia e o cumprimento dos objetivos do PISF, bem como a implantação de infraestruturas hidráulicas, isoladas ou combinadas, que sejam necessárias para mitigar a problemática da água no semiárido.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento da pesquisa e a cooperação internacional com a Universidade Técnica de Berlim, por meio do *Projeto interplay coupling of substance cycle in aquatic and terrestrial ecosystems* (INNOVATE).

## REFERÊNCIAS

- [1] AESA. Rio Paraíba. Net. 2018. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-debacias/rio-paraiba/>. Acesso em: 05.10.2018.
- [2] ANA. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA. Net. 2018a. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>. Acesso em: 16.10.2018.
- [3] ANA. Resolução Conjunta ANA e AESA-PB nº 12, de 05 de março de 2018. Dispõe sobre permissão de descarga de água do Açude Epitácio Pessoa para o rio Paraíba a fim de garantir o abastecimento público do sistema proveniente do açude Argemiro Figueiredo. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 05 mar. 2018. Seção 1, p. 1-2, 2018b.
- [4] ANA. Resolução Nº 63, DE 04 de setembro de 2018. 2018 (b). Dispõe sobre o Plano de Gestão Anual – PGA referente ao ano de 2018 para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, no que diz respeito às disposições atinentes à ANA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 04 set. 2018. Seção 1, p. 1-3., 2018c.
- [5] ANA. Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação: Anexo A. Brasília: ANA, 2017. 103p.
- [6] ARAÚJO SEGUNDO NETO, F. V.; VIANN, P. C. G. Análise espacial das obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco - PISF (Eixo Leste) no Estado da Paraíba. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 28, p. 219241, 2016 | doi: 10.12957/geouerj.2016.14536.
- [7] BARBOSA, J. E. L. Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicas nas escalas de tempo (nictimeral/sazonal) no açude Taperoá II. Trópico semi-árido paraibano. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos-SP: Universidade Federal de São Carlos, 2002. 208p.
- [8] CASTRO, D. Poluição doméstica. Ag Solve, 2008. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticia.php?cod=1556>. Acesso em: 10 set. 2013
- [9] CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB, 9. 2007. (Série Relatórios).
- [10] CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; CAMPOS, J. N. B. A Questão da Água no Semiárido Brasileiro. In: Bicudo, C.E. de M; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. (Org.). Águas do Brasil análises estratégicas. 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v. 1, p. 81-91.
- [11] CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; CAMPOS, J. N. B. *A questão da água no Semiárido brasileiro*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/318778262\\_A\\_questao\\_da\\_agua\\_no\\_Semiariado\\_brasileiro](https://www.researchgate.net/publication/318778262_A_questao_da_agua_no_Semiariado_brasileiro). Acessado em: 28.10.2018.
- [12] DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico. São Paulo, Brasil. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-125, 2005.
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Dados Históricos – PCD 32550 – Boqueirão-PB. Net. 2019. Disponível em: <http://sinda.crn.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/passos2.php>. Acesso em: 28.10.2018.
- [14] LACERDA, A. V. A semi-aridez e a gestão em bacias hidrográficas: visões e trilhas de um divisor de ideias. João Pessoa: Autor Associado/UFPB, 2003. 164p.
- [15] LANNA, A. E. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação. Tucci, C. E. M. [Org.]. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002. p. 79-176.

- [16] LIMA, M. G. M.; ARAÚJO, K. T. A.; FARIAS, M. S. S.; OLIVEIRA, H. Fontes de poluição nas margens do Açude Epitácio Pessoa-PB. WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, I, 2013. Anais... Campina Grande,
- [17] MANTZOUKI, E.; VISSER, P. M.; BORMANS, M.; IBELINGS, B. W. Understanding the key ecological traits of cyanobacteria as a basis for their management and control in changing lakes. *Aquatic Ecology*, feb. 2015. DOI: 10.1007/s10452-015-9526-3
- [18] MARINHO, C.F.C.E. Caracterização hídrica e morfométrica do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido), Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, 2011, 67p.
- [19] MENDES, C. F.; BARBOSA, V. V.; NERY, J. F.; FERREIRA, J. F. N.; BARBOSA, J. E. L. O sucesso das cianobactérias nos reservatórios do Semiárido: uma revisão de literatura. Anais... SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXII, 2017. Florianópolis, 26 novembro a 01 de dezembro de 2017.
- [20] MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. 16º Relatório de Execução dos Programas Ambientais do PBA do PISF. Anexos, volume 03, outubro de 2014 a Junho de 2015. Brasília: MI, 2015.
- [21] MIRANDA, L. I. B. de. A Crise Hídrica e a Gestão das Águas Urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, XVII, 2017. Anais... Sessão Temática 4: Meio Ambiente e Políticas Públicas. São Paulo, 22 A 26 de maio de 2017.
- [22] OLIVEIRA, D. A.; VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Dinâmica de nutrientes em reservatório destinado ao abastecimento público, Semiárido brasileiro. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, II, 2017. Anais... Campina Grande, 07 a 09 de junho de 2017.
- [23] PORTAL GI. Poluição em leito de rio que abastece açude na PB preocupa população. Net. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/01/poluicao-em-leito-de-rio-que-abasteceacude-na-pb-preocupa-populacao.html> . Acesso em: 31.03.2019.
- [24] SANTOS, J. A. Caracterização socioeconômica e hídrica nos municípios da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba-PB. Monografia. Programa de Pós-graduação em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido. Campina Grande-PB: UEPB, 2014. 49p.
- [25] SILVA, P. R. N. da. Dinâmica espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica de reservatórios em cascata da Bacia do Alto Rio Paraíba. Trabalho de conclusão de curso. Campina Grande: UFPB, 2012. 48p.
- [26] SILVA, M. B. R.; AZEVEDO, P. V.; ALVES, T. L. B. Análise da degradação ambiental no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. *Bol. Goia. Geogr. (Online)*, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 35-53, jan./abr. 2014. ISSN: 1984-8501.
- [27] SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 452p.
- [28] XAVIER, R. A.; DORNELLA, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB. *Rev. Tamoios, São Gonçalo (RJ)*, ano 08, n. 2, p. 15-28, jul/dez. 2012.

# Capítulo 3

## *Modelagem no tratamento de água: Influência do gradiente de velocidade*

*Ana Carolina de Assis Reis*

*José Roberto Delalibera Finzer*

*Mauro Luiz Begnini*

**Resumo:** O presente trabalho consiste em um estudo da coagulação e floculação usando sulfato de alumínio no tratamento de água. Efetua-se uma modelagem para conceituar gradiente de velocidade. Na etapa da floculação, discute-se sobre coaguladores - floculadores e os gradientes de velocidades. O gradiente de velocidade em estações de tratamento de água, deve situa-se entre  $10 \text{ s}^{-1}$  a  $700 \text{ s}^{-1}$  e constitui-se em um parâmetro de controle. O objetivo deste estudo foi avaliar pH, turbidez e alcalinidade da água floculada, tanto no início como no fim do experimento, e calcular os gradientes de velocidades da coagulação e da floculação em experimento de tratamento de água. Durante o estudo foi realizado ensaios no Jar-Test na Estação de Tratamento de Água na região de Uberaba do Triângulo Mineiro, sendo testadas diferentes dosagens do coagulante. Os resultados deste estudo permitiram concluir qual o pH de operação da água e verificar os valores obtidos de gradientes de velocidade por comparação com padrões da literatura.

**Palavras-chaves:** Coagulação. Floculação. Turbidez. pH. Gradientes de velocidade.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), embora seja indispensável ao organismo humano, a água pode conter determinadas substâncias como elementos químicos e microrganismos, que devem ser eliminados ou reduzidos para concentrações que não sejam prejudiciais à saúde humana. Com isso, areia, argila e microrganismos presentes em forma de partículas suspensas, atribuem turbidez a água enquanto que substâncias húmicas conferem cor.

A coagulação é uma etapa que consiste na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de substâncias húmicas que apresentam carga residual negativa na água. Quando duas partículas coloidais se aproximam, devido ao movimento browniano que as mantém em constante movimento, atua sobre elas forças de atração (Forças de Van der Waals) e forças de repulsão (devido à força eletrostática ou da dupla camada elétrica), impedindo a agregação entre as partículas e a consequente formação de flocos (GEWEHR, 2012).

A escolha correta do coagulante é de fundamental importância no tratamento de água. Os coagulantes podem ser classificados em polieletrólitos ou auxiliares de coagulação e coagulantes metálicos (MAGNAN, 2010), sendo os mais empregados os inorgânicos (sais de alumínio e ferro – sulfato de alumínio, cloreto e sulfato férrico).

Ao adicionar determinados produtos químicos à água, após um período de tempo, ela se torna mais límpida. Os coagulantes são produtos naturais ou químicos usados no tratamento de águas e efluentes, sua função é neutralizar as cargas negativas das partículas em suspensão, possibilitando a aglomeração dessas partículas, formando assim os flocos. Os coagulantes mais comuns são (REIS, 2017):

Sulfato de Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ): obtido pelo ataque do ácido sulfúrico à bauxita pulverizada, pode ser comercializado na forma sólida (em torno de 17% de alumina) ou em solução (em torno de 8% de alumina);

Sulfato Ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ): subproduto de diversos processamentos químicos e da decapagem do aço, usado em águas fortemente alcalinas;

Sulfato Férrico  $Fe_2(SO_4)_3$ ; particularmente indicado para remover cor em pH reduzido;

Cloreto Férrico ( $FeCl_3$  ou  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ): tem uso muito limitado por ser muito corrosivo.

A floculação corresponde à etapa em que são fornecidas as condições para facilitar o contato e a agregação das partículas previamente desestabilizadas pela coagulação, visando à formação de flocos com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração direta. A energia fornecida para a operação de floculação pode ser oriunda de flocladores mecanizados ou hidráulicos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O ensaio usando o Jar-test é um ponto de partida do trabalho, pois deve ser realizado para a verificação da concentração ótima do floclante, alcalinidade, turbidez e pH.

O pH é um fator importante para a etapa de coagulação-floculação. A coagulação com sais de alumínio ou de ferro só se realiza satisfatoriamente a um determinado pH, denominado pH ótimo de coagulação, e em ocorrência de alcalinidade para que aconteçam as reações químicas. A faixa ótima de pH de coagulação pode variar para cada tipo de coagulante utilizado (GEWEHR, 2012).

O gradiente de velocidade e tempo de agitação, tanto da coagulação como da floculação, também influenciam a etapa global de coagulação-floculação. Para melhores eficiências do processo, deve haver uma otimização do gradiente de velocidade e do tempo de operação. Para velocidades e tempos de contato pequenos pode haver a diminuição do tamanho dos flocos formados, dificultando a sedimentação. Para velocidades e tempos de operação muito elevados, após a formação dos flocos, pode haver a quebra parcial desses, resultando em partículas menores e retardando a sedimentação (GEWEHR, 2012).

## 2. COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO

De acordo com (Richter e Azevedo Netto, 2009) coagulação é a alteração físico-química de partículas coloidais dispersas em água, caracterizadas principalmente por cor e turbidez. Os coagulantes reagem em presença de água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva ou precipitados de metal do coagulante usado. Com isso, estas espécies formadas anteriormente se chocam com as impurezas da água, tornando-as desestabilizadas, sendo importante a etapa de mistura rápida, onde há o fornecimento de energia com agitação (BERNARDO E PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010; VIANNA, 1992).

A coagulação se inicia assim que o coagulante é adicionado na água e leva frações de segundos. Consiste basicamente numa série de interações físicas e químicas envolvendo o coagulante, a superfície das partículas e algumas substâncias químicas presentes na água, especialmente as que lhe conferem alcalinidade, e a própria água (VIANNA, 1997).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a floculação deve ser efetuada com agitação relativamente suave, para que ocorram choques entre as partículas e que elas se aglomerem formando partículas maiores, os flocos. A floculação se caracteriza por uma etapa de clarificação, constituída por um conjunto de atividades físicas, nas quais se objetiva reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida, buscando a formação de flocos mais robustos que serão extraídos com mais facilidade posteriormente (LIBÂNIO, 2010).

A floculação consiste em impor um período de agitação lenta a água, procurando maximizar a agregação e minimizar a ruptura dos flocos. As variáveis mais importantes são: concentração de coagulante, pH, número e características das partículas primárias presentes na água, gradiente de velocidade e tempo de agitação (TEIXEIRA, 2003).

### 3. GRADIENTE DE VELOCIDADE

Em agitação e mistura, quando os fatores de forma são temporariamente ignorados e o líquido é newtoniano, a potência  $P$  é uma função das variáveis relevantes (McCABE et al., 2005):

$$P = \Psi(n, D_a, \mu, g, \rho)$$

Ao aplicar análise dimensional resulta:

$$\frac{P}{n^3 D_a^5 \rho} = \Psi\left(\frac{n D_a^2 \rho}{\mu}, \frac{n^2 D_a}{g}\right)$$

O primeiro grupo adimensional é o número de Potência, o segundo é o número de Reynolds e o terceiro o número de Froude. A forma dessa função é obtida experimentalmente ajustando dados experimentais. Esses conceitos são fundamentais para se entender como calculam-se gradientes de velocidade.

Segundo Camp e Stein (1943), os gradientes de velocidades variam consideravelmente no interior de uma câmara de mistura. Na mistura a potência consumida é dada pela Equação (1).

$P =$  tensão de cisalhamento ( $\tau$ )  $\times$  área ( $\Delta X \Delta Z$ )  $\times$  velocidade ( $\Delta V$ )

$$P = \tau \cdot \Delta X \cdot \Delta Z \cdot \Delta v \quad (1)$$

$$P = \tau \cdot \Delta X \cdot \Delta Z \cdot \Delta v \cdot C = \tau \cdot V \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right) \quad (2)$$

Sendo  $\tau$ , aplicado para fluídos newtonianos:

$$\tau = \mu \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right)$$

$$\tau = +\tau = \mu \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right) \quad (3)$$

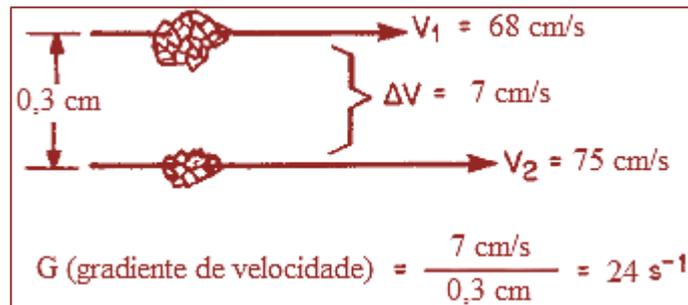
Substituindo:

$$P = \mu \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right) \cdot V \cdot \left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right)$$

Definindo,  $\left(\frac{\Delta v}{\Delta Y}\right) = G$ , sob condições estáveis de trabalho fornecido por unidade de volume na água da câmara e por unidade de tempo, definiu-se o parâmetro gradiente de velocidade, “G” substituindo a Equação (3) na Equação (2) tem-se a Equação (4).

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \quad (4)$$

A figura a seguir ilustra a base desses conceitos (KEMMER, 1988). Nesta ilustração, a diferença de velocidades entre duas porções é de 7 cm/s, então o gradiente de velocidade G é 24 s<sup>-1</sup>. Obviamente, é impraticável medir o fator G desta forma, mas a modelagem mostrada indica que G está relacionado com o fornecimento de taxa de energia por unidade de volume e com a viscosidade da água.



A Equação (5) é utilizada para o cálculo da potência (McCABE, et al., 2005):

$$P = Np \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (5)$$

sendo: Np o número de Potência;  $\rho$  a densidade do fluido; N o número de rotações por segundo; D o diâmetro do impulsor.

Essa modelagem passou a ser adotada como usual no projeto de unidades de floculação e mistura rápida sendo a parte fundamental de uma unidade de tratamento de água. No sistema de tratamento de água são aplicados dois diferentes tipos de agitação: na floculação, cujo objetivo é promover o contato entre as partículas e a agitação para misturar uniformemente os produtos químicos na água que ocorre na etapa de coagulação, operação que requer uma agitação intensa (MWH,2005).

Segundo a NBR 12216 (1992), (norma que define os projetos de tratamento de água para abastecimento), os gradientes de velocidade da coagulação são compreendidos entre 10 s<sup>-1</sup> e 700 s<sup>-1</sup> e da floculação deve estar entre 10s<sup>-1</sup> e 70 s<sup>-1</sup>.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

A primeira ação após a coleta de amostras é a verificação de sua qualidade através das análises iniciais de pH, alcalinidade, turbidez e cor, que servem de parâmetros para posterior comparação e conclusão do ensaio.

A proporção utilizada de coagulante e alcalinizante são de 2:1, respectivamente, conforme se mostra na Tabela 1.

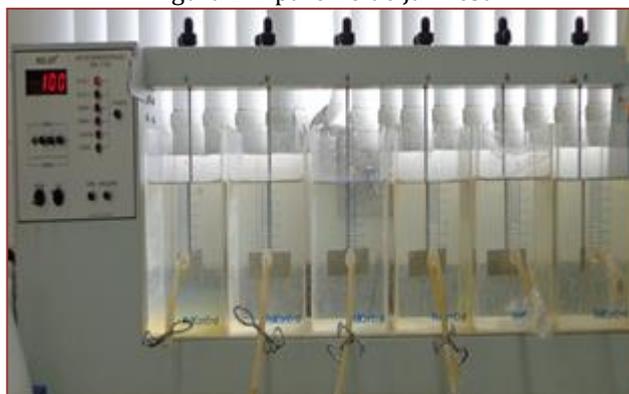
Como cada jarro do *Jar Test* tem capacidade efetiva para volume de 2 L, colocou-se concentrações diferentes de reagentes em cada jarro conforme apresentado na Tabela 1.

Após colocar 2 litros de água em cada jarro do *Jar Test* como mostra a Figura 1, foram adicionados o alcalinizante e o coagulante simultaneamente, submetendo a mistura a uma rotação máxima de 100 rpm durante 60 s, que caracteriza a simulação de mistura rápida da Calha de Parshall (dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas). Em seguida, reduziu-se a rotação para 30 rpm durante um intervalo de 30 minutos, o que se refere a etapa de floculação. Após o intervalo de 15 minutos analisou-se a turbidez e o pH.

Tabela 1: Concentrações de alcalinizante e coagulante em cada jarro do *Jar Test*.

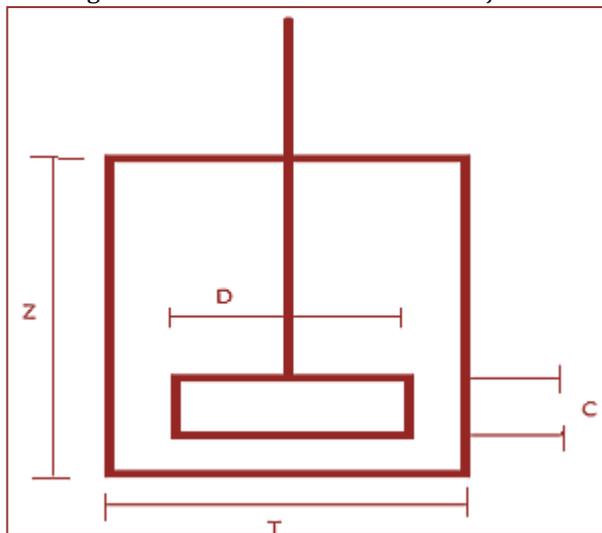
Amostra Alc/Coag.	Concentração de $\text{Ca(OH)}_2$ (mg/L)	Concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)
1	0,03 mL	0,06 mL
2	0,06 mL	0,12 mL
3	0,09 mL	0,18 mL
4	0,13 mL	0,26 mL
5	0,15 mL	0,30 mL
6	0,19 mL	0,38 mL

Figura 1: Aparelho de *Jar Test*



A Figura 2 corresponde à notação da geometria dos jarros de seção transversal quadrada do *Jar-Test* usados neste estudo.

Figura 2: Geometria e dimensões do jarro

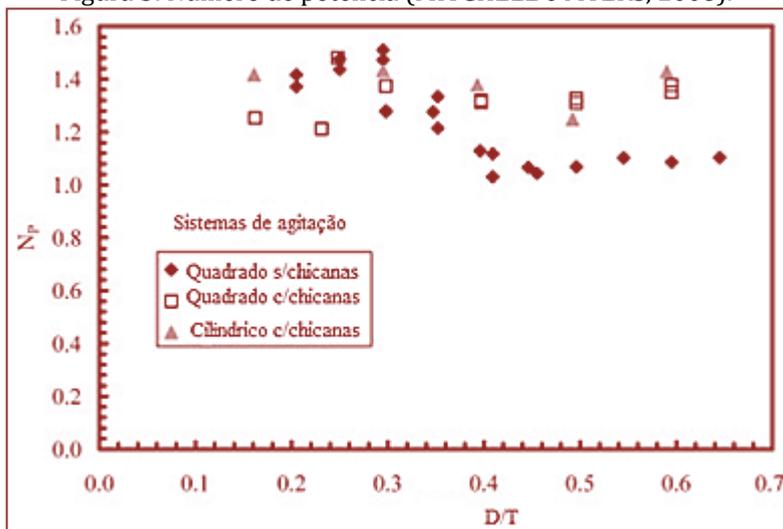


sendo:

$$\left(\frac{C}{T}\right) = \left(\frac{0,5}{2,0}\right) = 0,25 \quad \left(\frac{Z}{T}\right) = 1 \quad \left(\frac{D}{T}\right) = \left(\frac{1}{2}\right) = 0,5$$

No tratamento de água, as temperaturas de operação não apresentam faixa com variação expressiva, portanto a densidade e a viscosidade da água considerados valores médios deixam de ser variáveis relevantes. Isto possibilita que o número de Potência possa ser relacionado com sistemas de geometria conhecida como na Figura 3 (MITCHELL e MYERS, 2008).

Figura 3: Número de potência (MITCHELL e MYERS, 2008).



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de *Jar-test* foi realizado com a água cujos valores dos parâmetros analisados na água bruta estão apresentados na Tabela 2.

Pode-se perceber que a turbidez está muito baixa, o que se explica pela água apresentar-se bem clara, quase incolor. Ao final do experimento a alcalinidade encontrada foi de 12,75 ppm.

Tabela 2: Valores dos parâmetros analisados na água bruta

Alcalinidade (ppm)	pH	Turbidez (NTU)
32,475	7,83	11,4

Pode-se perceber que a turbidez está muito baixa, o que se explica pela água apresentar-se bem clara, quase incolor. Ao final do experimento a alcalinidade encontrada foi de 12,75 ppm.

### 5.1. JAR-TEST

O sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), é obtido por meio da reação química entre o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), o qual é adicionado à água com o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). Quando essas duas substâncias misturam-se na água, ocorre uma transformação química que forma uma substância gelatinosa, o hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Essa transformação química ocorre porque, em meio aquoso, o sulfato de alumínio gera os seguintes íons:



Os íons  $\text{Al}^{3+}$  passam a atuar de duas formas:

A minoria desses cátions neutraliza as cargas negativas das impurezas presentes na água; e a maioria desses cátions interage com os íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) da água, formando o hidróxido de alumínio.



O  $\text{Al}(\text{OH})_3$  formado, se apresenta inicialmente sob forma coloidal, em porções pequenas que se agregam formando os flocos. Há um pH em que melhor se dá essa união e conseqüente melhor floculação que é denominado de “pH ótimo de floculação”, que ocorre em torno de 6,8. Sendo assim dentro das concentrações utilizadas nos testes de *Jar-Test*, observou-se que a melhor faixa para aplicação do coagulante está entre 80 mg/L a 100 mg/L.

### 5.2 TURBIDEZ E pH

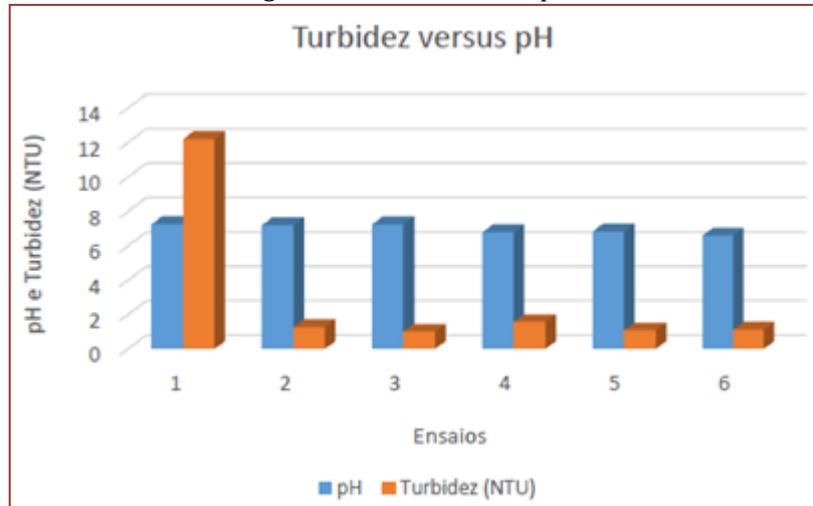
Com base nos procedimentos e análises realizados no laboratório, os valores de turbidez e pH obtidos no *Jar Test* está apresentado na Tabela 3 e na Figura 4.

Ao observar os resultados da turbidez pode-se notar que com exceção da Amostra 1, todas as outras apresentam valores de turbidez adequados, pois são menores que 5 NTU (Nefelometric Turbidity Unit), como mostra a Figura 4. Em relação ao pH todos os valores obtidos apresentam valores perto da faixa de neutralidade, sendo as amostras 4 e 5 como mostra a Figura 4, as que mostram resultados mais eficientes devido estar na faixa do pH indicado como “ótimo” para o uso de sulfato de alumínio.

Tabela 3: Valores de turbidez e pH obtidos no *Jar Test*

Amostra	Turbidez (NTU)	pH
1	12,2	7,26
2	1,27	7,20
3	1,01	7,25
4	1,57	6,80
5	1,08	6,84
6	1,11	6,60

Figura 4: Turbidez versus pH



A Figura 3, fornece o número de Potência utilizado para quantificar o valor da potência dissipada pela Equação (5) e o gradiente de velocidade pela Equação (4), obtendo-se:  $67s^{-1}$  na coagulação e de  $7s^{-1}$  na floculação.

Assim observa-se que o gradiente de velocidade calculado na coagulação apesar de baixo está dentro dos padrões da literatura, que é entre  $10s^{-1}$  a  $700s^{-1}$ . Já o da floculação ficou pouco abaixo do padrão, sendo o mínimo de  $10s^{-1}$  e máximo de  $70s^{-1}$ . Contudo, para baixa turbidez o grau de intensidade é menor, e são mais difíceis de flocular que em águas de turbidez mediana a elevada (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2009).

## 6. CONCLUSÃO

Nas concentrações de sulfato de alumínio que foram empregadas nos experimentos, ocorreu a remoção da turbidez, situando-se dentro do padrão de potabilidade que é de  $< 5$  NTU. Os melhores resultados de pH foram com as amostras 4 e 5, com concentrações de coagulante entre  $80$  mg/L e  $100$  mg/L, respectivamente. Considerando que o “pH ótimo” tecnicamente se obteve na Amostra 4 no valor de  $6,8$ . Comparando o gradiente de velocidade da coagulação obtido com os padrões da literatura que variam de  $10s^{-1}$  a  $700s^{-1}$ , tem-se um resultado de  $67s^{-1}$ , que apesar de ser baixo para uma mistura rápida está dentro dos padrões estabelecidos. O gradiente de velocidade da floculação está abaixo da faixa padronizada, mas próximo do valor mínimo que é de  $10s^{-1}$  a  $70s^{-1}$ . Contudo, para baixa turbidez o grau de intensidade é menor, sendo mais difícil de flocular que em águas de turbidez mediana a elevada. O trabalho indica como calcular gradientes de concentração em sistemas e tratamento de água, o que se constitui em um parâmetro de controle.

## 7. NOMENCLATURA

G: é o gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ );

P: é a potência útil introduzida no sistema (W; N m/s);

V: é o volume útil ( $m^3$ );

$\mu$ : é a viscosidade absoluta do fluido (N.s/ $m^2$ ; Pa.s).

C: medida a partir do vaso, base para o ponto mais baixo do impulsor, m;

D: diâmetro, m;

T: diâmetro do tanque, m;

Z: altura do vaso, m.

P: potência, W;

Np: número de Potência;

$\rho$ : densidade da água, kg/m<sup>3</sup>

N: número de rotações por segundo, rps;

D: diâmetro do rotor do vaso do *Jar-Test*, m.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Uberaba – UNIUBE, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado ao desenvolvimento deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- [1] BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. Seleção de tecnologias de tratamento de água. São Carlos: LDIBe, 2010. 868 p.
- [2] CAMP, T. R., STEIN, P. C., Velocity Gradients and Internal Work in Fluid Motion. Journal of the Boston Society Of Civil Engineers, v. 30, n. 4, p. 219-237, Oct, 1943.
- [3] DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: RIMA, 2ª ed., 1565 p, 2005.
- [4] GEWEHR, A. G. Tratamento por coagulação-floculação de lixiviado bruto de aterro sanitário com e sem pré-tratamento biológico em reator sequencial em batelada. Processamento de Urucum em Leito de Jorro - Estudos Fluidodinâmicos. PPGRH. Porto Alegre - RS, 163 p. (dissertação de mestrado), 2012.
- [5] KEMMER, F. N. The NALCO water handbook. 2. ed. McGraw-Hill Book Company. 1071 p. 1988
- [6] LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3ª Edição. Campinas: Editora Átomo, 444 p, 2010.
- [7] McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. Unit operations of chemical engineering. 7. ed. Boston: McGraw Hill, 2005. 1168 p
- [8] MAGNAN, R. B. – “Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola” - Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental - Universidade de Passo Fundo – Passo Fundo, RS, 2010.
- [9] MITCHELL, E. T.; MYERS, K. J. “Solids suspension agitation in square tanks”: The Canadian Journal of chemical engineering. v 86. February 2008.
- [10] MWH. Water Treatment Principles and Design. 2ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [11] NBR 12216/92. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro – RJ. 1992. 18 p.
- [12] REIS, A. C. A. Tratamento de água: gradiente de velocidade na coagulação – floculação. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química - Universidade de Uberaba – Uberaba, MG, 2017. 42 p.
- [13] RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. (1991), Tratamento de água: tecnologia atualizada, Edgard Blücher., São Paulo.
- [14] TEIXEIRA, P. C. Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas – SP. (dissertação de mestrado), 2003.
- [15] VIANNA, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, p. 344, 1992.
- [16] VIANNA, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 3ª ed. São Paulo: Imprimatur Artes Ltda 1997. Lv.

# Capítulo 4

## *Aplicações de machine learning para previsão de dados de níveis de água subterrânea: Uma revisão*

*Thiago Boeno Patricio Luiz*

**Resumo:** Nas últimas décadas, houve um desenvolvimento muito significativo da inteligência artificial, principalmente no contexto da aplicação de técnicas de aprendizagem de máquinas (machine learning techniques). Basicamente, metodologias estruturadas em aprendizagem de máquinas utilizam algoritmos que podem reconhecer padrões nos dados monitorados e utilizar esses padrões para fazer previsões. Na área da hidrologia subterrânea, essa abordagem tem sido muito utilizada para fazer previsões de dados de níveis piezométricos em bacias hidrográficas, de forma a propor métodos para a obtenção de cenários no âmbito dos recursos hídricos. A informação dos níveis das águas subterrâneas é um dos principais indicadores para estimar a sua quantidade, sendo uma informação muito útil para tomadas de decisão nos processos de gestão hídrica. Assim, a partir de dados históricos, é possível aplicar técnicas de machine learning nos dados monitorados para simular o comportamento dos níveis de água subterrânea em diferentes instantes de tempo. Modelos hidrológicos auxiliados por estes tipos de técnicas têm aumentado cada vez mais nos últimos anos e apresentado ótimos resultados na implementação de problemas práticos. Este artigo analisa o estado da arte da aplicação destas abordagens e concentra-se em uma ampla gama de aplicações de machine learning no campo da hidrologia subterrânea. Assim, esta revisão procura fornecer insights a partir da apresentação de vários exemplos de aplicações bem sucedidas para modelagem de processos hidrológicos com foco em águas subterrâneas.

**Palavras Chave:** recursos hídricos; hidrologia subterrânea; níveis freáticos; aprendizagem de máquinas.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Heath (1983), a hidrologia subterrânea é uma subdivisão da ciência hidrológica, a qual trata da ocorrência do movimento e da quantidade da água sob a superfície da terra. A água subterrânea existente nos continentes tem sua origem no ciclo hidrológico, que é o sistema pelo qual a natureza faz a água circular entre a litosfera e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 2012). As águas subterrâneas constituem cerca de 30% da água doce disponível no mundo (KARAMOUZ et al., 2013), sendo um recurso fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades.

Mananciais de águas subterrâneas são importantes fontes de abastecimento em várias cidades do globo. No Brasil, muitos municípios utilizam águas subterrâneas para garantir o fornecimento de água doce para a população. De acordo com dados da Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2010), cerca de 2073 municípios brasileiros utilizam águas subterrâneas para o abastecimento público, os quais estão distribuídos por diferentes domínios geológicos do território nacional.

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos é um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável, tendo em vista a crescente demanda do uso de água para abastecimento. O controle e o monitoramento desses recursos minerais são assuntos primordiais para os órgãos públicos responsáveis por assegurar o correto uso da água entre a sociedade. As flutuações dos níveis da água subterrânea podem ser utilizadas para avaliar a estabilidade e o fluxo bem como conhecer as características dos aquíferos (WANG et al., 2018).

Para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos, é fundamental o monitoramento das condições hidráulicas dos mananciais ao longo do tempo. A disponibilidade de informações subsidia o suporte para as atividades que envolvem a quantificação das condições hidrológicas. Nesse aspecto, métodos de *machine learning* podem ser empregados e muitas aplicações têm demonstrado serem superiores a técnicas estocásticas mais tradicionais (SHIRI et al., 2013; LUIZ et al., 2018b).

A simulação e a predição dos níveis freáticos de água em aquíferos, com bom grau de confiança, podem trazer grandes vantagens para a elaboração de cenários que sejam capazes de fornecer informações relevantes para a gestão da água. Esse tipo de abordagem pode contribuir nos processos de tomadas de decisão, podendo evitar possíveis problemas ocasionados por uma superexploração de aquíferos.

A produção de conhecimento científico no campo da hidrologia subterrânea a partir da implementação de algoritmos de aprendizagem tem evoluído, em grande medida, devido às novas tecnologias computacionais de *hardware*, à popularização das linguagens de programação e o desenvolvimento de métodos baseados em aprendizagem para o reconhecimento de padrões e previsão de dados. Com o intuito de contribuir para um conhecimento mais amplo nessa temática, este estudo faz uma síntese dos principais casos de aplicação de sistemas inteligentes dos últimos 20 anos, tendo como premissa a utilização de algoritmos de aprendizagem.

## 2. METODOLOGIA ADOTADA E BREVE CONSIDERAÇÕES SOBRE *MACHINE LEARNING*

Foi adotada como metodologia uma revisão cronológica e sistemática de estudos de caso da literatura científica internacional dos últimos 20 anos, privilegiando como fontes artigos técnicos publicados em revistas tradicionais de recursos hídricos de alto impacto. Estes estudos de caso são, essencialmente, baseados em conhecimentos anteriores dos campos de estudos das Ciências Ambientais, Ciências Agrárias, Ciências da Computação, Geociências, Engenharias, entre outras.

Os primeiros paradigmas relacionados ao aprendizado de máquinas começaram a surgir na década de 1960, após o aparecimento da primeira geração de computadores capazes de conduzir análise de dados e resolução de problemas de regressão. Inicialmente, os pesquisadores buscavam desenvolver metodologias suporte para o campo da inteligência artificial, onde o foco era fazer máquinas aprenderem a partir de dados e tomarem decisões baseadas em lógica.

A concepção de tentar imitar as capacidades cognitivas de seres humanos em máquinas teve seu primeiro esboço no trabalho de McCulloch e Pitts (1943). A ideia inicial partia de uma analogia ao sistema nervoso de um animal, o qual pode aprender a partir de dados perceptivos gerados pelos sentidos. Esse arranjo preliminar do sistema de aprendizagem culminou com o desenvolvimento de técnicas baseadas em redes neurais, gerando as bases para estudos mais complexos e consequente evolução do campo de estudo em inteligência artificial. Em meados da década de 1980, o *machine learning* emergia como uma subárea da

ciência da computação, onde diferentes tipos de métodos foram sugeridos e seus resultados e técnicas desenvolvidas em termos estatísticos mais tradicionais (VAPNIK, 1998).

Dessa forma, a aprendizagem de máquinas (*machine learning*) e a aprendizagem estatística (*statistical learning*) evoluíram do estudo de reconhecimento de padrões e da teoria de aprendizagem computacional (VAPNIK, 1995; 1998). A eficiência da utilização de modelos baseados em algoritmos computacionais, vem sendo verificadas em uma variedade de campos da hidrologia, principalmente para a previsão de processos hidrológicos, como o escoamento das chuvas, vazão, precipitação e modelagem da qualidade da água (HIPEL; MCLLOUD, 1994).

A grande vantagem que a modelagem via aprendizagem de máquinas proporciona é sua capacidade de adaptação frente à diferentes situações ambientais e dados disponíveis. Do ponto de vista hidrológico, isso é uma grande vantagem tendo em vista a complexidade de fenômenos que possam vir a interferir nos dados de monitoramento em bacias hidrográficas. Outro fator importante de se ressaltar advém do fato de que esse tipo de abordagem não requer, *a priori*, de uma caracterização explícita do sistema físico ou de dados físicos relacionados. Métodos de *machine learning* basicamente reconhecem padrões em dados históricos e aplicam esses padrões para prever cenários futuros (SAHOO et al., 2017).

Modelos baseados em aprendizagem de máquinas são empíricos, ou seja, são baseados nos dados observados, obedecendo a uma determinada formulação estabelecida como resposta ao problema de regressão. Neste tipo de abordagem, a técnica utiliza os *inputs* amostrais para generalizar uma saída, a qual representa uma decisão que foi guiada pelos dados, ao invés de seguir instruções pré-programadas. Assim, o *machine learning* é usado para “ensinar” às máquinas como manipular os dados com mais eficiência, interpretar padrões e extrair informações de conjuntos de dados (DEY, 2016). Na literatura, frequentemente utiliza-se a expressão “técnicas guiadas por dados” (*data-driven techniques*).

Para alcançar o sucesso neste tipo abordagem, é necessária uma combinação entre a estruturação do algoritmo bem como escolha adequada do método de aprendizagem. A estrutura utilizada (*framework*) é uma abstração que deve levar em consideração o conjunto de dados, o sistema físico e o nível de precisão desejada. A escolha de determinado método de aprendizagem apresentará, invariavelmente, vantagens e desvantagens das quais é preciso avaliar antes da utilização (MAGLOGIANNIS et al., 2007).

Dentre os algoritmos mais populares na área da hidrologia, pode-se citar as Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Network*), Máquinas de Vetores de Suporte (*Support Vector Machines*), Redes Bayesianas (*Bayesian Networks*), Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms*), Florestas Aleatórias (*Random Forests*), *Boosting* e *Bagging* de gradientes, entre outros. Variações desses algoritmos também podem ser encontrados a partir da utilização de diferentes formas de otimização computacional e técnicas de ajuste.

### 3. ESTUDOS DE CASO E O ESTADO DA ARTE

Com o desenvolvimento das tecnologias de *hardware* e a popularização das linguagens de programação, muitos estudos na área da hidrologia subterrânea têm se baseado em algoritmos de aprendizagem. Essas técnicas têm produzido resultados relevantes no que concerne à simulação de séries temporais hidrológicas subterrâneas. A incorporação de elementos de aprendizagem computacional para a previsão de dados piezométricos em diferentes contextos geológicos e com diferentes séries de dados vem demonstrando um grande potencial de aplicação. Dessa forma, a maioria das pesquisas que utiliza algoritmos de aprendizagem de máquinas na área da hidrologia são baseadas em estudos de caso.

A seguir, no Quadro 1, apresenta-se um resumo de informações sobre os principais trabalhos relacionados presentes na literatura científica, em ordem cronológica, que envolvem a simulação e a previsão de níveis de água subterrânea em diferentes contextos. Na compilação, foram sistematizadas as principais técnicas empregadas, o país de origem da pesquisa, as características geológicas bem como a seleção dos *inputs* amostrais, os quais refletem parte da estrutura de modelamento que foram utilizadas.

Quadro 1 – Compilação dos estudos de caso que utilizaram modelos baseados em *machine learning* para simulação de níveis de água subterrânea.

	Autores	Técnica	País	Geologia	Variáveis utilizadas
1	Coulibaly et al. (2001)	RNA	Grécia	Sedimentar	Nível + Precipitação
2	Coppola et al. (2003)	RNA	Estados Unidos da América	Calcário e sedimentos de argila	Nível + Precipitação + bombeamento + Temperatura + Ponto de orvalho + Velocidade do vento
3	Coppola et al. (2005)	RNA	Estados Unidos da América	Glacial; areia; cascalho	Nível + Precipitação + Bombeamento + Temperatura
4	Daliakopoulos et al. (2005)	RNA	Grécia	Aluvial	Nível + Precipitação + Temperatura + Vazão
5	Nayak et al. (2006)	RNA	Índia	Costeira	Nível + Precipitação + Vazão
6	Uddameri (2007)	RNA	Estados Unidos da América	Costeira	Nível + Precipitação + Temperatura
7	Krishna et al. (2008)	RNA	Índia	Costeira	Nível + Precipitação + Temperatura + Evapotranspiração
8	Banerjee et al. (2009)	RNA	Índia	Granítico	Nível + Precipitação + Bombeamento
9	Mohanty et al. (2010)	RNA	Índia	Sedimentar	Nível + Precipitação + Evapotranspiração
10	Yoon et al. (2011)	RNA e MVS	Coréia do Sul	Costeira	Nível + Precipitação + Nível de maré
11	Shirmohammadi et al. (2012)	ANFIS; Estocástico; Híbrido	Irã	Sedimentar	Nível + Precipitação
12	Taormina et al. (2012)	RNA	Itália	Costeira	Nível + Precipitação
13	Shiri et al. (2013)	RNA; MVS; ANFIS; GEP; ARMA	Coréia do Sul	-----	Nível + Precipitação + Evapotranspiração
14	Maiti e Tiwari (2013)	RNA; RNB; ANFIS	Índia	Granítico	Nível + Precipitação
15	Moosavi et al. (2013)	Wavelet-ANFIS Hybrid Mode	Irã	Sedimentar	Nível + Precipitação + Temperatura + Evaporação + Descarga
16	Djurovic et al. (2015)	RNA; ANFIS	Sérvia	Aluvial	Nível + Precipitação + Temperatura + Evapotranspiração
17	Gong et al. (2016)	RNA; MVS; ANFIS	Estados Unidos da América	-----	Nível + Precipitação + Temperatura + Nível do lago
18	Sahoo et al. (2017)	RNA,	Estados Unidos da América	Aluvial	Nível + Precipitação + Temperatura + Vazão + Irrigação

(Continuação)

Quadro 1 – Compilação dos estudos de caso que utilizaram modelos baseados em *machine learning* para simulação de níveis de água subterrânea.

	Autores	Técnica	País	Geologia	Variáveis utilizadas
19	Amaranto et al. (2018)	RNA; MVS; FA; ELM; GEP	Estados Unidos da América	Aluvial	Nível + Precipitação + Demanda + Neve + Evapotranspiração
20	Gong et al. (2018)	RNA; MVS; ANFIS; Híbrido	Estados Unidos da América	Costeira	Nível + Precipitação + Temp + Nível de lago
21	Guzman et al. (2018)	NARX Networks; MVS	Estados Unidos da América	-----	Nível + Precipitação
22	Kenda et al. (2018)	Árvores de regressão, Florestas Aleatórias e Gradient Boosting	Eslovênia e Grécia	-----	Precipitação + Temp + Neve + Incidência solar
23	Lee et al. (2018)	RNA	Coréia do Sul	Aluvial	Nível + Nível dos RH
24	Luiz et al. (2018a)	MVS	Brasil	Sedimentar	Nível + Precipitação
25	Luiz et al. (2018b)	RNA; MVS; ARMA	Brasil	Sedimentar	Nível + Precipitação
26	Wang et al. (2018)	Florestas Aleatórias; (ensemble)	China	Aluvial; Sedimentar	Nível + Precipitação + Temperatura
27	Amaranto et al. (2019)	RNA espaço-temporal	Estados Unidos da América	Sedimentar	Nível + Precipitação + Demanda + Evapotranspiração
28	Natarajan e Sudheer (2019)	RNA; MVS; GEP; ELM	Índia	Costeiro	Nível + Precipitação
29	Zhao et al. (2019)	Híbrido; MVS	China	Sedimentar	Nível + Precipitação + Temp + Evaporação + Degelo + Drenagem
30	Sadat-Noori et al. (2020)	GEP	Irã	Sedimentar	Nível + Precipitação
31	Shiri et al. (2020)	Gradient Boosting; Florestas Aleatórias; MARS; RNA; GEP; MVS	Coréia do Sul	Costeiro	Nível + Precipitação + Maré

Abreviações: Rede Neural Artificial (RNA); Máquina de Vetor de Suporte (MVS); *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS); *Gene Expression Programming* (GEP); Rede Neural Bayesiana (RNB); Autorregressivo e de Médias Móveis (ARMA), *Extreme Learning Machine* (ELM), *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS).

Fonte: Organizado pelo autor, (2020).

Como é visível no Quadro 1, a pesquisa em torno dessa temática se concentrou principalmente na elaboração de modelos com redes neurais, tendo em vista o rápido crescimento e difusão dessa técnica. Coulibaly et al. (2001) testaram 3 tipos de estruturas autorregressivas de redes neurais para simular dados mensais de níveis de água subterrânea numa região semi-árida no oeste africano, demonstrando a boa performance dessa metodologia para previsões até 3 meses à frente.

Daliakopoulos et al. (2005), apresentaram um interessante estudo de caso localizado na ilha de Creta (Grécia), numa região onde os recursos hídricos subterrâneos eram super explorados pela atividade da agricultura, o que gerou, ao longo do tempo, um rebaixamento dos níveis de água subterrânea. A partir de

dados mensais médios dos níveis freáticos, precipitação, temperatura e vazão do principal rio da bacia, os autores estabeleceram um modelo sistêmico, com entradas e saídas, baseado em RNA's o qual realizou previsões das oscilações dos níveis freáticos em até 18 meses à frente.

Os autores como Coppola et al. (2003; 2005), Daliakopoulos et al. (2005), Nayak et al. (2006), Uddameri et al. (2007), Krishna et al. (2008), Banerjee et al. (2009), Mohanty et al. (2010) apresentam as tecnologias baseadas em RNA como alternativa aos modelos físicos de modelagem para simulação e análise de variáveis em águas subterrâneas, mesmo em ambientes com grande variabilidade natural e complexidade dos fluxos de superfície. Estes estudos de caso expõem com muita clareza as vantagens adaptativas das RNA's como método de previsão em diferentes contextos geológicos e utilizando diferentes estruturas autoregressivas e *inputs* amostrais.

Yoon et al. (2011), apresentaram a comparação entre dois modelos não lineares para previsão de níveis de água subterrânea baseados em técnicas de Redes Neurais Artificiais e Máquinas de Vetores de Suporte. Este trabalho teve particular importância para o estudo da água subterrânea usando algoritmos computacionais, pois demonstrou que em alguns casos os modelos de redes neurais podem atingir elevados graus de incerteza. Como principais contribuições, os autores discutiram sobre a importância do processo de construção das estruturas dos modelos, os quais tendem a ser variáveis de acordo com os dados.

Com o desenvolvimento da teoria de aprendizagem computacional e o surgimento de novas técnicas de *machine learning*, outros importantes trabalhos focados em comparação de métodos de aprendizagem surgiram como em Maiti e Tiwari, (2013), Djurovic et al. (2015), Gong et al. (2016), Sahoo et al. (2017), Guzman et al. (2018), Kenda et al. (2018), Amaranto et al., (2018), Natarajan e Sudheer, (2019), Shiri et al. (2020). Dentre as principais metodologias utilizadas, destacam-se as baseadas em RNA's, Redes Adaptativas Neuro-Fuzzy (ANFIS), vetores de suporte, programação de expressão genética (*Gene Expression Programming*), entre outras.

Kenda et al. (2018) apresentam um interessante estudo utilizando técnicas computacionais menos convencionais para a previsão de dados de níveis de água subterrânea. Os autores se basearam em algoritmos de árvores de regressão (*Regression Trees*), Florestas Aleatórias (*Random Forests*) e *Gradient Boosting*. O trabalho de Wang et al. (2018) propôs um algoritmo para previsão de dados de níveis de águas subterrâneas utilizando uma combinação (*ensemble*) de técnicas baseadas Florestas Aleatórias, obtendo bons resultados com essa abordagem.

Os resultados da pesquisa de Shiri et al. (2020), a partir da utilização de seis técnicas de *machine learning* diferentes em dois poços de monitoramento, demonstraram bons resultados para modelos autorregressivos (séries de níveis + precipitação + efeito das marés), embora modelos precisos pudessem ser obtidos usando apenas as séries temporais de marés e de chuvas (modelos regressivos). Os autores concluíram que o modelo baseado em *Gene Expression Programming*, em geral, forneceu as melhores estimativas e estando muito próximas em termos de precisão de modelos baseados em *Boosting*, Florestas Aleatórias e MARS (*Multivariate Adaptive Regression Spline*).

Para a previsão de níveis de água subterrânea, utilizando metodologias estocásticas da família ARMA (Autorregressivas de Média Móvel) e metodologias de aprendizado de máquinas, destacam-se trabalhos de Shiri et al. (2013) e Luiz et al. (2018b). Shiri et al. (2013) testaram as técnicas de aprendizagem RNA, MVS, ANFIS e GEP em dados semanais, enquanto que Luiz et al. (2018b) utilizaram RNA e MVS em dados horários e diários. Ambos trabalhos de comparação indicaram superioridade das metodologias baseadas em *machine learning* frente às estocásticas para a previsão dos níveis de água subterrânea.

Outra abordagem que tem sido bastante utilizada para o estudo dos níveis de água subterrânea são os modelos híbridos, os quais são compostos por uma combinação de métodos estatísticos mais tradicionais e computacionais ou entre diferentes métodos computacionais. Destacam-se os trabalhos de Shirmohammadi et al. (2012), Moosavi et al. (2013) e Gong et al. (2018), Zhao et al. (2019) que demonstraram obter melhoria no desempenho de suas previsões a partir de abordagens combinadas entre diferentes técnicas.

Destaca-se aqui o trabalho desenvolvido por Amaranto et al. (2019), o qual aplica uma abordagem espaço-temporal baseada em estruturas autorregressivas com redes neurais para melhorar previsões semi-sazonais de níveis de água subterrânea. Em geral, a maioria dos estudos de caso aqui expostos, utilizam-se de estruturas baseadas autorregressão, ou seja, utilizam as próprias séries de níveis em outras defasagens para melhorar os ajustes de dados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos trabalhos buscam a previsão mais precisa para seus dados, ou alguma que seja universalmente melhor para encontrar soluções aproximadas ao seu problema de regressão. Contudo, essas metodologias dependem da qualidade e da quantidade dos dados fornecidos aos modelos bem como da estrutura de programação adotada. Essas estruturas podem variar de acordo com os dados utilizados e a relação existente entre esses dados.

Diante dessas constatações, da gama de técnicas preditivas atualmente disponíveis e dos modelos que podem ser construídos para melhorar as previsões, é possível afirmar que a utilização de *machine learning* na hidrologia subterrânea necessita de contínuos testes e inovações, tendo em vista que cada caso de previsão é indiscutivelmente único e importante para a ciência hidrológica.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AMARANTO, A.; MUNOZ-ARRIOLA, F.; CORZO, G.; SOLOMATINE, D. P.; MEYER, G. Semi-seasonal groundwater forecast using multiple data-driven models in an irrigated cropland. *Journal of Hydroinformatics*, v. 20, n. 6, p. 1227-1246, 2018.
- [2] AMARANTO, A.; MUNOZ-ARRIOLA, F.; SOLOMATINE, D. P.; CORZO, G. A spatially enhanced data-driven multimodel to improve semiseasonal groundwater forecasts in the High Plains aquifer, USA. *Water Resources Research*, v. 55, n. 7, p. 5941-5961, 2019.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água - Vol. 1 panorama nacional. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>>. Acesso em: 26 janeiro 2020.
- [4] BANERJEE, P.; PRASAD, R. K.; SINGH, V. S. Forecasting of groundwater level in hard rock region using artificial neural network. *Environmental Geology*, v. 58, n. 6, p. 1239-1246, 2009.
- [5] COPPOLA JR, E. A.; SZIDAROVSKY, F.; POULTON, M.; CHARLES, E. Artificial neural network approach for predicting transient water levels in a multilayered groundwater system under variable state, pumping, and climate conditions. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 8, n. 6, p. 348-360, 2003.
- [6] COPPOLA JR, E. A.; RANA, A. J.; POULTON, M. M.; SZIDAROVSKY, F.; UHL, V. W. A neural network model for predicting aquifer water level elevations. *Groundwater*, v. 43, n. 2, p. 231-241, 2005.
- [7] COULIBALY, P.; ANCTIL, F.; ARAVENA, R.; BOBÉE, B. Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. *Water resources research*, v. 37, n. 4, p. 885-896, 2001.
- [8] DALIAKOPOULOS, I. N.; COULIBALY, P.; TSANIS, I. K. Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, v. 309, p. 229-240, 2005.
- [9] DEY, A. Machine learning algorithms: a review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, v. 7, n. 3, p. 1174-1179, 2016.
- [10] DJUROVIC, N.; DOMAZET, M.; STRICEVIC, R.; POCUCA, V.; SPALEVIC, V.; PIVIC, R.; GREGORIC, E. DOMAZET, U. Comparison of groundwater level models based on artificial neural networks and ANFIS. *The Scientific World Journal*, v. 15, p. 1-13, 2015.
- [11] GONG, Y.; ZHANG, Y.; LAN, S.; WANG, H. A comparative study of artificial neural networks, support vector machines and adaptive neuro fuzzy inference system for forecasting groundwater levels near Lake Okeechobee, Florida. *Water resources management*, v. 30, n. 1, p. 375-391, 2016.
- [12] GONG, Y.; WANG, Z.; XU, G.; ZHANG, Z. A comparative study of groundwater level forecasting using data-driven models based on ensemble empirical mode decomposition. *Water*, v. 10, n. 6, 2018.
- [13] GUZMAN, S. M.; PAZ, J. O.; TAGERT, M. L. M.; MERCER, A. E. Evaluation of Seasonally Classified Inputs for the Prediction of Daily Groundwater Levels: NARX Networks Vs Support Vector Machines. *Environmental Modeling & Assessment*, p. 1-12, 2018.
- [14] HIPEL, K. W.; MCLEOD, A. I. Time series modelling of water resources and environmental systems. Elsevier, 1994.
- [15] HEATH, R., C. Basic ground-water hydrology. United States Geological Survey, 1983.
- [16] KARAMOUZ, M.; NAZIF, S.; FALAHI, M. Hydrology and hydroclimatology: principles and applications. CRC Press, 2013.
- [17] KENDA, K.; ČERIN, M.; BOGATAJ, M.; SENOŽETNIK, M.; KLEMEN, K.; PERGAR, P.; LASPIDOU, C.; MLADENIĆ, D. Groundwater Modeling with Machine Learning Techniques: Ljubljana polje Aquifer. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, v. 2, n. 11, 2018.

- [18] KRISHNA, B.; SATYAJI RAO, Y. R.; VIJAYA, T. Modelling groundwater levels in an urban coastal aquifer using artificial neural networks. *Hydrological Processes*, v. 22, n. 8, p. 1180-1188, 2008.
- [19] LEE, S.; LEE, K. K.; YOON, H. Using artificial neural network models for groundwater level forecasting and assessment of the relative impacts of influencing factors. *Hydrogeology Journal*, p. 1-13, 2018.
- [20] LUIZ, T. B. P.; GAIARDO, G. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Utilização de máquina de vetor de suporte para previsão de níveis de água subterrânea. *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 1, p. 25-34, 2018a.
- [21] LUIZ, T. B. P.; SCHRÖDER, T.; SILVÉRIO DA SILVA. Simulação dos Níveis Freáticos em Poço Tubular Localizado em Aquífero Livre: uma Comparação de Técnicas Preditivas. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 41, n. 3, p. 227-238, 2018b.
- [22] MAGLOGIANNIS, L. et al. (Ed.). *Emerging artificial intelligence applications in computer engineering: real word AI systems with applications in eHealth, HCI, information retrieval and pervasive technologies*. IOS Press, 2007. 407 p.
- [23] MAITI, S.; TIWARI, R. K. A comparative study of artificial neural networks, Bayesian neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in groundwater level prediction. *Environmental earth sciences*, v. 71, n. 7, p. 3147-3160, 2013.
- [24] MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943.
- [25] MOHANTY, S.; JHA, M. K.; KUMAR, A.; SUDHEER, K. P. Artificial neural network modeling for groundwater level forecasting in a river island of eastern India. *Water resources management*, v. 24, n. 9, p. 1845-1865, 2010.
- [26] MOOSAVI, V.; VAFAKHAH, M.; SHIRMOHAMMADI, B.; BEHNIA, N. A wavelet-ANFIS hybrid model for groundwater level forecasting for different prediction periods. *Water resources management*, v. 27, n. 5, p. 1301-1321, 2013.
- [27] NATARAJAN, N.; SUDHEER, Ch. Groundwater level forecasting using soft computing techniques. *Neural Computing and Applications*, p. 1-18, 2019.
- [28] NAYAK, P. C.; SATYAJI RAO, Y. R.; SUDHEER, K. P. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. *Water resources management*, v. 20, n. 1, p. 77-90, 2006.
- [29] SAHOO, S.; RUSSO, T. A.; ELLIOTT, J.; FOSTER, I. Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the US. *Water Resources Research*, v. 53, n. 5, p. 3878-3895, 2017.
- [30] SADAT-NOORI, M.; GLAMORE, W.; KHOJASTEH, D. Groundwater level prediction using genetic programming: the importance of precipitation data and weather station location on model accuracy. *Environmental Earth Sciences*, v. 79, n. 1, p. 37, 2020.
- [31] SHIRI, J.; KISI, O.; YOON, H.; LEE, K. K.; NAZEMI, A. H. Predicting groundwater level fluctuations with meteorological effect implications. A comparative study among soft computing techniques. *Computers & Geosciences*, v. 56, p. 32-44, 2013.
- [32] SHIRI, J.; KISI, O.; YOON, H.; KAZEMI, M. H.; SHIRI, N.; POORRAJABALI, M.; KARIMI, S. Prediction of groundwater level variations in coastal aquifers with tide and rainfall effects using heuristic data driven models. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, p. 1-11, 2020.
- [33] SHIRMOHAMMADI, B.; VAFAKHAH, M.; MOOSAVI, V.; MOGHADDAMNIA, A. Application of several data-driven techniques for predicting groundwater level. *Water Resources Management*, v. 27, n. 2, p. 419-432, 2012.
- [34] SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012. Cap. 2, p. 35-51.
- [35] UDDAMERI, V. Using statistical and artificial neural network models to forecast potentiometric levels at a deep well in South Texas. *Environmental Geology*, v. 51, n. 6, p. 885-895, 2007.
- [36] VAPNIK, V. N. *The nature of statistical learning theory*. New York: Springer. 1995. 188 p.
- [37] VAPNIK, V. N. *Statistical learning theory*. New York: John Wiley & Sons. 1998. 732 p.
- [38] YOON, H.; JUN, S. C.; HYUN, Y.; BAE, G. O.; LEE, K. K. A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. *Journal of Hydrology*, v. 396, n. 1, p. 128-138, 2011.
- [39] WANG, X.; LIU, T.; ZHENG, X.; PENG, H.; XIN, J.; ZHANG, B. Short-term prediction of groundwater level using improved random forest regression with a combination of random features. *Applied Water Science*, v. 8, n. 5, p. 125, 2018.
- [40] ZHAO, T.; ZHU, Y.; YE, M.; MAO, W.; ZHANG, X.; YANG, J.; WU, J. Machine-Learning Methods for Water Table Depth Prediction in Seasonal Freezing-Thawing Areas. *Groundwater*, v. 57, 2019.

# Capítulo 5

## *Estudos sobre a água do ar condicionado*

*Sandra Maria de Lima*

*Carla Maria Abido Valentini*

*Ricardo Augusto Moraes Zaque*

*Fernanda Silveira Carvalho de Souza*

*Priscila Ferreira Machado Albano*

**Resumo:** Considerando o uso cada vez mais frequente de aparelhos de ar condicionado em edificações para os mais diversos fins, essa pesquisa quer corroborar para a minimização dos impactos ambientais dessa tecnologia, destinando para o reuso, a água oriunda do processo de refrigeração. Com o intuito de reaproveitar essa água, foram determinados parâmetros quali e quantitativos da água gerada por quatro aparelhos de ar condicionado, modelo Split, com 24.000 BTU's de potência, instalados em salas de aulas. As amostras analisadas atendem a grande maioria dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos recomendados pela Portaria de Consolidação N. 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017 (PCR-5, 2017), sendo que aqueles não atendidos poderão ser adequados pela cloração, filtração e estabelecimento de critérios e procedimentos para um efetivo monitoramento das instalações dos aparelhos refrigeradores e dos aparelhos de coleta de água. Quantitativamente, a vazão medida variou em função da umidade relativa do ar e, para os aparelhos estudados, foi, em média, de 2,5 litros por hora e 5 litros por hora, para umidade do ar de 10% e 60% respectivamente. Para atestar a potabilidade da água oriunda dos aparelhos de ar condicionado tipo Split, deverão ser investidos mais esforços no sentido de expandir os estudos para diferentes ambientes e diferentes regiões.

**Palavras-chave:** Água de ar condicionado, potabilidade, sustentabilidade, reuso de água.

## 1. INTRODUÇÃO

É dever de todo cidadão zelar e cuidar do meio-ambiente, bem como de todo recurso natural que dele emana. Há tempos atrás, dez, quinze anos, não era comum a compra de água mineral para consumo diário nas residências. Entretanto, com as constantes reportagens sobre a qualidade ou a falta da qualidade da água fornecida pelas concessionárias, o mercado de água mineral tomou vulto (LIMA *et al.*, 2015).

Silveira *et al.* (2013) relata que o Brasil é o sétimo maior produtor do planeta de água mineral envasada, com crescimento a taxas próximas a 20% ao ano. Em 2010 a produção de água envasada no Brasil foi de 8,4 bilhões de litros contra 7,8 bilhões no ano anterior. Mesmo com essa significativa cifra, o índice de consumo per capita de água envasada no Brasil, é considerado baixo - 45 litros/per capita/ano, quando comparado a países como Portugal, cuja consumo é de 100 litros per capita/ano, e Alemanha com 127 litros per capita/ano.

Outrossim é notório a preocupação do planeta com o consumo de água doce, com as suas reservas e com o risco da sua escassez.

Com o aumento da população e a urbanização sem planejamento, a eficiência do ciclo hidrológico é afetado, contribuindo para a escassez da água.

Os aumentos gradativos dos custos no fornecimento d'água, a crescente demanda e poluição dos centros urbanos, a heterogeneidade na distribuição dos recursos hídricos e no abastecimento de água das cidades brasileiras, são as principais dificuldades que motivaram o desenvolvimento de programas de conservação da água, com o objetivo de minimizar o consumo excessivo da água potável em grandes instalações prediais.

A escassez da água decorre principalmente de fatores ligados a causas naturais como, por exemplo, as secas regionais prolongadas; a degradação por processos de poluição nos corpos hídricos, desencadeados pelo lançamento de efluentes urbanos e industriais nas águas de superfície; a intensificação dos consumos individuais e ao mau gerenciamento do uso da água - desperdícios nos sistemas públicos e prediais por vazamentos e procedimentos inadequados.

Devido ao descaso acumulado durante gerações sobre a água, atualmente, o uso racional da água é de extrema importância. O uso indiscriminado e o aproveitamento irracional geraram, e ainda geram problemas ecológicos e sociais.

O PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em seu relatório GEO 5 (2012)-Panorama Ambiental Global, relata que a extração de água doce triplicou nos últimos 50 anos e que mesmo assim, os mananciais são mal monitorados. Com isso, a taxa de redução dos reservatórios de água doce no mundo mais que dobrou, como consequência mais que 80% da população mundial vive sob ameaça hídrica.

Posto isto, esta pesquisa se justifica, pois, toda e qualquer maneira de otimizar o uso da água é válido e fundamental para a perpetuação da espécie humana.

As edificações construídas nos moldes tradicionais não são concebidas para usar de maneira otimizada os seus recursos hídricos. Dispositivos que permitam o reuso das águas residuária e águas pluviais são importantes para melhorar a pegada hídrica das edificações.

O reaproveitamento da água de drenagem dos aparelhos de ar condicionado pode não ser de grande vulto com vistas ao volume, mas é de suma importância para consolidação da consciência ecológica dos usuários, muito embora sendo constatada a potabilidade dessa água, a vazão que emana desses aparelhos pode suprir a necessidade de repartições públicas, instalações comerciais e outras, quanto ao consumo humano.

Portanto o objetivo desse trabalho foi o de quantificar e qualificar a água oriunda do processo de climatização de ambientes, resultante da condensação da água contida na massa de ar quente; além de propor o uso sustentável desse volume como uma fonte alternativa de água potável.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos sobre a qualidade da água oriunda dos aparelhos de ar condicionado foram realizados no Instituto Federal de Mato Grosso, campus Bela Vista, na cidade de Cuiabá, MT (Figura 1).

Figura 1 - Localização da sala onde estão instalados os aparelhos de ar condicionado em estudo no IFMT, campus Cuiabá-Bela Vista, no município de Cuiabá. Fonte: Google Maps modificada por Queiroz, H. S.(2019).



Fonte: Valentini, et al. (2019).

Elaborou-se inicialmente uma revisão bibliográfica, a fim de entender o funcionamento dos aparelhos climatizadores de ambientes, do tipo Split, e também para verificar os estudos já existentes sobre a qualificação das águas oriundas da drenagem desses aparelhos.

Posteriormente, procedeu-se à quantificação do volume de água drenado de aparelhos condicionadores de ar, a partir da construção de um aparato de coleta, composto por: recipiente graduado para o qual foi usado um garrafão de água mineral retornável de polipropileno de 20L ; mangueira cristal 3/4" de 60cm de comprimento; abraçadeira de 3/4" x 1/2"; Luva soldável 50mm, bucha de redução soldável 60mmx32mm que foi conectada ao tubo de drenagem do aparelho de ar condicionado permitindo a coleta e armazenamento da água. O garrafão de água usado para a coleta de água no aparato foi graduado no Laboratório de Águas do IFMT-campus Bela Vista, por meio de calibração com uso de uma proveta de capacidade de 500 mililitros. As marcas da graduação foram feitas com tinta esmalte (Figura 2).

Foram realizadas coletas em dois aparelhos de ar condicionado, do tipo Split de 24.000 BTU's, em duas salas de aula do campus Cuiabá - Bela Vista do IFMT. Os dados apresentados neste artigo foram obtidos a partir de duas campanhas de coleta de água de ar condicionada, sendo a primeira no ano de 2014, entre os meses de setembro a dezembro, e a segunda no ano de 2016, entre os meses de janeiro a março.

Figura 2: Aparato para coleta da água oriunda da drenagem do ar condicionado.

- a) Recipiente graduado.
- b) Conexão do dreno do ar condicionado ao recipiente coletor
- c) Esquema da coleta da água de drenagem do ar condicionado.



A partir da água coletada, no ano de 2014 e 2016 realizaram-se análises físico-químicas e microbiológicas (Figura 3), recomendadas pela Portaria do Ministério da Saúde N. 2914 de 12/12/2011, que fora substituída pela Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde N.º 5, de 28/09/2017 (PCR- N.5, 2017).

Parte das análises físico-químicas foi realizada no laboratório de análises de água do campus Cuiabá – Bela Vista e as demais em uma empresa prestadora de serviços laboratoriais na área de saneamento.

Figura 3: Análises físico-químicas da água de condensação dos aparelhos de ar condicionado



Tendo por base a Portaria de Consolidação N.º 5 de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde (PCR-5,2017) que determina em seu artigo 24 o processo de desinfecção ou cloração para toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, esta pesquisa traçou um segundo programa experimental para submeter a água *in natura* coletada dos aparelhos de ar condicionado a processos de cloração e filtração.

Para a eficiência da desinfecção via cloração a PCR-5, 2017 determina a manutenção obrigatória de, no mínimo, 0,2 mg/l de cloro residual livre ou 2 mg/l de cloro residual combinado em toda a extensão do sistema de distribuição da água.

O procedimento de cloração consistiu em adicionar duas gotas de hipoclorito de sódio para cada um litro de água, garantindo a ação do desinfetante por no mínimo 30 minutos antes de efetuar a análise, tal qual é recomendado para o consumo.

A filtragem foi efetuada por meio de filtro de barro convencional, da marca São Francisco, com capacidade de 8l.

Esta segunda campanha de coleta foi feita a partir dos mesmos aparelhos de ar condicionado e utilizando os mesmos aparatos, da primeira campanha.

A água coletada dos aparelhos de ar condicionado foi analisada, quanto à sua potabilidade, passando por processo de cloração (AC), de filtragem (AF), de cloração e posterior filtragem (ACF) e de filtragem e posterior cloração (AFC).

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

A vazão dimensionada variou em função da umidade relativa do ar (U.R), ficando em torno de 2 litros por hora, para U.R em torno de 15% e de 5 litros por hora, para U.R. em torno de 60%. Esses dados referem-se a aparelhos do tipo Split de 24.000 BTU's. A Tabela 1 apresenta os dados de vazão da coleta.

Tabela 1. Dados de vazão de água drenada de aparelhos condicionadores de água.

Data/Hora	Galão1	Vazão G1 (l/h)	Data /Hora	Galão1	Vazão G1 (l/h)
13/08 - 08:00 – 11:00	6,5 L	2,2	13/08 - 12:45–17:30	9,2L	1,9
18/08			18/08 - 12:45–17:30	6,2L	1,3
19/08 - 09:00 – 11:00	4,5L	2,2	19/08 - 12:45–17:30	7,0L	1,5
20/08 - 09:00 – 12:04	5,5 L	1,8	20/08 - 12:45–17:30	7,5L	1,6
21/08			21/08 - 12:45–17:30	7,0L	1,4
22/08 - 08:15 – 11:00	4,5 L	1,6	22/08 - 12:45–17:30	4,8L	1

Foram realizadas quatro análises qualitativas da água de ar condicionado e comparados com os valores máximos estabelecidos pela PCR – N.5, 2017 do Ministério da Saúde, quando da primeira campanha.

Dos parâmetros analisados, os que não respeitaram os limites permitidos foram, na primeira análise, Nitrogênio Amoniacal e os Coliformes Totais, na segunda análise o Ferro Total e os Coliformes Totais e na terceira análise Coliformes Totais. Na quarta análise todos os parâmetros respeitaram aos limites estabelecidos. A Tabela 02 apresenta os resultados das análises qualitativas.

Tabela 2. Tabela de padrão organoléptico de potabilidade das amostras de água do ar condicionado *in natura* coletadas no IFMT, *campus* Cuiabá-Bela Vista, entre os meses de setembro a dezembro do ano de 2014.

Parâmetro	Unidade	VMP* PCR MS no 05/2017	Resultados da análise da água de ar condicionado			
			05/09/14	02/10/14	11/11/14	02/12/14
Temperatura da água	°C	---	22	25	25	26
Temperatura do ar	°C	---	28	32	28	28
pH	---	6,0 a 9,5	6,7	6,9	7,4	6,9
Cor	Pt/L	15	0	0	0	0
Turbidez	UNT	5	3,27	2,14	1,39	1,16
Condutividade	mS	---	26,88	25	18,28	24,7
Dureza total	mg/L	500	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Resíduo total	mg/L	---	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Alcalinidade	mg/L	---	0,1	0,1	0,1	0,1
Oxigênio dissolvido	mg/L	---	1,08	4,04	3,7	4,0
Cloreto	mg/L	250	5	5	6	7
Cálcio	mg/L	---	8	6	6	4
Magnésio	mg/L	---	1,48	2,43	2,43	5,83
Manganês	mg/L	0,1	0,09	< 0,001	0,003	0,003
Ferro total	mg/L	0,3	0,19	0,33	0,04	0,04
Fluoreto	mg/L	1,5	0,04	0,03	0,03	0,02
Nitrito	mg/L	1	0,58	0,55	0,23	0,4
Nitrato	mg/L	10	0,49	0,3	0,07	0,14
Nitrogênio amoniacal	mg/L	1,5	2,97	0,77	0,28	0,45
Ortofosfato	mg/L	---	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Potássio	mg/L	---	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sódio	mg/L	200	0,6	0,2	0,22	0,38
Sílica solúvel	mg/L	---	0,69	0,45	0,10	0,5
Sulfato	mg/L	250	2,74	1,58	1,58	1,6
Sólidos suspensos totais	mg/L	---	15	1	2	14
Alumínio	mg/L	0,2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Zinco	mg/L	5	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cobre	mg/L	2	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Mercúrio	mg/L	0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chumbo	mg/L	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Coliformes totais	UFC/100mL	Ausentes	17	196	134	Ausentes
Escherichia coli	UFC/100mL	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Legionella pneumophila	UFC/CL	---	< 1	NR	NR	NR
VMP = Valor máximo permitido NR = Não realizado						

Fonte: Lima et al. (2015).

As análises da água de ar condicionado coletadas na segunda campanha têm os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, e tiveram todos os parâmetros estabelecidos pela PCR MS N.5 de 2017 atendidos.

Tabela 3. Tabela de padrão organoléptico de potabilidade das amostras de água do ar condicionado *in natura* e com os tratamentos, coletadas no IFMT, *campus* Cuiabá-Bela Vista, no dia 29/02/16.

Parâmetro	Unidade	VMP PCR MS no 05/2017	Resultados da análise da água do ar condicionado 29/02/2016				
			<i>In natura</i>	Clorada	Filtrada	Filtrada depois Clorada	Clorada depois Filtrada
Cor aparente	Pt.L <sup>-1</sup>	15	3,56	1,33	6,50	<0,63	4,49
Dureza total	mg.L <sup>-1</sup>	500	26,7	33,3	100	53	80
Ferro total	mg.L <sup>-1</sup>	0,3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Manganês	mg.L <sup>-1</sup>	0,1	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003
Nitrogênio amoniacoal	mg.L <sup>-1</sup>	1,5	0,07	0,05	0,12	0,11	0,13
Sódio	mg.L <sup>-1</sup>	200	1,40	1,10	4,00	3,30	3,10
Sólidos dissolvidos totais	mg.L <sup>-1</sup>	200	9	13	46	36	30
Sulfato	mg.L <sup>-1</sup>	250	1,0	0,9	4,1	1,9	1,4
Turbidez	UNT	5	0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35

\*VMP: Valor máximo permitido.

Fonte: Valentini et al. (2019).

Tabela 4. Tabela de padrão organoléptico de potabilidade das amostras de água do ar condicionado *in natura* e com os tratamentos, coletadas no IFMT, *campus* Cuiabá-Bela Vista, no dia 28/03/16.

Parâmetro	Unidade	VMP PCR MS no 05/2017	Resultados da análise da água do ar condicionado 28/03/2016				
			<i>In natura</i>	Clorada	Filtrada	Filtrada depois Clorada	Clorada depois Filtrada
Cor aparente	Pt.L <sup>-1</sup>	15	2,07	4,49	3,09	5,51	11,17
Dureza total	mg.L <sup>-1</sup>	500	10	12	36	26	22
Ferro total	mg.L <sup>-1</sup>	0,3	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
Manganês	mg.L <sup>-1</sup>	0,1	0,005	0,005	0,007	0,004	0,005
Nitrogênio amoniacoal	mg.L <sup>-1</sup>	1,5	0,18	0,19	0,11	0,09	0,10
Sódio	mg.L <sup>-1</sup>	200	0,86	1,10	2,96	3,70	3,10
Sólidos dissolvidos totais	mg.L <sup>-1</sup>	200	19	14	29	31	29
Sulfato	mg.L <sup>-1</sup>	250	0,3	0,4	1,3	0,8	0,4
Turbidez	UNT	5	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	0,41

\*VMP: Valor máximo permitido.

Fonte: Valentini et al. (2019)

#### 4. CONCLUSÕES

- A água do aparelho de ar-condicionado estudado tem potencial para ser usada para fins potáveis, de acordo com as análises apresentadas pela legislação vigente;
- Para o uso da água do ar condicionado com fins potáveis, é necessário fazer o monitoramento constante, tal como se faz das águas superficiais e subterrâneas aplicando-se o tratamento devido.
- São necessários estudos sobre a qualidade da água do ar condicionado a partir dos parâmetros estabelecidos pela PCR MS N. 5 de 2017 em diferentes ambientes ocupacionais e em diferentes regiões geográficas.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Portaria de Consolidação no 5 do Ministério da Saúde. De 28 de setembro de 2017 –Anexo XX. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; incorpora a Lei PRT MS/GM 2914/2011. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em 17 janeiro de dezembro de 2019.
- [2] Lima, S. M. De; Zaque, R. A. M.; Valentini, C. M. A.; Souza, F. S. C. De; Albano, P. F. M. Água de ar condicionado: uma fonte alternativa de água potável? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6, 2015, Porto Alegre, Brasil. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais -IBEAS, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Cadernos de Engenharia Sanitária Ambiental. São Paulo: ABES, 1992. 25 p.
- [4] Silveira, S. C. L; Roquete, R. P. L; Oliveira, L. H. DE. Desenho e análise da cadeia de valor da água mineral. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO TECNOLÓGICA, 15, 2013, Porto, Portugal. Anais... [www.altec2013.org/programme\\_pdf/875.pro](http://www.altec2013.org/programme_pdf/875.pro). Acesso em 23/04/2014.
- [5] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – 2012. [www.pnuma.org.br](http://www.pnuma.org.br) . Acesso em 22/04/2014.
- [6] Valentini, C. M. A.; Lima, S. M. De; Zaque, R. A. M.; Souza, F. S. C. De; Albano, P. F. M; Benevento, G. P. Água de beber: um olhar sobre a possibilidade do reuso da água de ar-condicionado para fins potáveis. Biodiversidade, Cuiabá, n. 18, v.3., p. 2-36, 2019.

# Capítulo 6

## *Viabilidade da reutilização da água proveniente de ar condicionado*

*Júlio César Furtado Filho*

*Wilson Marques Silva*

**Resumo:** Soluções alternativas para evitar o desperdício de água ganham cada vez mais visibilidade e destaque devido ao cenário de crise hídrica que atinge diversas regiões do Brasil e do mundo. Nesse sentido, o reaproveitamento de uma fonte geradora de água, como são os aparelhos de ar condicionados, apresenta-se como uma medida em potencial para diminuir futuros impactos ambientais. O presente estudo tem por objetivo avaliar a alternativa de reuso da água do dreno do ar condicionado para fins não-potáveis em edificações que possuem um número considerável de aparelhos em frequente uso. Este trabalho sugere assim, a possibilidade de implantação de um sistema de captação da água originária de ar condicionados do tipo split, para fins não-potáveis, de uma unidade do Centro Universitário Uninassau, localizado na cidade de Teresina-PI. Para isso, utilizou-se de metodologia por base teórica através de pesquisas bibliográficas e documentais, além de coleta do volume gerado pelos aparelhos e da quantificação da vazão da água condensada. O trabalho visa mostrar o volume significativo de 6,67 litros/hora de água condensada captada pelos 77 aparelhos de ar instalados no prédio da Uninassau. Foi possível demonstrar que este estudo representa uma maneira de ajudar o meio ambiente, sua sustentabilidade, através da redução do volume consumido de água não-potável e diminuição dos custos mensais com o abastecimento, uma vez que pode ser utilizado o grande volume de água proveniente dos aparelhos de ar condicionado.

**Palavras-chave:** Reuso da água. Aparelhos de ar condicionado. Fins não-potáveis. Sustentabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

O maior bem que a humanidade tem hoje é a água, que é um recurso natural imprescindível para qualquer ecossistema, visto que ela é de vital importância para a vida humana, para os animais e para as plantas, indispensável a toda e qualquer forma de vida, tão abundante em várias regiões do planeta e também tão escassa em outras regiões. Nesses lugares a água é tratada como mercadoria preciosa e cara, e seu desperdício é inadmissível. Conforme destaca Grassi (2006), a água é um componente ambiental básico indispensável para a morada de todas as formas de vida conhecida, além de ser indispensável para o desenvolvimento social e cultural da humanidade.

Diante do demasiado crescimento populacional e por conseguinte da necessidade de usufruir de recursos naturais que ainda estão disponíveis, houve nos últimos anos um consumo desenfreado e irresponsável de água por toda população mundial, causando a maior crise hídrica da história. Além disso, mudanças climáticas por escassez de chuvas e o mau uso dos recursos hídricos agravam essa crise. De acordo com a Organização das Nações Unidas (2009), a escassez da água potável afetará mais da metade da população mundial em até 50 anos. O uso consciente da água e medidas com punições para os países que desperdiçam esse precioso bem vêm sendo tomadas em toda reunião, congresso e evento que ocorre a nível mundial.

O Brasil dispõe de 12% das reservas de água potável do planeta, mas ainda enfrenta problemas crônicos na área de saúde pública e de desenvolvimento econômico, isso porque a distribuição de água no tempo e no espaço apresenta-se de forma desigual, o que gera situações de abundância em algumas regiões do país, como na região Norte, e situações próximas da escassez, como no semiárido nordestino. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal 9.433 de 1997, estabelece como um de seus objetivos assegurar a disponibilidade hídrica, nos padrões apropriados, para as atuais e futuras gerações. A Lei Federal nº 11.445 de 2007, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e possui entre os princípios fundamentais: o acesso universal da população ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente. Tais leis e instruções normativas incentivam importantes ações que constroem uma base para o desenvolvimento sustentável.

Nesse cenário, soluções inteligentes de conservação e uso racional e eficiente dos recursos hídricos são essenciais para garantir as necessidades das gerações atuais e futuras. Diante da grande preocupação com a preservação do meio ambiente e a insuficiência de recursos hídricos, práticas que incentivam o consumo consciente da água e o seu reaproveitamento têm ganhado visibilidade e aplicação em todo o mundo, principalmente em regiões marcadas pela escassez de água. Para Hespanhol (2005) a água pode ser reutilizada para diversos fins benéficos, que dependem de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais.

Uma alternativa é o reaproveitamento da água proveniente dos drenos de aparelhos de ar condicionado para fins não potáveis como irrigação, descarga de sanitários e lavagens em geral, principais atividades reconhecidas como promotoras do desperdício de água. Aparelhos de ar condicionado geram gotejamento de água derivada da umidade do ar, condensada pelo aparelho quando este resfria o ar do ambiente interno. Considerando a utilização em larga escala de aparelhos de ar condicionado, o volume de água que goteja é significativo e na maioria das vezes é lançada na área externa das edificações ou é direcionada para a rede de coleta de águas pluviais ou esgoto muita às vezes de forma inapropriada (FORTES et al,2015).

A crise na disponibilidade de água, evidenciada pela falta desse recurso nos mananciais, alertam para a necessidade de repensar as formas de uso da água. Tendo em vista este cenário, não reaproveitar a água proveniente da condensação de equipamentos de ar condicionado pode ser considerado um desperdício e, ainda, estar em desacordo com os princípios do desenvolvimento sustentável. Este estudo buscou investigar o potencial de reaproveitamento da água de condensação de ar condicionado do tipo Split de uma unidade do Centro Universitário Uninassau na cidade de Teresina-PI, visando uma destinação mais adequada para essa água, reduzindo o consumo de água e assim, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos da região. Como objetivos específicos tem-se: avaliar o cenário atual do destino da água proveniente do dreno dos ar condicionados da faculdade, estimar a vazão de água gerada se todos os aparelhos de ar fossem ligados e sugerir um projeto de reutilização dessa água.

Baseado na problemática mundial da escassez hídrica que garante relevância ao presente estudo, este foi elaborado através de pesquisas bibliográficas por meio de livros, onde foram consultados artigos científicos e fontes eletrônicas. Foi realizado o estudo por meio da captação da água dos aparelhos de ar condicionado modelo split do subsolo, térreo e andar superior da instituição de ensino, medindo o volume por tempo decorrido, em horário de pico de funcionamento da faculdade, ou seja, no período onde havia mais aulas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. CRISE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Recursos hídricos é tido como a parcela de água doce, superficial ou subterrânea, acessível à humanidade e a custos compatíveis com os seus diversos usos, em que a sua disponibilidade varia de acordo com o país e as regiões que o abrange (JÚNIOR, 2004). Entre os recursos dos quais o homem dispõe e necessita, o mais importante é a água, que é indispensável para a sobrevivência do ser humano. Ela é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano, apresentando, por esta razão, valores econômicos, sociais e culturais.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA, atualmente, a população mundial cresce em média 0,9% ao ano, e alcançará 9,7 bilhões de pessoas em 2050. Tal crescimento resulta no aumento da demanda dos recursos hídricos, que por serem finitos, podem gerar uma crise de abastecimento em escala global, impondo um racionamento de água permanente à sociedade.

Os problemas relacionados a água, estão crescentemente sendo reconhecidos como uma das mais imediatas e sérias ameaças ambientais para a humanidade. O uso da água mais do que triplicou globalmente, desde 1950, e uma a cada seis pessoas não tem acesso regular a água segura para beber. A falta de acesso a este suprimento de água potável e saneamento afeta a saúde de 1,2 bilhões de pessoas. A última perspectiva global do programa de meio ambiente das Nações Unidas (UNEP), relata que cerca de um terço da população mundial atualmente vive em países que sofrem de moderado a alto estresse com questões de água (WHO, 2000).

O Brasil detém aproximadamente 12% das águas doces disponíveis na Terra, contudo, o crescimento populacional, desenvolvimento da agricultura e indústria causam estresse hídrico e desequilíbrio entre a disponibilidade e demanda necessária de água (ABC, 2014). Junto a estes fatos, conforme Ana (2017): “a disposição dos recursos hídricos não é igualitária entre as regiões brasileiras, destacando a escassez hídrica no Nordeste, em especial a parcela semiárida.”

Logo, a escassez hídrica é ocasionada pelo aumento da demanda de água frente à diminuição da sua oferta e também pelo uso irracional da água, pelos eventos climatológicos de estiagem, desmatamento e falta de investimento em obras hídricas. Esta problemática gera diversas complicações de cunho ambiental, social e econômico, tais como: deterioração dos ecossistemas; prejuízo na produção industrial, comercial e agropecuária; favorecimento da circulação de doenças por veiculação hídrica; racionamentos, atrelados ao uso de carro-pipa e adutoras de engate rápido, geradores de grandes gastos, seja para o setor público ou privado.

### 2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX. (CMMAD, 1988). Para Carla Canepa “o desenvolvimento sustentável caracteriza-se, portanto, não como um estado fixo de harmonia, mas sim como um processo de mudanças, no qual se compatibiliza a exploração de recursos.” (CANEPA, 2007).

Segundo a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas, entende-se como desenvolvimento sustentável aquele capaz de suprir as necessidades dos seres humanos da atualidade, sem comprometer a capacidade do planeta para atender as futuras gerações. O desenvolvimento sustentável é uma interseção entre outros desenvolvimentos. Seu sucesso dependerá da interligação com os desenvolvimentos sociais, econômico e preservação ambiental.

As questões ambientais estão amplamente ligadas ao atual padrão de desenvolvimento e consumo dos recursos naturais. Globalmente, prevê-se que a demanda de água tende a aumentar de modo significativo nas próximas décadas, especialmente nos setores da indústria e geração de energia. Diante dessa problemática, diversos estudos foram elaborados no sentido de aliar a ideia de desenvolvimento e conservação do meio ambiente. Um dos desafios nesse processo é investigar alternativas para reutilização de recursos naturais que já existem e são demasiadamente utilizados pela humanidade sem necessidade, ou melhor, são desperdiçados.

### 2.3. REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DE APARELHOS DE AR CONDICIONADO

Diante da necessidade de solução que visa à garantia de um abastecimento com qualidade e quantidade suficiente à população de um determinado ambiente, a captação da água dos aparelhos de ar-condicionado surge como alternativa economicamente viável e inteligente, pois sua implantação traz benefícios ambientais e econômicos. Para Mancuso e Santos (2003), “o reuso da água subentende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente”. A reutilização da água é possível por meio de processos que envolvem desinfecção e filtração, que podem ser realizados por meio de várias combinações ou isoladamente.

Os aparelhos de ar condicionados promovem a geração de água resultante da condensação, que na maioria das vezes é desperdiçada para o solo ou para o esgoto. Desta forma, o aproveitamento desta água depende da coleta eficiente de cada sistema de drenagem dos aparelhos que podem ser direcionados para um sistema de coleta e armazenamento. De acordo com Mota et al. (2011), o reuso de água é entendido como uma tecnologia desenvolvida em menor ou maior grau, dependendo dos fins ao qual se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente.

A água de reuso dos aparelhos de ar condicionados é imprópria para o consumo, mas pode ser utilizada com diversos propósitos, como, por exemplo, geração de energia, refrigeração de equipamentos, e lavagem de veículos. A prática do reuso permite que um volume maior de água permaneça disponível para outras finalidades, garantindo seu uso racional e reduzindo a demanda de água sobre os mananciais, uma vez que há substituição do uso de água potável por uma de qualidade inferior (FETRANSPOR, 2015).

O aproveitamento de água que é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Essas tendem, assim, como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este é um caso particular do reuso direto planejado. O reuso de água não potável pode ser feito objetivando suprir a demanda em locais que, costumeiramente, utilizam água potável, com diferentes necessidades e associações. Entre elas estão: reserva de proteção contra incêndio, irrigação de jardins ao redor de edifícios, residências e indústrias, gramados, árvores e arbustos; lavagem de pisos e calçadas, entre outros.

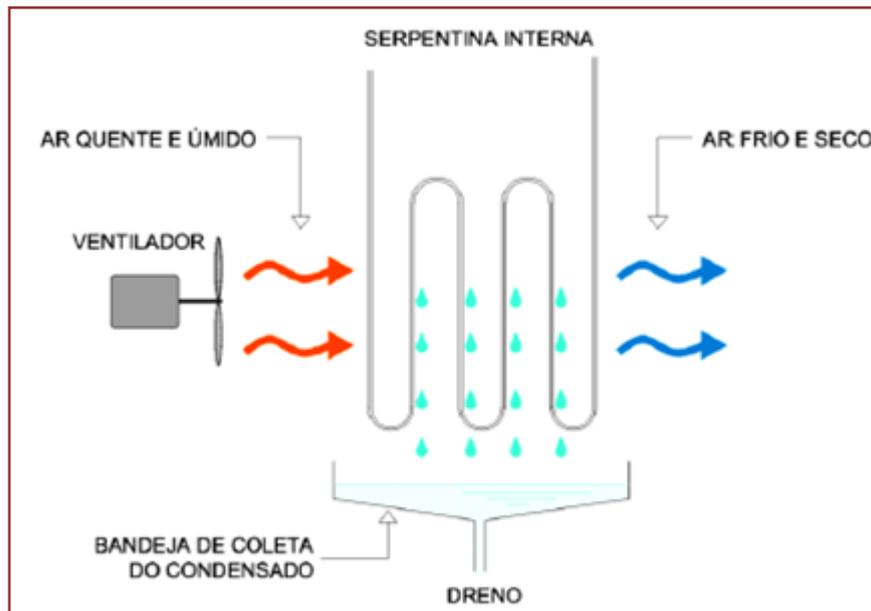
O reuso de água condiz ao aproveitamento de águas que foram utilizadas, uma ou mais vezes, em determinada atividade humana, com o objetivo de suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser de modo direto ou indireto, assim como decorrer de ações planejadas ou não planejadas (LAVRADOR FILHO, 1987 apud NUNES, 2006, p. 27).

#### 2.3.1. ÁGUA CONDENSADA DE AR CONDICIONADOS

Boulware (2013, p.38) afirma que, a água condensada por aparelhos de ar condicionado é considerada de qualidade, uma vez que apresenta baixos teores de minerais e compostos químicos. Desta forma, esta água pode ser utilizada para os mais diversos fins, com a ressalva em termos da qualidade, quanto à possível presença de bactérias. Sendo assim, é necessário ser cuidadoso quando se pensa em direcionar este tipo de água ao consumo humano. O condicionamento de ar é o processo que consiste em controlar sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado. (JONES, 1985).

Atualmente, é bastante comum o uso de aparelhos de ar condicionado para proporcionar conforto térmico, desde ambientes residenciais até comerciais. Porém, só recentemente as águas residuais provenientes do seu funcionamento vêm sendo utilizadas, para fins menos nobres. Contudo, a pressão econômica e sócio ambiental, gerada por leis e instruções normativas, que apontam para a redução do consumo de água potável, fez com que essa fonte alternativa de água seja cada vez mais viável, e consequentemente mais utilizada.

A água é gerada pelo processo de condensação que ocorre no interior dos aparelhos. Esse processo consiste basicamente na transformação do vapor de água quente em água líquida e ocorre quando o vapor, ao entrar em contato com uma superfície mais fria nas serpentinas do equipamento, muda do estado gasoso para o líquido, por meio da condensação. Nenganga (2014) diz que: “a quantidade de água produzida pelo aparelho de ar-condicionado depende da marca, potência e condições climáticas (especificamente a umidade).”



Fonte: Bastos, 2012 apud Rodrigues, 2018.

## 2.4. PROBLEMÁTICA

A água que é liberada através dos drenos condicionadores de ar, ocasionada devido o seu processo de condensação apresenta uma destinação aleatória, o que gera um grande desperdício e até mesmo danos à saúde. Dentre tais consequências, pode-se citar o acúmulo de poças d'água, o que pode ocasionar possíveis focos de procriação do mosquito da dengue. Além disso, há na parte externa da faculdade um acúmulo excessivo de água que pode ocasionar deterioração gradual da estrutura do edifício. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a redução da permeabilidade do concreto deve ser a primeira linha do sistema de defesa contra qualquer processo físico de deterioração.

À proporção que aumenta o nível de água na superfície externa da faculdade, aumenta os índices de permeabilidade e de porosidade e, por via de consequência, aumenta a deterioração do concreto. Portanto, indicar um destino para essa água reaproveitando-a para fins de atividades dentro da faculdade é benéfica não apenas para os gastos econômicos da faculdade, mas também para ajudar o meio ambiente.

## 2.5. METODOLOGIA APLICADA

O trabalho se deu por meio da realização de consultas documentais e bibliográficas pertinentes ao tema, pesquisas de campo, coletas de dados e informações relevantes ao estudo e análise estatística dos dados coletados. Assim, a abordagem desta pesquisa foi predominantemente quantitativa, Este presente estudo caracteriza-se como sendo uma pesquisa quantitativa, do tipo exploratória descritiva, onde os fatos foram observados, registrados em observações, anotações e analisados.

Portanto, a caracterização da pesquisa está baseada em uma pesquisa exploratória, pois tem a finalidade de esclarecer os benefícios que a captação da água proveniente dos aparelhos de ar condicionado traz. É caracterizada também pela pesquisa aplicada, pois está envolvida a resolver um problema concreto, tendo uma finalidade prática. E para uma pesquisa literária, por ser um estudo elaborado com base em materiais publicados. Por fim, tem-se a pesquisa quantitativa, procurando avaliar as quantidades perdas existente e o reaproveitamento das mesmas.

A área de estudo na qual foi feito o projeto de reaproveitamento de água de aparelhos de ar condicionados compreende em uma unidade de um Centro Universitário do grupo Uninassau, localizada na cidade de Teresina/PI, no bairro do São Cristóvão. A faculdade é composta por 3 pavimentos: o subsolo onde fica algumas salas e o estacionamento, o térreo e o superior. Cada bloco conta com salas de aulas e laboratórios, além de salas com fins administrativos, financeiros e jurídicos, coordenação, biblioteca e diretoria. O subsolo possui salas de aulas e laboratórios, todos com aparelhos de ar condicionados que variam de marca e potências de 48000 BTUS. No térreo estão salas de aulas e outros laboratórios, além da recepção, coordenação, sala da diretoria, e dos professores, fora outros salas destinadas a outros fins, todas equipadas com ar condicionados de diferentes marcas com potências de 9000, 12000, 18000, 24000, 42000 e 48000BTUS. No pavimento superior encontra-se mais salas de aulas e laboratórios, a biblioteca, e salas de estudo, todas com aparelhos de ar condicionados de marcas diferentes com potências que variam entre 18000 e 48000BTUS. Totalizando assim, 68 salas e 77 aparelhos de ar condicionado do tipo Split (Tabela 1).

As aulas acontecem no período da manhã e da noite, ficando o período da tarde para atividades administrativas e limpeza da faculdade. Pela manhã as aulas iniciam às 8h e encerram às 12h, e na noite começam 18h e terminam 22h, somando um total de 8h de aula por dia. A superlotação acontece a noite, onde há mais turmas tendo aulas e conseqüentemente mais ar condicionados ligados.

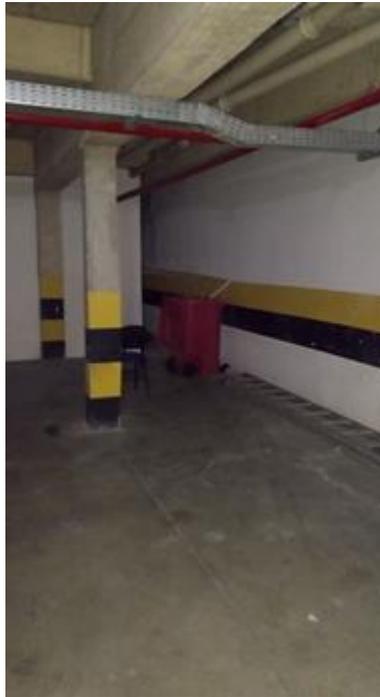
Sabe-se que os aparelhos de ar condicionados, quando em utilização, retiram a umidade existente no local em que estão instalados e realizam a condensação. Os drenos existentes nestes aparelhos por sua vez, liberam a água produzida pelo equipamento até o seu devido fim, que muitas vezes é em local impróprio. Na instituição em questão, esta água é liberada pelo dreno e desperdiçada, onde poderiam ser reutilizadas para outros fins, também podendo gerar patologias construtivas na edificação. Em cada pavimento, há um cano que coleta água dos drenos dos aparelhos de ar, jorrando-a para dentro de um tambor com capacidade para 240 litros (Figuras 1 e 2), sendo assim três tambores. Ao encher, a água desses tambores é simplesmente despejada na rua, próximo a uma sarjeta.

Figura 1 – Tambor de 240 litros coletor de água



Fonte: Foto tirada pelo o autor (2019)

Figura 2 – Tambor localizado no estacionamento do subsolo da faculdade



Fonte: Foto tirada pelo o autor (2019)

Para a medição da vazão de água produzida pelos aparelhos de ar condicionados, escolheu-se o período noturno das aulas entre 19h e 20h, por ser o horário de maior pico de aula acontecendo, o que daria uma maior vazão de água dos ar condicionados ligados. Através do cano que coleta água dos drenos do térreo que possui maior quantidade de salas utilizadas, cronometrou-se o tempo para encher uma garrafa pet de 2 litros que estava seca e limpa. Como o intuito inicial era encontrar o volume de água gerado por um, e apenas um aparelho de ar condicionado, coletou-se água produzida no momento que apenas um único aparelho estava ligado.

O prédio da pesquisa em questão é alugado pelo grupo Uninassau e por ser construído há um tempo atrás e, ter passado por diversas finalidades e diversas reformas, não há um registro da planta baixa arquitetônica do mesmo, o que inviabilizou o desejo de elaborar um projeto para reuso da água proveniente dos drenos de ar condicionados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em visita ao local que foi desenvolvido a pesquisa, coletou-se a quantidade existente de ar condicionados nas 68 salas dos três pavimentos da faculdade e anotou-se os dados relevantes como: marca do aparelho, capacidade em BTUS, potência nominal em Watts e vazão de ar em metros cúbicos por hora, presentes nos adesivos informativos colados em cada aparelho. Essas informações são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 1 – Dados relevantes e pertinentes à pesquisa

PAVIMENTO	SALA	QTDE DE APARELHOS	MARCA	CAPAC. (BTUS)	POTÊNCIA NOMINAL (W)	VAZÃO DE AR (m <sup>3</sup> /h)
Subsolo	sala de aula 01	1	CARRIER	48000	4628	2280
	sala de aula 02	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. eg. civil	2	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. eletrodermato	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. maquete	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. elétrica	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. mecânica	2	CARRIER	48000	4628	2280
	sala fechada	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Lab. geral	1	KOMECO	48000	4628	2280
Térreo	recepção	1	MIDEA	24000	2198	1080
	Empregabilidade	1	MIDEA	9000	264	497
	sala de convivência	1	KOMECO	18000	1529	830
	DCA	2	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 03	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 04	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 05	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 06	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 07	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 08	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	xerox	1	MIDEA	9000	264	497
	Lab. tec. Dietéticas	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	sala de aula 09	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 10	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 11	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 12	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 13	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	NAE	1	MIDEA	9000	264	497
	coordenação EAD	1	MIDEA	18000	1707	700
	coordenação curso	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Tempo Integral - TI	1	MIDEA	12000	1234	550
	Dep. Pessoal e RH	1	MIDEA	9000	264	497
	Sala dos professores	1	CARRIER	48000	4628	2280
	Núcleo Docente	2	MIDEA	12000	1234	550
	Direção	1	MIDEA	18000	1529	830
	núcleo prática jurídica	1	MIDEA	9000	264	497
	sala de reunião pequena	1	MIDEA	9000	264	497
	sala de reunião grande	1	MIDEA	48000	4973	2450
	coord. NPJ	1	MIDEA	9000	264	497
	sala mediação 1	1	MIDEA	9000	264	497
	sala mediação 2	1	MIDEA	9000	264	497
	sala mediação 3	1	MIDEA	9000	264	497
	secretaria	1	MIDEA	9000	264	497
esc. Jurídico júnior	1	MIDEA	9000	264	497	
Lab. Cinesiologia	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100	

(Continuação)

Tabela 1 – Dados relevantes e pertinentes à pesquisa

PAVIMENTO	SALA	QTDE DE APARELHOS	MARCA	CAPAC. (BTUS)	POTÊNCIA NOMINAL (W)	VAZÃO DE AR (m <sup>3</sup> /h)
Superior	Lab. Anatomia	1	MIDEA	48000	4973	2450
	Lab. Citologia embriologia	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Lab. Informática	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Lab. Odontologia	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	NTI	1	MIDEA	48000	4973	2450
	Lab. Enfermagem	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Lab. Microbiologia	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Lab. Química	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	Lab. Física	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	sala dos técnicos	1	MIDEA	24000	2198	1080
	sala de aula 14	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 15	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 16	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 17	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 18	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 19	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 20	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	sala de aula 21	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 22	1	SILVERMAXI	42000	4140	2100
	sala de aula 23	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 24	1	MIDEA	48000	4973	2450
	sala de aula 25	1	MIDEA	48000	4973	2450
	biblioteca	4	MIDEA	18000	1707	700
sala de estudos	3	SILVERMAXI	42000	4140	2100	
TOTAL=	68	77		2473000		

Fonte: dados produzido pelo autor (2019)

A medição da quantidade de água que é gerada pelos aparelhos de ar condicionados foi realizada com coleta da água em uma garrafa pet de 2 litros vazia e limpa, e um cronômetro. Coletou-se água quando um único ar condicionado estava sendo utilizado, aparelho da marca Midea de 48000 BTUS de capacidade, desprezando-se as outras marcas e as menores capacidades de BTUS. Foram necessários apenas 18 minutos para encher completamente a garrafa, obtendo-se assim o seguinte cálculo:

tempo (min)	volume (L)
18	2
1h = 60min	x
x =	6,67

Assim, em uma hora o volume de água gerado por um único aparelho foi de 6,67 litros. Para encontrar a quantidade gerada durante todo o dia, foi feito o cálculo seguinte:

tempo (h)	volume (L)
1	6,67
1 dia = 24h	x
x =	160,08

E o volume semanal e mensal, foi calculado simplesmente multiplicando o volume diário por 7 dias e este por 4 semanas, obtendo-se:

volume (L) diário	160,08
volume (L) semanal	1120,56
volume (L) mensal	4482,24

Entretanto, a faculdade só possui aulas em dois períodos do dia: manhã e noite. Foi, então, desprezados as 16h que praticamente não seriam ligados os aparelhos de ar, recalculando o volume para as 8h diárias de aula.

tempo (h)	volume (L)
1	6,67
1 dia = 8h	x
x =	53,36

O volume semanal e mensal foi recalculado multiplicando o volume diário por 7 dias e este por 4 semanas, obtendo-se:

volume (L) diário	53,36
volume (L) semanal	266,8
volume (L) mensal	1067,2

O volume de água gerada por um único aparelho de ar condicionado funcionando foi de 53,36 litros/dia, ou 266,8 litros/semana, ou ainda 1067,2 litros mensais. Como a faculdade possui um total de 77 aparelhos de ar condicionados e, imaginando-se a pior situação em que todos os aparelhos estariam ligados e funcionando, produzindo o máximo de água condensada, tem-se:

qtde. aparelhos	volume (L)
1	53,36
77	x
x =	4108,72

volume (L) diário	4108,72
volume (L) semanal	20543,6
volume (L) mensal	82174,4

Estima-se que o volume de água gerado por todos os aparelhos existentes na faculdade seria de 4108,72 litros diariamente. Já para calcular a quantidade semanal, foi multiplicado por 5 dias, considerando sábado e domingo sem aulas, o que significou uma geração de 20543,6 litros/semana e, 82174,4 litros/mês.

A partir desses cálculos, constata-se que são gerados diariamente 53,36 litros de água por um único aparelho de ar condicionado, e um total de 4108,72 litros são simplesmente despejados fora todos os dias de todos os 77 aparelhos da instituição.

Como o prédio onde está locada a faculdade é alugado e de construção antiga, além que passou por diversas reformas até então, não foi possível adquirir suas plantas baixas arquitetônicas. Portanto, ficou inviável elaborar um projeto de reaproveitamento da água dos drenos de ar condicionados, deixando assim como uma sugestão de futuro projeto quando for desenhada uma nova e atual planta baixa do prédio.

#### 4. CONCLUSÃO

As atitudes do homem em relação à natureza vêm causando reflexos e consequências por sua falta de respeito e consciência na utilização dos recursos naturais, principalmente os recursos hídricos. Por isso, os recursos naturais encontram-se em uma situação crítica já que as mudanças provocadas pelas atitudes da humanidade tanto podem tornar-se irreversíveis como gerar imprevisíveis alterações no planeta, principalmente em relação a água. Por meio de pesquisa bibliográfica, o trabalho buscou esclarecer e exemplificar os possíveis usos da água, com origem na extração da água proveniente de aparelhos de ar condicionado, para um prédio de uma grande faculdade.

Como resultado destas consultas, constatou-se que a água com tal origem poderá ser destinada a servir diversos fins, respeitando os parâmetros exigidos, sendo tais águas classificadas como água cinza.

No presente artigo, foi feita a análise dos resultados de vazão de água desperdiçada incessantemente todos os dias no âmbito da instituição e constatou que inserir um sistema de reaproveitamento de água seria viável e ideal, haja vista a alta demanda de recurso hídrico. Ou seja, remanejar essa água para outro fim dentro da faculdade, como: limpeza das dependências, uso no sistema de descargas dos sanitários e irrigação do jardim da instituição.

Este modelo gerou dados de volume de água desperdiçada de um total 82174,4 litros d'água diariamente caso os 77 aparelhos estivessem ligados ao mesmo tempo. É perceptível, assim, que o reaproveitamento de água dará de forma positiva para organização, através de uma reutilização mais precisa da água.

Tendo em vista que a procura por conforto térmico aumenta a cada dia e esta é feita através de equipamentos de ar condicionado, não aproveitar a água que é gerada nestes equipamentos através da condensação é uma forma de desperdício de água. Esta geração de água não deve ser desconsiderada, em meio às crises hídricas e racionamento que o Brasil e mais diversos países vêm enfrentando. O reaproveitamento da água de condensação de equipamentos de ar condicionado deve ser realizado para auxiliar na preservação deste recurso em conjunto com outras técnicas de reaproveitamento de água, bem como pelo consumo consciente.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ABC - ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Fundação Conrado Wessel, 2014.
- [2] ANA - AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Bra-sil. 2017.
- [3] BASTOS, C. S. Arquitetura institucional de ensino superior. Ações sustentáveis projetais ba-seadas nas categorias do Leed Schools NC - v3. Tese. Vitória, ES. 2012.
- [4] BRASIL, Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF: 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm) Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- [5] BRASIL, Lei Nº 11.445, de 2005 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm) Acesso em: 29 de setembro de 2019.
- [6] BOULWARE, E.W. Bob. Alternative water sources and wastewater management. Estados Unidos da América: Mc Graw Hill. 365 p., 2013.
- [7] CANEPA, Carla. Cidades Sustentáveis: o município como lócus da sustentabilidade. São Paulo: Editora RCS, 2007.
- [8] CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso futuro comum. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- [9] FETRANSPOR, Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro. Reuso de água em garagens de ônibus. 2015. Disponível em: <http://www.fetranspordocs.com.br/downloads/36Reusoagua.pdf> Acesso em: 21 abril. 2019.
- [10] FORTES, P. D. et al. Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*. Rezende - RJ, 2015.

- [11] GRASSI, L. A. T. Direita à água. In: FILHO, O. L. de B. (Org.); BOJUNGA, S. Tempo das águas. Porto Alegre: Laser Press Comunicação, 2006.
- [12] HESPANHOL, I., et al. Conservação e Reúso da Água em Edificações. Centro Internacional de Referência em Reuso de Água. São Paulo: Fiesp/Ciesp, 2005.
- [13] IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *The future of cooling*. IEA/OECD, 2018.
- [14] JONES, Jerold – Refrigeração e ar condicionado; tradução José M. Saiz Jabado- [et al] – São Paulo : McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- [15] JÚNIOR, José de Sena Pereira. Recursos Hídricos – conceituação, disponibilidade e usos. Brasília: Biblioteca Digital Câmara, 2004. Disponível em: <[http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/2004\\_2687.pdf](http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/areas-da-conle/tema14/2004_2687.pdf)>. Acesso em: 15 março 2019.
- [16] LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- [17] MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.; Reuso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003.
- [18] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. PINI, 1994. 580.
- [19] MOTA, Thatiane Rodrigues.; OLIVEIRA, Dyonis Matias de.; INADA, Paulo. Reutilização da água dos aparelhos de ar condicionado em uma escola de ensino médio no município de Umuarama-PR. Anais Eletrônico VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. CESUMAR – Centro Universitário de Maringá Editora CESUMAR. Maringá – Paraná, 2011. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/thatiane\\_rodrigues\\_mota\\_2.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/thatiane_rodrigues_mota_2.pdf). Acesso em: 12 outubro 2019.
- [20] NENGANGA, I. P. Reaproveitamento Da Água De Condensação Proveniente Dos Aparelhos De Ar Condicionado. Estudo de Caso: Edifício da UniPiaget Angola. Artigo científico - UniPiaget Angola - Departamento de Ciências e Tecnologias. Viana, Luanda (Angola). 2014.
- [21] WHO. World Health Organization and United Nations Children's Fund (UNICEF) (2000), Global Water Supply and Sanitation Assessment, 2000.

# Capítulo 7

## *Nova configuração de sistema anaeróbio com menor custo de implantação e melhor eficiência*

*Antonio Carlos Braconi*

**Resumo:** A maioria das estações de tratamento biológico de águas residuárias são constituídas, por razões econômicas, de reatores anaeróbios precedidas de um pós-tratamento. A grande maioria desses Reatores Anaeróbios são do tipo conhecido como reatores de manta de lodo tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou RAFA (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente).

Esses sistemas são providos de dispositivos capazes de separar de forma “adequada” o biogás, o líquido e os sólidos, liberando os dois primeiros e retendo os sólidos. Tais dispositivos são denominados de separadores trifásicos.

Para estações de médio e grande porte esses separadores trifásicos oneram bastante o custo dos reatores e são de elevadas complexidades estruturais. Além disso, causam dificuldades operacionais possibilitando a formação de camadas espessas de sobrenadantes gordurosos que impedem a livre passagem dos gases gerados criando perdas de cargas internas obrigando os gases a buscarem outros caminhos preferenciais. Tem-se utilizado bicos aspersores com injeções de efluentes tratados para dissolverem a camada gordurosa. Acontece que esses bicos injetores, internos nos separadores trifásicos, entopem com frequência sendo trabalhosa a manutenção. Em função disso, a geração de odores não é evitada e a concentração de sólidos suspensos totais também fica a desejar. Em todas estações com reatores UASB de tratamento de águas residuárias que temos trabalhado, quando próximas a áreas habitáveis, como solução, tivemos que as cobrir para evitar o incômodo dos odores causados pela emissão do gás sulfídrico.

Buscando uma solução para esses problemas, partimos para uma alternativa de reatores de manta de lodo de elevada altura, cobertos com membrana de PVC e excluindo os separadores trifásicos, que é o objeto desse trabalho. A altura elevada proporciona o surgimento de uma zona de decantação no nível superior do reator, produzindo um efluente tratado bem clarificado e com relativa baixa turbidez.

**Palavras-chave:** Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo; DQO; SST.

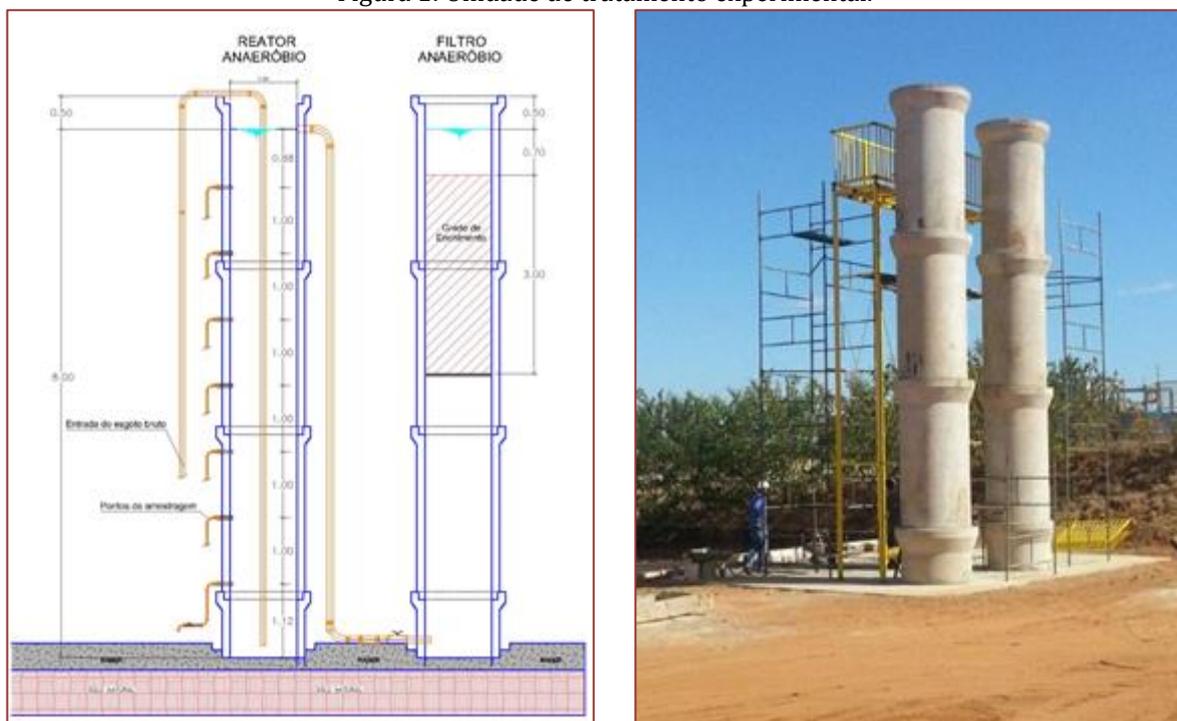
## 1. INTRODUÇÃO

São várias as concepções utilizadas hoje para tratamento de águas residuárias. Tem-se muitas alternativas, mas poucas análises comparativas. A partir de tal constatação, faz-se necessário que se investiguem novas soluções em busca de eficácia e de menores custos de execução e de operação. O presente trabalho contém estudos de uma unidade experimental – ETE experimental – instalada do lado de um reator UASB de 110 litros por segundo de capacidade. (Figura 1)

O afluente foi tomado de uma linha que abastece dois reatores após o tratamento primário (remoção de areia e sólidos grosseiros). Inserimos uma pequena bomba de fundo, operando no automático, que abastece a nossa unidade experimental, o que permitiu realizar os estudos comparativos. Essa ETE experimental não era com operação assistida e em alguns momentos foram observadas alterações no fluxo de alimentação, ocasionando algumas discrepâncias nos resultados de análises. As amostras foram coletadas semanalmente, tendo o sistema regulado nesse momento, o qual, na maioria das vezes, operava regularmente.

A unidade experimental é constituída como parte do processo de um reator de manta de lodo de 8 a 9 metros de altura, sem separadores trifásicos, com tempo de detenção em média de 6 a 8 horas, velocidades superficiais médias entre 0,5 a 0,7 m/h, com elevada zona de decantação devido a sua altura.

Figura 1: Unidade de tratamento experimental.



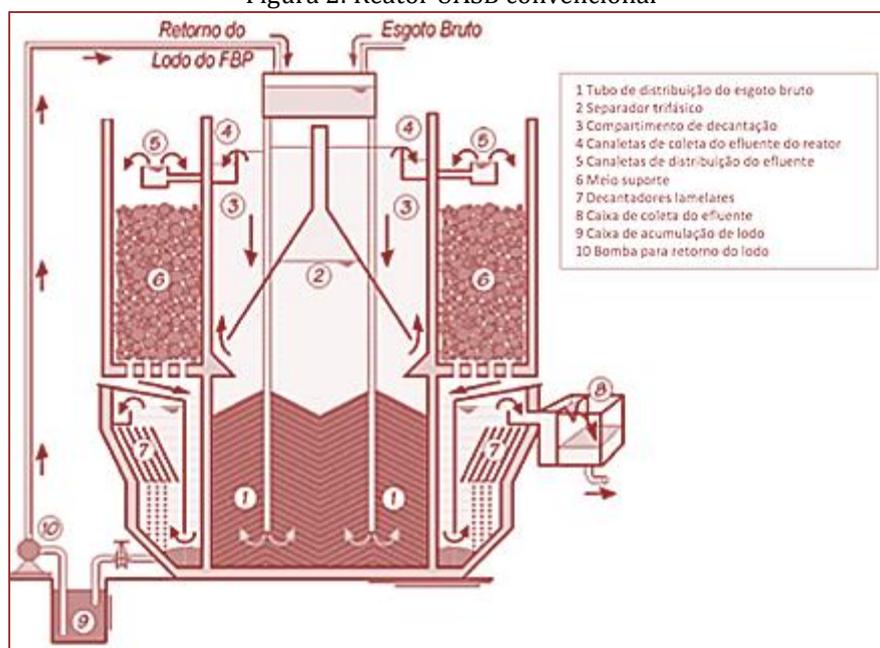
## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é apresentar um novo modelo de reator anaeróbico de manta de lodo, mais simples de operar e de menor custo de construção quando comparados com reatores UASB convencionais. (Figura 2)

Destacam-se como os objetivos específicos:

- Apresentar monitoramento de análises laboratoriais, demonstrando a eficiência desse projeto;
- Avaliar as maiores vantagens operacionais;
- Mostrar as vantagens construtivas.

Figura 2: Reator UASB convencional



### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que buscou descrever o conhecimento existente na área. Na revisão bibliográfica foram abordados conceitos importantes, necessários para um melhor entendimento do nosso propósito, contextualizando os termos e conceitos utilizados no desenvolvimento do trabalho.

Como bibliografia disponível foram consultados dissertações, teses, artigos e trabalhos publicados por órgãos públicos que servem como base para pesquisa teórica.

Os principais parâmetros avaliados foram: demanda química de oxigênio (DQO), materiais sedimentáveis, sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV). Os dados foram obtidos por meio de amostras semanais no período de fevereiro a agosto de 2015. Durante os meses de março e abril foram coletadas informações sobre temperatura, pH, nitrogênio amoniacal e fósforo total.

Foram calculados média, mínimo e máximo das concentrações, bem como a eficiência do reator. Valores discrepantes foram excluídos da análise. Para visualização da evolução temporal do processo, foi calculada a média mensal dos indicadores.

### 4. RESULTADOS

Nessa ETE experimental, foram observadas no esgoto bruto concentrações médias de 848 mg/L (535 a 1.038 mg/L) de DQO; 5,5 mg/L (2,5 mg/L a 9,0 mg/L) de materiais sedimentáveis; 279 mg/L (155 mg/L a 425 mg/L) de SST; 34,9 mg/L (11,9 mg/L a 66,0 mg/L) de SSF e 208,6 mg/L (111,0 mg/L a 351,3 mg/L) de SSV.

Não houve diferença entre as médias na entrada e saída da temperatura, sendo observado 25,4°C no esgoto bruto e 25,5°C no efluente do reator. Em relação ao pH, as médias também não apresentaram diferença, sendo observados 5,8 no esgoto bruto e 5,7 no efluente do reator.

Comparando os níveis de nitrogênio amoniacal e fósforo total no esgoto bruto e no efluente do reator, estas concentrações passaram de 53,7 mg/L para 50,2 mg/L e de 6,8 mg/L para 5,3 mg/L, respectivamente.

A eficiência do reator para os parâmetros de qualidade mostrou uma eficiência de 71,0% para DQO; 78,2% para materiais sedimentáveis; 67,9% para SST; 63,0% para SSF e 51,9% para SSV.

As Figuras 3 a 7 apresentam a evolução mensal dos indicadores, evidenciando a eficiência da qualidade do sistema.

Figura 3: Concentrações de DQO no afluente e eficiência de remoção.

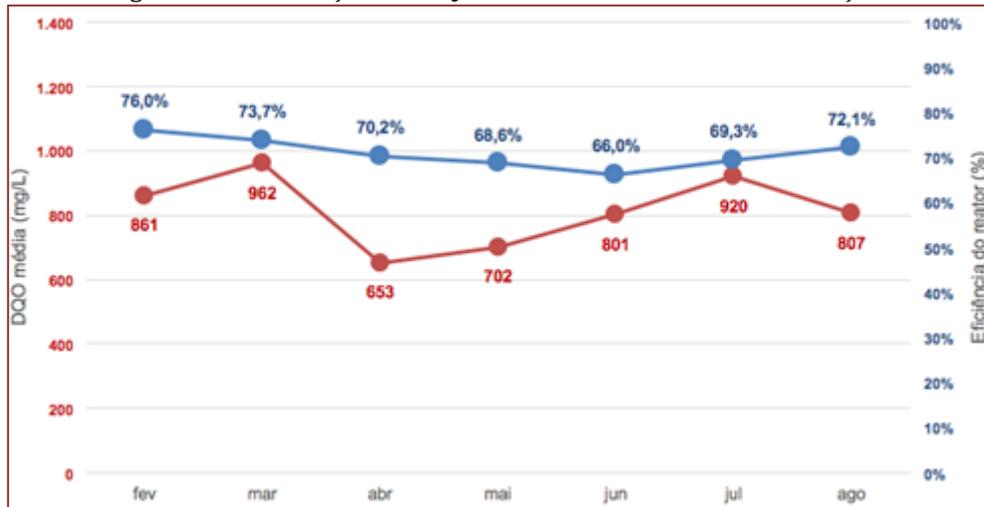


Figura 4: Concentrações de materiais sedimentáveis no afluente e eficiência de remoção.

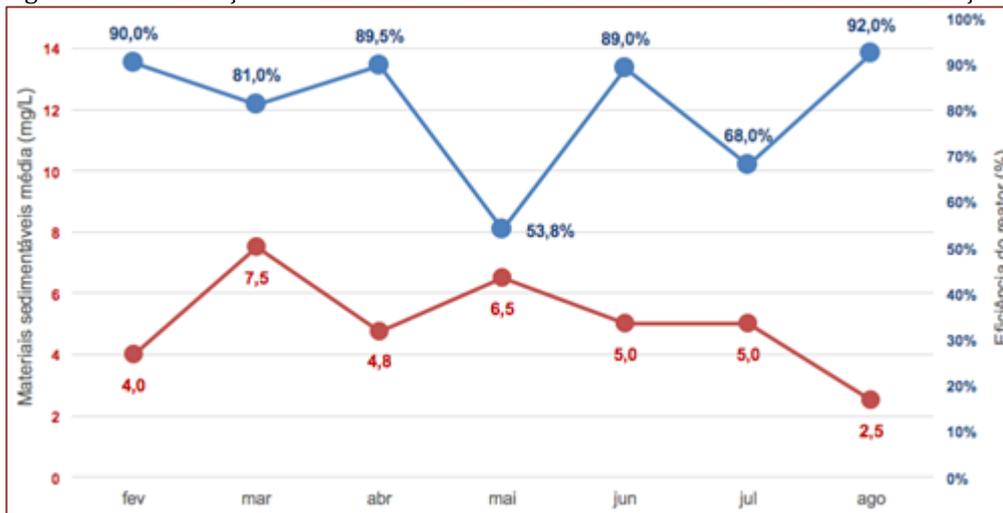


Figura 5: Concentrações de SST no afluente e eficiência de remoção.

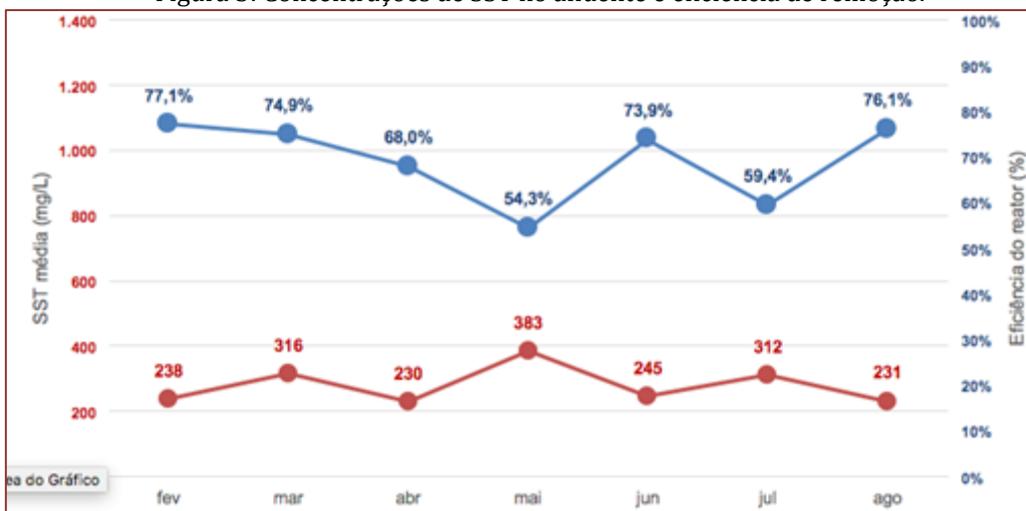


Figura 6: Concentrações de SSF no afluente e eficiência de remoção.

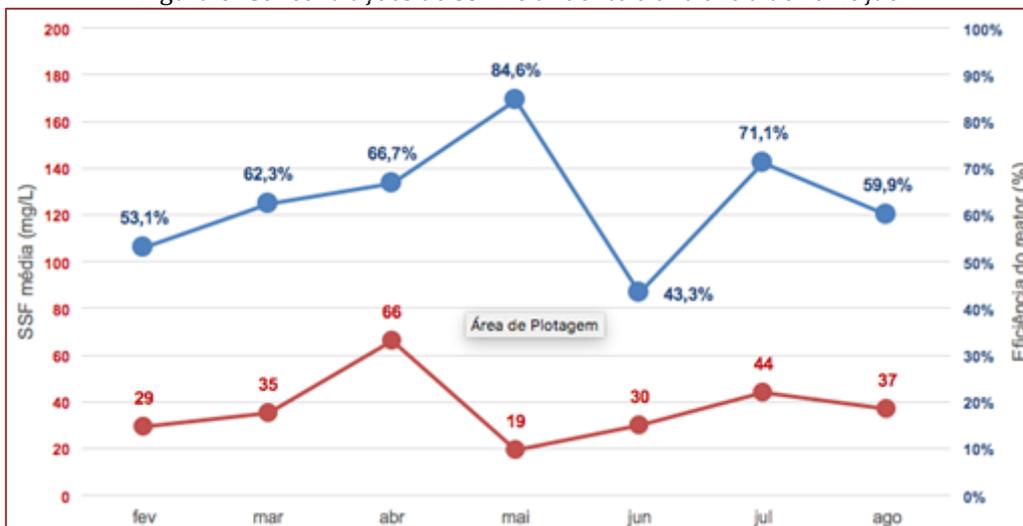


Figura 7: Concentrações de SSV no afluente e eficiência de remoção.



Finalmente, apresentamos os comparativos de custos de execuções dos dois sistemas de mesma capacidade (100 litros/segundo). Os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 foram obtidos a partir de empresas ligadas na área de operação de ETEs no Estado de Tocantins, especificamente na cidade de Palmas (capital), e mostram uma redução de 34% no custo de implantação (data base 2015).

Tabela 1: Custo da implantação do novo reator de manta de lodo.

Material/serviço	Custo (r\$)
Placa em Concreto Armado	227.700,00
Mobilização de Obra	23.922,40
Movimento de Terra	23.029,21
Fundação/Base	148.728,55
Montagem das Placas	88.768,00
Revestimento e Impermeabilização	98.652,13
Estrutura e Cobertura do Teto com Lona	199.452,30
Pintura Externa	16.396,43
Escadas	35.740,80
Instalação de Tocos	4.732,80
Limpeza Final da Obra	1.532,72
Equipamentos	54.000,00
<b>Custo Total</b>	<b>922.655,34</b>

Tabela 2: Custo de implantação do reator UASB.

Material/serviço	Custo (r\$)
Fundação/Base	33.850,00
Material, Montagem e Soldagem	923.540,00
Jateamento Abrasivo	120.529,00
Pintura Externa e Interna	281.100,00
Confecção e Instalação de Escadas e Guarda Corpo	28.600,00
Limpeza da Obra	3.500,00
<b>Custo total</b>	<b>1.391.119,00</b>

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo evidenciaram a eficiência da ETE experimental na remoção de resíduos, além do reduzido custo em relação aos reatores UASB.

As principais vantagens são destacadas a seguir:

- Desempenho satisfatório na remoção de poluentes (matéria orgânica e sólidos);
- Produção de efluentes de boa qualidade;
- Reduções significativas da DQO, mesmo sem operação assistida;
- Grande eficiência na remoção de SST;
- Menor tempo de execução por empregar um sistema construtivo em placas verticais pré-moldadas;
- Menor custo de execução em comparação ao reator UASB convencional;
- Menor custo de operação por maior simplicidade operacional.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 12209, Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário-Procedimento. Rio de Janeiro, 2011.
- [2] ABNT NBR 9648, Estudo de concepção de esgoto sanitário-Procedimento. Rio de Janeiro, 2011.
- [3] ABNT NBR 12207, Projeto de interceptores de esgoto sanitário-Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- [4] ABNT NBR 12208, Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário-Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- [5] ABNT NBR 9575, Impermeabilização- seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
- [6] VON SPERLING, M. Lodos Ativados, vol.4, 2ª ed. Editora UFMG. Belo Horizonte, 1997.
- [7] VAN HAANDEL, A.C., JORDÃO, E.P., CAMPOS, J.R., (2001c). Vol. 5: Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de lodos ativados, In: CHERNICHARO, C.A.L.(coordenador). Pós- tratamento de efluentes e reatores anaeróbios. ISBN 85-901640-2-0.PROSAB/ABES, Rio de Janeiro.p.279-331.
- [8] METCALF & EDDY (2014).Wastewater engineering: treatment and resource recovery, vol.1., Metcalf&Eddy fifth edition.
- [9] DEZOTTI, M., SANT'ANNA JR, G.L., BASSIN, J.P. Processos biológicos avançados para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana. Editora Interciência Ltda. Rio de Janeiro, 2011.
- [10] CLEVERSON, V.A., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. Lodo de esgoto e disposição final, Vol.6,3ª ed. Editora UFMG. Belo Horizonte, 2003.
- [11] DI BERNARDO, L.(1995). Algas e suas influencias na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento. Edição patrocinada por ABES. Rio de Janeiro.
- [12] CHERNICHARO, C.A.L.(coordenador). (2001). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Edição patrocinada por PROSAB. Belo Horizonte.
- [13] SANT'ANNA JR, G.L.(2013). Tratamento biológicos de efluentes: Fundamentos e aplicações.2ª ed. Editora Interciência Ltda. Rio de Janeiro.
- [14] PROSAB, BASTOS MOTA, F.S., VON SPERLING, M.(coordenadores). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Edição patrocinada por ABES. Rio de Janeiro, 2009.
- [15] NUVOLARI, A.(2012). Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Editora Edigard Blucher Ltda. São Paulo-SP.

# Capítulo 8

## *Intervenções ocorridas no Teatro São João no contexto do Sítio Histórico de Sobral*

*Eder Paulus Moraes Guerra*

**Resumo:** As intervenções em edificações representam um instrumento balizador desenvolvido pelos gestores urbanos no processo de tombamento do patrimônio histórico. A cidade de Sobral mantém preservado sítio histórico composto de 2.500 edificações tombadas, a maioria contida numa área de aproximadamente 1,484 km<sup>2</sup>. Dentre as diversas edificações situadas na área tombada está o Teatro São João, construído entre 1875 e 1880 e tombado pelo Estado do Ceará através do decreto nº 16237-1983 e posteriormente pelo Instituto do Patrimônio Artístico e Histórico Nacional (IPHAN), a edificação é referência na cidade por sua beleza e riqueza arquitetônica, com uma fachada que indica o grau de erudição artística da época. Os objetivos deste trabalho foram apresentar aspectos referentes ao tombamento realizado na cidade de Sobral, as intervenções feitas no Teatro São João e o estado de conservação atual deste. A metodologia utilizada baseou-se em pesquisas bibliográficas e documentos, além de registros por meio de câmera fotográfica e fissurômetro com fim de apresentar o estado de conservação da edificação. O processo de tombamento em Sobral levou em consideração o valor artístico e arquitetônico das edificações e os traços e complexos históricos relativos à dinâmica funcional e morfológica atual dos espaços sociais. A edificação foi submetida a 04 (quatro) intervenções, durante os anos de 1875 a 1885, 1940, 1973 e 2003, com diferentes objetivos e procedimentos, de modo que atualmente o pavimento subterrâneo apresenta estado de conservação que compromete a segurança estrutural e à estética da edificação.

**Palavras-chave:** Conservação. Intervenções. Patrimônio Histórico. Sobral. Teatro São João.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Sobral, localizada na zona norte do Estado do Ceará, detém um valioso Patrimônio Histórico composto de um conjunto arquitetônico e urbanístico que abrange uma área que se estende desde a margem esquerda do rio Acaraú à Rua Coronel Mont'Alverne, na região central da cidade. Essa área é delimitada por uma poligonal que guarda os equipamentos que dão forma ao conjunto urbanístico do centro histórico dessa cidade.

Considerar uma edificação como uma construção que necessita de estudo e conservação é afirmar que a mesma representa um testemunho histórico de valor cultural e instrumento balisador das ações de preservação e conservação exercidas pelos agentes responsáveis pela gestão urbana. Tradicionalmente, o processo de tombamento conferiu preferência às edificações do período colonial justificadas pelo plano urbanístico da cidade. (JÚNIOR, 2012).

A elaboração de um plano de ação para restauro de uma edificação deve estar vinculada à realização de: levantamento arquitetônico, mapeamento dos danos e proposta de restauro. Existem inúmeras dificuldades em realizar-se uma proposta de intervenção em edificações históricas, como o desconhecimento dos materiais utilizados na época da construção e das técnicas construtivas utilizadas, portanto, é comum a manutenção das fachadas e destruição total do seu interior. Outro fator a ser considerado é que intervenções sem planejamento ou utilização da técnica inadequada podem levar ao aparecimento de inúmeras manifestações patológicas, causando danos ao edifício. (PEREIRA, 2010; BORGES et al., 2014; TAVARES et al., 2010).

No Brasil, é comum existirem intervenções irregulares e danosas às edificações, sendo de extrema importância a adoção de estratégia de conservação dos imóveis tombados pelo IPHAN aliado ao estímulo do setor privado à preservação do patrimônio e incentivo institucional aos municípios. (JÚNIOR, 2012).

A metodologia utilizada para a realização do presente trabalho baseou-se em pesquisas bibliográfica e documental. Foram analisados inventários de bens e registros históricos realizados nas diferentes épocas das intervenções construtivas do Teatro São João, localizado na cidade de Sobral-Ce. Além disso, foram utilizados registros fotográficos e fissurômetro para medição de trincas e fissuras em diferentes partes do teatro.

O presente estudo objetiva apresentar aspectos referentes ao tombamento do patrimônio histórico da cidade de Sobral, evidenciar as intervenções realizadas no Teatro São João e apontar o seu atual estado de conservação. Para isso foram realizados levantamentos de datas e fatos relevantes à pesquisa. Ao final, espera-se que o presente artigo seja um instrumento de pesquisa para futuros trabalhos e que auxilie os responsáveis pelas edificações na adoção de futuras intervenções.

## 2. PATRIMÔNIO HISTÓRICO

A Carta de Veneza de Maio de 1964, importante documento aprovado pelo Segundo Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, define monumento histórico como a criação arquitetônica isolada, bem como o sítio urbano ou rural que dá testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Estende-se não só às grandes criações, mas também às obras modestas, que tenham adquirido, com o tempo, uma significação cultural. (ICOMOS, 1964).

Em outras palavras, podemos definir patrimônio histórico como sendo toda a edificação ou área urbana que retrata a narrativa dos estilos e manifestações arquitetônicas relevantes para a construção de uma imagem, caracterizando a identidade cultural de um lugar. (FREITAS, 2000).

Tendo em vista que patrimônio histórico representa uma fonte rica de informações sobre o crescimento de um meio urbano ou rural, dando evidências de suas evoluções no decorrer do tempo, faz-se importante a preservação do mesmo, buscando manter suas características físicas que revelam traços da época em que ele foi construído. E um dos instrumentos que os órgãos públicos possuem para atingir esse objetivo é o tombamento. Assim, “[...] o tombamento é um ato administrativo, realizado pelo poder Público, a fim de preservar bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e afetivo impedindo que sejam descaracterizados ou destruídos.” (BORGES et al., 2014, p. 25).

Um importante marco que contribuiu para consciência de preservação de edificações de interesse histórico ou artístico das diversas nações foi a Carta de Atenas de Outubro de 1931 elaborada durante o I Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos em Monumentos. Abordaram-se nesse evento a importância da educação no que tange o resguardo de bens históricos, as técnicas e medidas de conservação que deveriam ser tomadas por cada Estado, ponderando sobre os interesses públicos e particulares.

Em Maio de 1964, um novo documento é aprovado, a Carta de Veneza, durante o II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos em Monumentos Históricos. Esta teve por objetivo reexaminar os princípios da Carta para aprofundá-las e dotá-las de um alcance maior em um novo documento. Assim, a sensibilidade e o espírito crítico se dirigem para problemas cada vez mais complexos e diversificados. (ICOMOS, 1964).

No Brasil, a preocupação com a conservação dos patrimônios históricos ficou mais evidente a partir de 1936, quando se elaborou, com a colaboração de Carlos Drummond de Andrade e Manuel Bandeira, políticas específicas direcionadas aos órgãos que objetivavam a preservação da cultura.

Nesse contexto, técnicos foram preparados e os tombamentos foram realizados, possibilitando que algumas edificações históricas apresentem estado atual de conservação semelhante ao original. Ressalta-se que a participação, nesse processo, do Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), atualmente IPHAN, responsável pela identificação, catalogação e conservação da história brasileira, inclusive sítios e bens móveis e imóveis.

## 2.1. INTERVENÇÕES EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

O estado de degradação e os objetivos implícitos nas intervenções envolvem inúmeros processos como manutenção, conservação, reabilitação e reconstrução. A manutenção de um edifício está relacionada com as ações realizadas rotineiramente para manter a edificação no estado próximo ao original. O conceito de conservação está relacionado com o estado e não com a atividade em si, remetendo a ações de segurança frente aos acidentes históricos e à proteção e reabilitação ativa. Reabilitação está associada a ações de garantia da sobrevivência e preservação futura da edificação, não se enquadrando os casos de demolição total do interior da edificação e manutenção das fachadas. A reconstrução remete à ideia de reconstrução do desenho ou concepção baseado em documentos ou evidências com reposição parcial ou total dos elementos da edificação. (TAVARES et al., 2010).

A preservação do patrimônio histórico pode ser realizada a partir do método romântico, arqueológico, histórico e científico. O método romântico procede-se quando não há registros históricos e as edificações são recuperadas e revitalizadas com fidelidade e saudosismo. O método arqueológico proíbe a reconstrução, exceto que se utilize de métodos e materiais originais. O método histórico fundamenta-se na ideia de que o edifício deve ser recuperado de forma fidedigna, com uso de documentação e sem alteração do local da área construída e de seu espaço volumétrico. O método de preservação científica é baseado em dados arqueológicos e documentos históricos, no qual há intervenção na edificação, permitindo uma nova utilização, desde que seja mantido o partido da mesma. (CASTELNOU, 1992).

As intervenções realizadas numa determinada estrutura sempre devem ser realizadas com o cálculo estrutural, e pode estar destinada a alterar o uso da edificação (caso em que haverá um aumento na carga de utilização) ou em decorrência de danos à estrutura. De maneira geral, uma estrutura deve apresentar condições mínimas de segurança, funcionalidade e estética em função das ações e das influências ambientais que venham a atuar sobre a mesma durante a sua vida útil. Muitas vezes determinado material não apresenta as propriedades esperadas, em condições normais de uso, verifica-se a perda ou queda de desempenho de um elemento ou conjunto estrutural e de suas instalações, apresentando manifestações patológicas e consequentes danos a tal ponto de a continuação do uso e possíveis reparos são considerados inseguros ou antieconômicos. As manifestações patológicas existentes numa estrutura podem ser de diversos tipos, como problemas relacionados à umidade, trincas e fissuras, manifestações no revestimento e corrosão. (ANDRADE, 1997; ANDRADE e SILVA, 2005; FIGUEIREDO, 2003; SOUZA e RIPPER, 1998).

Assim, na execução de um reforço de estruturas devem ser realizados procedimentos básicos, tais como: definição das peças que deverão receber reforço, seguido de reconstituição ou aumento das características geométricas, de resistência e desempenho; indicação do uso de escoramento; estabelecimento do grau de segurança em que se encontra a estrutura antes, durante e depois da execução do reforço; definição da técnica construtiva a ser realizada e dos custos envolvidos. (SOUZA; RIPPER, 1998).

## 2.2. SÍTIO HISTÓRICO DE SOBRAL

A cidade de Sobral, localizada no Interior do Ceará destaca-se pelos prédios históricos ao longo do centro comercial. Essa área, que alguns autores o denominam de Centro Histórico de Sobral, é composta por inúmeros imóveis e espaços públicos que foram considerados Monumento Nacional. Ao todo, são mais de 2.500 imóveis e espaços públicos reconhecidos através de tombamento de iniciativa do IPHAN no ano 2000, distribuídos em duas áreas: o sítio histórico de Sobral, localizado no centro da cidade, e entorno. Entre esses imóveis, 250 são historicamente notáveis. (RODRIGUES, 2012). Nesse sentido, “[...] essa poligonal tem um perímetro total de 5,33 Km com uma área de 1,484 Km<sup>2</sup>, sendo a área de preservação rigorosa (interna) de 0,455 Km<sup>2</sup> e a área de proteção (entorno) 1,029 Km<sup>2</sup>, mais vasta.” (COSTA; CRUZ; ALVES, 2008, p. 182).

A área de proteção (entorno) envolve a área de preservação rigorosa, sendo uma forma de proteção para a área efetivamente tombada. Dentre os imóveis que fazem parte da área de preservação rigorosa, podemos citar: o Teatro e a Praça São João; a Casa da Cultura ou o Solar dos Figueiredo; o Museu Diocesano Dom José e Igreja do Menino Deus.

Porém, diferenciando-se da forma convencional de designação do Patrimônio Histórico no Brasil, no caso de Sobral, o que se levou em consideração para o processo de tombamento foi o levantamento do valor artístico e arquitetônico das edificações isoladas. Como também, a identificação de marcas deixadas nos espaços por traços e complexos históricos considerados importantes e o levantamento de dados relativos à “dinâmica funcional” (a construção do espaço e das edificações com base na sua função) e morfológica atual dos espaços sociais da cidade também foram critérios importantes para o tombamento do patrimônio histórico de Sobral. (FREITAS, 2000)

Assim, pode-se concluir que o tombamento dessa área foi um importante marco histórico para a cidade de Sobral, pois além de inovar no que diz respeito à definição do conceito de patrimônio histórico, adotando uma nova designação para esse termo na região, ele lembrou à população regional a importância da preservação desses espaços. Visto que estes testemunham o processo de formação morfológica do centro da cidade.

Diante disso, faz-se importante a recuperação de edificações históricas, e o Teatro São João é exemplo de edificação que teve de ser restaurada para ter seu valor recuperado, como uma maneira de ajudar os moradores a perceber o valor cultural existente na região.

## 2.3. O TEATRO SÃO JOÃO

Contido na poligonal de preservação rigorosa (Figura 1), o Teatro ou Cineteatro São João, está localizado na Travessa da Praça São João, de propriedade da Prefeitura Municipal de Sobral, tendo sido inaugurado em 26 de setembro de 1880. Atualmente, o referido teatro é conhecido por sua beleza e riqueza arquitetônica, sendo a fachada sua principal característica (Figura 2). A edificação contém aspectos que retratam o elevado grau de erudição artística da classe dominante da época, embora, durante sua construção, Sobral tenha sido atingida por uma estiagem entre os anos de 1877 e 1878, o que interferiu no transcorrer das obras. Tombada pelo IPHAN e pelo Estado do Ceará através do Decreto Nº 16.237, consta no livro do Tombo Artístico, na data de 30 de novembro de 1983, como primeiro tombamento do município (IBA, 2005).

Figura 1- Localização do Teatro São João dentro da área de preservação rigorosa



Fonte: Secretaria da Cultura de Sobral

Figura 2: Fachada do Teatro São João



Fonte: Autor

Uma descrição desta edificação pode ser vista no Inventário de Bens Arquitetônicos (IBA) IPHAN:

As Planta baixas do edifício caracterizam-se por uma segregação de usos, na porção mais próxima a praça encontram-se, no pavimento térreo, o foyer, a bilheteria e os banheiros, já no pavimento superior encontra-se um grande salão nobre.

Na parte mais Central da edificação está o setor da platéia, no térreo os acentos estão voltados para o palco, tanto dentro como fora da mureta em forma de ferradura. Já no pavimento superior os acentos estão voltados radialmente para o vazio que possui a mesma forma de ferradura da mureta do pavimento térreo. O acesso para esse pavimento superior se dá por duas grandes escadas helicoidais próximas aos banheiros.

Na parte posterior da edificação estão o palco, que se separa da platéia por uma grande boca de cena, e duas portas arcadas nas laterais. Por traz do palco existem tanto o acesso ao porão que está sob o a caixa de palco como o acesso ao dois pavimentos superiores de camarins. Nessa porção do edifício também existe uma entrada de serviço [...] O teatro implanta-se em toda uma quadra, [...] as fachadas laterais possuem um grande recuo formando jardins cercados por um gradil (IBA,2005).

A construção de um teatro em Sobral foi uma iniciativa da Sociedade Cultural União Sobralense, criada em 1875 com a finalidade de promover o desenvolvimento cultural da Cidade. A União Sobralense solicitou à Câmara Municipal de Sobral licença para a construção do Teatro São João, projeto de João José da Veiga Braga, que seguia o estilo do teatro tradicional com dois níveis superiores de camarotes, piso em madeira e cadeiras revestidas em couro, matéria-prima característica da região. Embora muitos considerem que o Teatro São João tenha inspiração italiana e estilo neoclássico, teve por modelo inspirador o Teatro Santa Isabel, do Recife, ainda assim, é um dos raros exemplos brasileiros do período que apresentam na fachada um frontão em arco. Porém no Teatro Santa Isabel, isso não ocorre. (GIRÃO; SOARES 1997).

Em outras palavras, “[...] a fachada do São João, em uma única volumetria, é sua principal característica, cujo frontão em arco rompia com o paradigma do frontão triangular sem, entretanto, fugir ao desenho de padrão neoclássico. Esta originalidade torna o São João um exemplar raro no Brasil”. (ROCHA, 2003, p.28)

Percebe-se, então, que muitos autores consideram que o Teatro São João, embora tenha sido inspirado em outros modelos italianos já existentes, possui características peculiares, tornando-o notável e original, pelo fato de possuir como inovação um frontão em arco. Aliás, nota-se que esse Teatro testemunha o caráter artístico e cultural da elite sobralense, que se preocupou com as artes teatrais, não só pelo Teatro São João, mas pelo Teatro Apolo, que já existia na cidade antes daquele.

Além disso, esse patrimônio está localizado no entorno de outros patrimônios históricos de Sobral, podendo ser citada, a Praça São João, o Museu Diocesano Dom José, a Igreja do Menino Deus e a Casa da Cultura. E esse fato contribui com seu valor e com “[...] a riqueza da linguagem arquitetônica que se manifesta na paisagem urbana.” (COSTA; CRUZ; ALVES, 2008, p.142)

É bem verdade que ao longo do tempo o referido teatro passou por significativas intervenções construtivas que visavam sua reabilitação e, algumas vezes, reconstrução de partes internas. Dentre essas interferências, foram notáveis as modificações que ocorreram nos anos de 1940, 1973 e 2003.

Inicialmente, no ano de 1940, o Teatro, então denominado Cineteatro, devido às constantes apresentações cinematográficas apresentadas, passou por modificações em seu interior com intuito de remodelar completamente o prédio. Estas foram empreendidas por Falb Rangel.

Posteriormente a vários períodos de atividades descontínuas que, inclusive, o abandono levou à ruína e ao desabamento do teto do Teatro, a segunda grande reforma realizada no ano de 1973, tinha como finalidade reabilitá-lo por ocasião das comemorações do bicentenário da Cidade de Sobral. Tal reforma, embora modificadora, impulsionou a valorização das artes teatrais na cidade, pois a partir de então o teatro passou a ser utilizado com frequência.

Nesse sentido, convém destacar o disposto por Girão e Soares (1997, p.75):

No dia 12 de janeiro, informa-se que o Teatro passa por nova reforma, empreendida pela prefeitura. A nota afirma que a casa se encontrava fechada havia alguns anos e que, pelo abandono, as obras tiveram de se iniciar desde o alicerce até a cobertura. Os trabalhos, que passaram pelas administrações de Joaquim Barreto Lima e José Parente Prado, compreendiam serviços de demolição e construção, inclusive de uma cobertura em estrutura metálica. A inauguração estava prevista para o mês de julho, no período de comemoração do bicentenário da Cidade.

Em 2003, ocorreu a última restauração do teatro, sendo esta a mais notável devido ao rigoroso processo arqueológico realizado com o objetivo de obter evidências que ajudariam a devolver ao teatro suas características iniciais já que, devido às anteriores reformas, encontrava-se modificado, principalmente seu interior.

O trabalho de prospecção *in locu* foi realizado em 2001 pelo Laboratório de arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), tendo como coordenador da equipe de arqueólogos o Professor Marcos Albuquerque. Foram realizadas escavações na entrada, paredes, camarotes, piso, palco e plateia, fazendo uso de câmeras digitais e computação gráfica, culminando com a reinauguração do Teatro no dia 29 de Dezembro de 2004. A pesquisa arqueológica no Teatro São João significou descobrir evidências das suas modificações e adaptações ao longo do tempo. Essa descoberta possibilitaria devolver suas características iniciais, apesar de não totalmente, bem como a antiga disposição de seus espaços interiores. Fazer isso era como mergulhar no passado em busca das raízes sobralenses e utilizá-las naquele momento como referencial que explicaria a formação daquela sociedade, já que esse estudo traria marcas dos ciclos econômicos pelo qual atravessaram a região e do caráter artístico da elite envolvida no empreendimento do Teatro. (EXPRESSO, 2002).

Durante o criterioso trabalho de busca às feições originais do teatro foram descobertas grandes modificações feitas ao longo do tempo nas anteriores reformas. Como resultado do levantamento arqueológico, constatou-se que durante as escavações, houve a descoberta de uma platéia em forma de ferradura, o que comumente caracteriza o teatro tipo italiano. Há indícios de que tal platéia foi construída na mesma época em que ocorreu o início desse tipo de construção. Ademais, é importante destacar que as duas linhas de camarote existentes no teatro São João, foram modificadas por apenas uma, a fim de devolver ao edifício sua originalidade. (PINTO, 2009)

Pode-se observar na Figura 3, registradas durante as pesquisas arqueológicas, evidências de que na construção inicial não estava previsto duas linhas de plateia, e que estas foram adicionadas em alterações posteriores, numa data não precisa, já que seria impraticável no projeto original prever um patamar com linha de nível atravessando as aberturas dos vãos. Ainda nessa mesma imagem ao centro percebe-se que havia uma janela que teria sido emparedada, esta dentre outras encontradas. Da mesma forma, a Figura 4 evidencia que o piso da plateia, localizado na área central e encontrado com suas alvenarias e fundações aterradas, era em forma de ferradura, do teatro tipo italiano. Essa solução era usual à época e permitia com o rebaixo do piso uma curva de visibilidade mais privilegiada.

Figura 3: Linhas de camarotes adicionadas em tempos mais recentes



Fonte: Arquivo de Ricardo Rodrigues

Figura 4: Piso da platéia tipo ferradura/italiano



Fonte: Arquivo de Ricardo Rodrigues

As Figuras 5 e 6 mostram antes e depois da substituição dos dois níveis de camarotes pela solução concebida no desenho original, ou seja, apenas um nível.

Figura 5: Linhas de camarotes antes da prospecção de 2003



Figura 6: Linha de camarotes depois da prospecção de 2003



Além desses dados históricos, houve outras modificações que foram feitas com a finalidade de deixar o Teatro São João como era originalmente. Dessa forma, ressalta-se:

O desenho original da curva da alvenaria que delimita o bordo do procênio, foi encontrado sob o aterro existente e reconstruído em seu desenho original mais elegante e equilibrado.

A boca de cena visivelmente alterada em sua largura e fechamento superior com elementos construtivos retilíneos de concreto armado, foi recomposta com

o fechamento em arco abatido de desenho original, conforme registro fotográfico.

Foram removidos elementos de concreto – escadas e plataformas – na área do palco, elementos esses apostos em data recente e inadequados às necessidades técnicas e ao sistema de movimentação da mecânica cênica.

As aberturas de vãos de acesso ao palco e nichos encontrados sob emparedamento, foram reabertos ou deixados à mostra como registro.

As escadas de acesso até então existentes interligando a plateia aos dois balcões e visivelmente estranhas aos níveis e às aberturas dos vãos das portadas laterais, foram removidas e substituídas por escadas novas metálicas de desenvolvimento helicoidal, resgatando a solução de acesso anteriormente existente. (Rodrigues, 2005)

Percebe-se que o esforço empreendido no Teatro na busca dos seus traços iniciais foi importante, pois mesmo que não tenha sido preservado integralmente suas características ao longo dos seus 140 anos de existência, traria direta e indiretamente benefícios à cidade. Um deles seria o aumento de visitantes à região e ao próprio Teatro.

### 3. RESULTADOS

Atualmente, a cidade de Sobral apresenta como aspecto principal do seu tombamento a criação de uma área de preservação rigorosa de 0,455 km<sup>2</sup> e de seu entorno medindo 1,484 km<sup>2</sup> estabelecidos através de estudos realizados pelo IPHAN e de acordo com o plano urbanístico da cidade, elaborado pela Prefeitura municipal. Assim, esse aspecto diz respeito não à realização do tombamento isolado de edificações, mas a preservação de toda uma área que representa a dinâmica funcional da cidade e sua história, notadamente os seus diferentes ciclos econômicos.

No que diz respeito ao Teatro São João, a Tabela 1 apresenta os principais objetivos das intervenções ocorridas, suas consequências relevantes, bem como algumas observações. Esses dados estão organizados pelos seus respectivos anos de ocorrência. Vale salientar que durante as pesquisas algumas informações eram imprecisas ou simplesmente não havia dados.

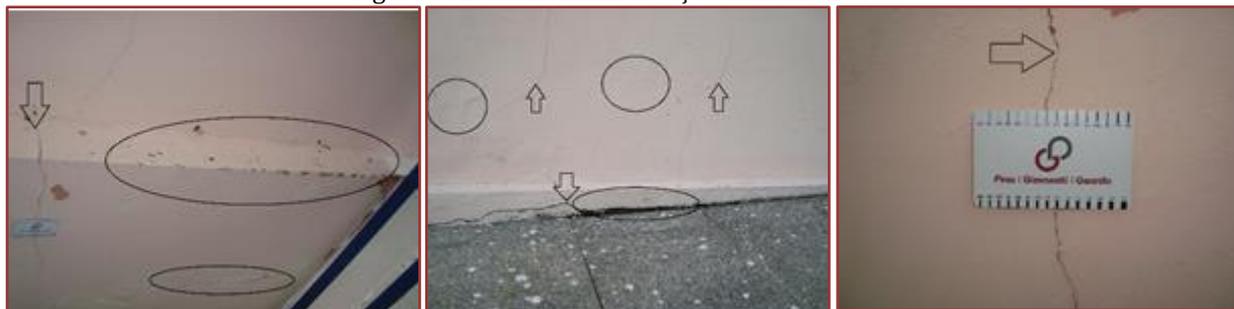
Tabela 1 – Principais objetivos e modificações das intervenções no Teatro São João ao longo dos anos

	1875 - 1885	1940	ANO 1973	2003
Objetivos	Construção do Teatro São João pela Sociedade Cultural União Sobralense	Desconhecido	Recuperar o Teatro por ocasião das comemorações do bicentenário da Cidade de Sobral e estimular suas atividades, pois estava inativo	Devolver ao Teatro a suas características originais, adotadas quando da sua construção
Intervenção	Não se aplica	Embora não se tenha registros do que exatamente foi feito, remodelou-se completamente o interior do prédio	Devido ao abandono, as obras abrangeram desde o alicerce até a coberta; executou-se a demolição de áreas imprecisas; construção de uma coberta metálica	Duas linhas de camarotes foram substituídas por apenas uma; devolveu-se à plateia a forma de ferradura; o bordo do proscênio foi reconstruído em seu desenho original; a boca de cena foi remodelada conforme tamanho e formato original; foram removidas as escadas e plataformas do palco; reaberto os vãos outrora vedados; substituíram-se as escadas de acesso às plateias por escadas tipo helicoidais, conforme solução original
Observações	Durante a construção a região passou por uma estiagem	-	O teto ruiu, levando ao seu desabamento	Os principais traços originais do Teatro foram resgatados através de prospecção arqueológica em 2001 pelo Laboratório de arqueologia da UFPE

Fonte – Autor

Em seguida, será apresentado o atual estado de conservação da edificação, com registros fotográficos de manifestações patológicas e medição das trincas e fissuras. A edificação foi dividida em três áreas: externa, pavimento térreo e pavimento subterrâneo. As trincas e fissuras estão destacadas com setas indicativas, enquanto as demais estão indicadas com a utilização de círculos.

Figura 7: Estado de conservação da área externa



Fonte: Arquivo do autor

Figura 8: Estado de conservação do pavimento térreo



Fonte: Arquivo do autor

Figura 9: Umidade e corrosão no pavimento subterrâneo



Fonte: Arquivo do autor

A partir das Figuras 7, 8 e 9, percebe-se que há pontos com manifestações patológicas em comum e pontos com manifestações patológicas particulares a determinadas áreas da edificação. Na área externa, as manifestações patológicas verificadas foram relacionadas às trincas e fissuras, problemas nos revestimentos e relacionados à umidade. Na área do pavimento térreo, as manifestações patológicas verificadas estavam restritas às trincas e fissuras e problemas no revestimento. Dessa forma, visivelmente não há dano à segurança estrutural da edificação, verifica-se somente dano à estética. Enquanto na área do pavimento subterrâneo verifica-se, além de manifestações patológicas, caracterizados por trincas e

fissuras, problemas no revestimento associado à elevada incidência de pontos com umidade e corrosão da estrutura de sustentação do palco. Assim, esta última área apresenta estado visível de dano à estrutura e à estética. A Tabela 2 mostra a localização e os diversos tipos de manifestações patológicas encontradas.

Tabela 2: Síntese das manifestações patológicas verificadas na edificação.

	Ambiente		
	Exterior	Pavimento térreo	Pavimento subterrâneo
Problemas relacionados às trincas e fissuras	X	X	X
Problemas relacionados às manifestações no revestimento	X	X	X
Problemas relacionados às manifestações de umidade	X		X
Problemas relacionados à corrosão			X
Apresentam risco eminente à segurança estrutural			X

Fonte: Autor.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de tombamento do patrimônio histórico de Sobral destaca-se no cenário nacional por ter sido realizado a preservação de uma área e do seu entorno, no qual demonstram o desenvolvimento do seu espaço urbano. Esse tipo de tombamento tem sido eficaz na preservação de espaços e monumentos históricos e reafirma à sociedade o papel de agente atuante na defesa do patrimônio. O tombamento e as intervenções realizadas no Teatro São João inserem-se nesse cenário, visto que cada inclinação artística e cultural da elite sobralense foi observada na construção da edificação, sendo inovador em diversos aspectos, ainda que a falta de interesse em décadas passadas acerca da manutenção de suas partes internas originais o tenha levado a uma descaracterização (em 1940 e 1973) e recuperada posteriormente em uma intervenção (em 2003).

Dessa forma, no que diz respeito ao estado de conservação do Teatro São João, a última intervenção realizada na edificação mostrou ser instrumento eficazes na recuperação do mesmo, visto que o estado de conservação atual apresenta-se visualmente satisfatório, com exceção do pavimento subterrâneo, o qual apresenta inúmeras manifestações patológicas causando danos à estrutura e estética, mas que podem ser reparados, se imediatos. Assim, espera-se que este trabalho seja um instrumento inovador quanto às informações acerca do processo de tombamento sobralense e das intervenções no Teatro São João, auxiliando os gestores na adoção de medidas futuras com o objetivo de manter seus traços e beleza originais.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Andrade, J. J. O. (1997). Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [2] Andrade, T., Silva, A. J. C. (2005). Concreto: ensino, pesquisa e realizações: Patologia das Estruturas. São Paulo: Ibracon, 2005. 787 p. Editor Geraldo Cechella Isaia.
- [3] Borges, E. A. M. et al. (2014). Mapeamento de danos em monumento histórico art déco. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiás, v. 8, n. 3, p.1-5, 11 jun. Bimestral. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br>>. Acesso em: 28 jan. 2017.
- [4] Castelnou Neto, A. M. (1992). A intervenção arquitetônica em obras existentes. Semina: Ci. Exatas/Tecnol., Londrina, 13 (4), 265-268.
- [5] Costa, A. C. C., Cruz, A. N., Alves, M. C. S. (2008). Sobral, a preservação do sítio histórico a partir do seu tombamento. Sobral. Edição especial.
- [6] Duarte Júnior, R. (2012). Sítios Históricos Brasileiros: Monumento, Documento, Empreendimento e Instrumento - O caso de Sobral - CE. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [7] Albuquerque, M. A. G. M. (2002). Archeology of the São João Theater. Expresso Norte: Corredor cultural. Sobral, 04 p. Disponível em: <[www.brasilarqueologico.com.br](http://www.brasilarqueologico.com.br)>. Acesso em: 14 fev. 2017.

- [8] Figueiredo, A. C. (2003). Proposta de metodologia para estudo de patologias nas edificações do CTA – São José dos Campos. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo.
- [9] Freitas, N. A. (2000). Sobral - Opulência e Tradição. Sobral, Edições UVA.
- [10] Girão, G. G. S. M.; SOARES, M. N. M. (1997). Sobral: História e Vida. Sobral, Edições UVA.
- [11] Icomos. (1964). Carta de Veneza. Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos – IPHAN 2011. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- [12] Inventário de Bens Arquitetônicos, IBA. (2005). Teatro São João. Sobral, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN.
- [13] Pereira, R. L. (2010). Um método alternativo de levantamento e avaliação de danos em edificações de valor histórico. Recife: Diretoria de Preservação do Patrimônio Cultural - DPPC/Secult. Disponível em: <<http://www.lopesvaladares.com.br>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- [14] Pinto, J. J. de S. (2009). Os novos palácios da velha Princesa: Intervenções arquitetônicas no sítio histórico de Sobral. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [15] Rocha, H. (2003). O lado Esquerdo do Rio. São Paulo, Editora Hucitec.
- [16] Rodrigues, A. R. B. (2005). Prêmio IAB Jornalismo: Teatro São João – Sobral - Ce. Fortaleza.
- [17] Rodrigues, J. (2012). Sobral tem 2 mil prédios tombados. Diário do Nordeste, Fortaleza, 05 jul. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br>>. Acesso em: 11 fev. 2017.
- [18] Silva, L. F. da. (2004). Técnicas de Restauração do Patrimônio histórico. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.
- [19] Souza, V. C., Ripper, T. (1998). Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo, PINI.
- [20] Tavares, A. et al. (2010). Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro Inovadomus, Portugal.

# Capítulo 9

## *As possibilidades de atuação do engenheiro de produção na Modelagem da Informação da Construção (BIM)*

*Judith Ferreira Campos*

*Maria Aparecida Fernandes Almeida*

**Resumo:** O objetivo geral deste trabalho é analisar novas possibilidades de atuação para o profissional da Engenharia de Produção no setor da construção civil, a partir das novas relações de trabalho e processos oriundos da implantação da Modelagem da Informação da Construção ou “*Building Information Modeling*”(BIM),pela indústria da AECO (Arquitetura,Engenharia, Construção e Operação) e suas transformações. O BIM recentemente passou a ser exigido no Brasil através de políticas públicas o que criará diversas possibilidades de atuação do Engenheiro de Produção na AECO.

Serão apresentados os resultados de uma pesquisa bibliográfica sobre os desafios encontrados,as possibilidades e perspectivas futuras de atuação do Engenheiro de Produção na área da Modelagem da Informação da Construção. Desta maneira, espera-se contribuir para a discussão sobre a abrangência dos campos de conhecimento e atuação da Engenharia de Produção.

**Palavras-Chave:** *Building Information Modeling*. Engenharia de Produção. Dimensões do BIM. *Lean Construction*.

## 1. INTRODUÇÃO

A Engenharia de Produção é uma Engenharia moderna, derivada da Engenharia Mecânica. Esse desdobramento se deu em resposta a necessidade de se organizar os sistemas produtivos que começaram a ficar mais complexos a partir da Segunda Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX. Entre seus precursores podem ser citados: F.W. Taylor, Frank e Lillian Gilbreth, Henry Gantt, Walter A. Shewhart e Henry Fayol. Como diferencial, frente às outras Engenharias, podemos destacar seu foco gerencial, o que permite flexibilidade na atuação devido à sua percepção holística dos processos. Além disso, é também multidisciplinar, o que exige desse profissional constante atualização sobre tecnologias e metodologias de gestão, a fim de se manter no mercado e para garantir a competitividade do negócio em que atua. De acordo com ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção) são contribuições dessa Engenharia:

“Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologia, informação e energia. (...)”. (PORTAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019).

Ou seja, o Engenheiro de Produção é um profissional com atuação versátil capaz de contribuir com seus conhecimentos nos mais diversos sistemas produtivos, não somente no setor industrial, o mais tradicional, como também no de serviços. Atualmente no Brasil podem ser encontrados Engenheiros de Produção trabalhando no agronegócio, hospitais, bancos, varejo, startups e na construção, que é área desse estudo.

Na construção civil, esse profissional tem atuado nos setores financeiro, comercial, logístico, planejamento e gestão de contratos. No entanto, a política do governo federal de adoção do BIM pode abrir novas frentes de atuação para os Engenheiros de Produção, já que essa modelagem requer uma nova organização do trabalho na construção civil para funcionar adequadamente.

Segundo Arnal (2018), a Teoria das 10 Dimensões BIM inclui “ferramentas / meios / propósitos que ajudam a entender o processo de construção como ferramentas digitais de modelagem tridimensional que, juntamente com um banco de dados, leva a uma nova maneira de trabalho denominada de processos colaborativos. O intuito desta abordagem é alinhar todos os agentes que participam do ciclo de vida de um edifício, empreendimento para chegar ao estágio de construção industrializada”. A Teoria das 10 Dimensões é sumarizada a seguir:

- **Dimensão 1:** implica a implantação de protocolos BIM: documentos, padronizações, normas em um país ou organização;
- **Dimensão 2:** é baseada na introdução de fluxos de trabalho colaborativos e envolve novas maneiras de contratar e criar um compromisso com soluções de gerenciamento integradas;
- **Dimensão 3:** trata da modelagem digital e, a essa dimensão, adiciona-se o 3D + que traz identificação de inconsistências, captura de realidade e produtos BIM;
- **Dimensão 4:** trata do planejamento temporal, precisamente vinculado a cada um dos elementos modelados e vinculado;
- **Dimensão 5:** lida com a economia do projeto ou como cada elemento BIM, é sincronizado com seu preço, sua origem, sua instalação e os custos de sua implantação e manutenção;
- **Dimensão 6:** trata da sustentabilidade dos projetos e da construção focada em seu vértice ambiental, tal como a sua contabilidade de CO<sub>2</sub>;
- **Dimensão 7:** é dedicada à operação e manutenção de instalações construídas e ativos manufaturados;
- **Dimensão 8:** voltada para o conceito de Acidente Zero, para segurança e saúde durante o projeto e a fase de manutenção das construções;
- **Dimensão 9:** trata da introdução da filosofia de gestão enxuta no setor de construção, chamada de construção enxuta.
- **Dimensão 10:** é o objetivo comum de todas as outras dimensões, que é industrializar a construção, torná-la mais produtiva, integrando as novas tecnologias através de sua digitalização.

Figura 1: Dez Dimensões Bim



Fonte: BIM Community (2018).

Tendo como base a Teoria das 10 dimensões BIM, este trabalho pretende analisar e estabelecer para cada dimensão as potencialidades de atuação para o Engenheiro de Produção. O trabalho está dividido da seguinte forma. Esta seção 1 apresenta a introdução e uma visão geral sobre a interrelação das áreas. A seção 2 apresenta o referencial teórico. A seção 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo. A seção 4 apresenta os resultados encontrados e a seção 5 apresenta a conclusão do trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. BIM E AS POLÍTICAS DE IMPLANTAÇÃO NO BRASIL

BIM faz a modelagem 3D por meio da informação digital das características físicas e funcionais da construção, e a correlaciona com um banco de dados. No entanto, de acordo com Ruschel (2013), não é simplesmente a utilização da modelagem em 3D, ou uma nova tecnologia. É, na verdade, uma integração de tecnologia e processos, que abrange todo o ciclo de vida da edificação: desde o estudo de viabilidade até a demolição ou reforma. O *National Building Information Modeling Standards – NBIMS*, instituto que fornece os padrões para a BIM, nos Estados Unidos, define BIM como:

Uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Um modelo BIM é um recurso para o compartilhamento de informações sobre uma instalação ou edificação, constituindo uma base de informações organizada e confiável que pode suportar tomada de decisão durante o seu ciclo de vida; definido como o período desde as fases mais iniciais de sua concepção até a sua demolição. Uma das premissas básicas do BIM é a colaboração entre os diferentes agentes envolvidos nas diferentes fases do ciclo de vida de uma instalação ou edificação, para inserir, extrair, atualizar ou modificar informações de um modelo BIM para auxiliar e refletir os papéis de cada um destes agentes envolvidos. (PORTAL DONATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDART, 2019.)

O conceito de BIM não é tão novo, de acordo com EASTMAN (2014), essa metodologia não é recente, pois já é utilizada em outras indústrias, nas quais os custos de processo e desenvolvimento são expressivos, como a indústria química e automobilística. É uma evolução da metodologia CAD, *Computer Aided Design*, popular até os dias de hoje. Na década de 80, a partir da evolução da informática, os desenhos das vistas, dos cortes, feitos manualmente nas pranchetas em papel vegetal começaram a ser substituídos pelas ferramentas de desenho computacional, inicialmente 2D e com o passar do tempo em 3D. Até que nos anos 2000 o desenvolvimento dessas ferramentas culminou na modelagem BIM, CBIC (2017). A Autodesk principal empresa do segmento foi fundada em 1982, e no ano posterior lançou o AutoCAD, o primeiro CAD significativo para PCs, Autodesk (2017).

No Reino Unido, Cingapura e Chile os governos têm incentivado a adoção da técnica com a exigência de que obras com recursos públicas utilizem o BIM, CBIC (2017). No Brasil, BIM chegou em 2000, e começou a ser disseminado em 2010. De acordo com pesquisa realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) no ano de 2018 o número de empresas que utilizavam BIM correspondia a 9,2%. Santa Catarina foi o primeiro estado a publicar o Caderno BIM com orientações de padronizações para licitações de obras públicas.

O Decreto 14.473/2017 de 5 de junho de 2017 (BRASIL, 2017) instituiu temporariamente o Comitê

Estratégico de Implementação do “*Building Information Modeling*” no país com a finalidade de propor, no âmbito do Governo federal, a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling*-BIM. Após os trabalhos do Comitê sobre as diretrizes de implantação da Estratégia BIM no Brasil, o Decreto Nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (BRASIL,2018) instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* revogando o Decreto de 5 de junho de 2017 (BRASIL,2017). O Comitê Gestor, antes em caráter temporário, foi designado para atuação permanente nos direcionamentos da Estratégia BIM BR através do Decreto 9.983 de 22 de agosto de 2019 (BRASIL, 2019). Este decreto, vigente, dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* e institui o Comitê Gestor da Estratégia do *Building Information Modeling*.

No âmbito da legislação federal para obrigatoriedade de apresentação de projetos BIM em obras públicas, o recente decreto presidencial n. 9.983 de 22 de agosto de 2019 (BRASIL, 2019) vem reforçar a denominada Estratégia BIM BR criando seu Comitê Gestor:

Art. 5º Compete ao Comitê Gestor da Estratégia BIM BR:

I - Definir e gerenciar as ações necessárias para o alcance dos objetivos da Estratégia BIM BR;

II -Elaborar anualmente o seu plano de trabalho, que conterà cronograma e estabelecerá as ações prioritárias para o período;

III - Atuar para que os programas, os projetos e as iniciativas dos órgãos e das entidades públicas que contratam e executam obras públicas sejam coerentes com a Estratégia BIM BR;

IV -Promover o compartilhamento de informações e analisar o impacto das iniciativas setoriais relacionadas a BIM, com vistas à harmonização e à promoção de eficiência e sinergia entre as ações dos órgãos e das entidades públicas;

V - Acompanhar e avaliar periodicamente os resultados da Estratégia BIM BR e subsidiar as atividades de articulação e de monitoramento de programas de governo da Presidência da República, quando solicitado;

VI -Articular-se com instâncias similares de outros países e dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios;e

VII - Deliberar sobre a atualização e a revisão periódica da Estratégia BIM BR.(BRASIL,2019).

É possível de se afirmar que o Decreto 9.983 será substituído por outro que o complemente para atender as metas estabelecidas pelo Comitê Estratégico do BIM no documento já publicado pelo Ministério da Indústria e Comércio intitulado “Construção Inteligente” (MDIC, 2017).

O Comitê Gestor é composto de representantes na Casa Civil, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, Ministério da Defesa, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Ministério das Cidades, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão e da Secretaria- Geral da Presidência da República (MDIC, 2017). No referido decreto é visível à necessidade de uma nova formação:

Art. 2º A Estratégia BIM BR tem os seguintes objetivos específicos:

I - Difundir o BIM e seus benefícios;

II- Coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;

III- Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado em BIM;

IV- Estimular a capacitação em BIM;

V- Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;

VI- Desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;

VII- Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca NacionalBIM;

VIII- Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias

relacionadas ao BIM;e.

IX- Incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM. (BRASIL,2018).

O objetivo é promover o aumento da qualidade, eficiência e sustentabilidade das construções, além de tornar os processos de licitação mais transparentes. A iniciativa abrangerá desde as pequenas construtoras onde o SENAI oferecerá auxílio técnico, até as empresas de maior porte. Assim, a expectativa é de que haja um aumento de 10% na produtividade do setor e também uma redução de custo que pode chegar a 20%, segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI,2019).

Paralelo ao Decreto nº9.377, o governo federal divulgou o Livro de Estratégias BIM, em que apresenta um cronograma a ser adotado pelo Comitê Estratégico e os grupos lhe dão suporte (*Road Map*). A adoção do BIM será exigida de modo escalonado, em três fases conforme Figura 2:

Figura 2: Infográfico Escalonamento da Implantação das Estratégias BIM



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Com essas ações, o Brasil se apresenta junto dos países com incentivo a adoção do BIM, de acordo com a Figura 3.

Figura 3-Mapa dos Principais Países onde as iniciativas BIM são mais evidentes



Fonte: CBIC (2017).

O governo do estado de Santa Catarina foi o primeiro a publicar o Caderno de Projetos em BIM (2014) para determinação de padronização nas licitações de obras públicas. A Rede BIM Gov. Sul, agrega os governos estaduais do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e que estão, de forma colaborativa, planejando a implantação do BIM em seus projetos e obras públicas desde o início de 2015 (GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2017). O Estado do Rio de Janeiro através do Decreto Nº46.471 de 24 de outubro de 2018 instituiu a Estratégia Estadual de Disseminação do *Building Information Modeling* – BIM (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2018). A Gerência BIM na Paraíba, em parceria com a Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento da Paraíba (Suplan), inicia a implantação da plataforma BIM visando à redução de custos de obras (GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2019).

No Estado de Minas Gerais a regional da Câmara Brasileira de BIM (CBIM-MG) vem apresentando iniciativas para a difusão do BIM e, conseqüentemente o desenvolvimento de todo o setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação). Segundo o SINAENCO (2019) Minas Gerais já faz uso do BIM para gestão de obras internas cerca de 600 edifícios do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG). O Governo do Estado de Minas Gerais iniciou o processo de implantação da metodologia com o Termo de Abertura do Projeto de Implantação do *Building Information Modeling*, assinado no dia 14 de março pelo Secretário de Estado de Transportes e Obras Públicas pelo Diretor-Geral do DEER/MG (GOVERNODOESTADODE MINAS GERAIS, 2019).

A Prefeitura de Belo Horizonte, através de sua Portaria Nº005, de 14 de agosto de 2019, instituiu o Grupo técnico para implantação do *Building Information Modeling* no âmbito da Administração Direta e Indireta do Município de Belo Horizonte – GTBIM-BH (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2019).

## 2.2. CAD versus BIM

O BIM rompe os paradigmas e oferece maior eficiência para o projeto. Enquanto nas técnicas tradicionais ainda se utiliza o CAD (*Computer Aided Design*), sobretudo 2D, no BIM os desenhos são conceituais, realísticos e possuem uma dinâmica operacional mais rápida. Nesta os desenhos 3D são feitos independentes de um modelo em 2D, e os objetos da construção são representados por parâmetros e regras que determinam a geometria, e algumas propriedades não geométricas. Assim as modificações são automaticamente replicadas para todas as partes do projeto. Além disso, é possível desenhar geometrias complexas, que antes eram impraticáveis, e criar de uma biblioteca de objetos onde a empresa pode ser registrar suas melhores práticas, (Eastman et al, 2014).

## 2.3. A IMPLANTAÇÃO DA BIM E SUAS IMPLICAÇÕES

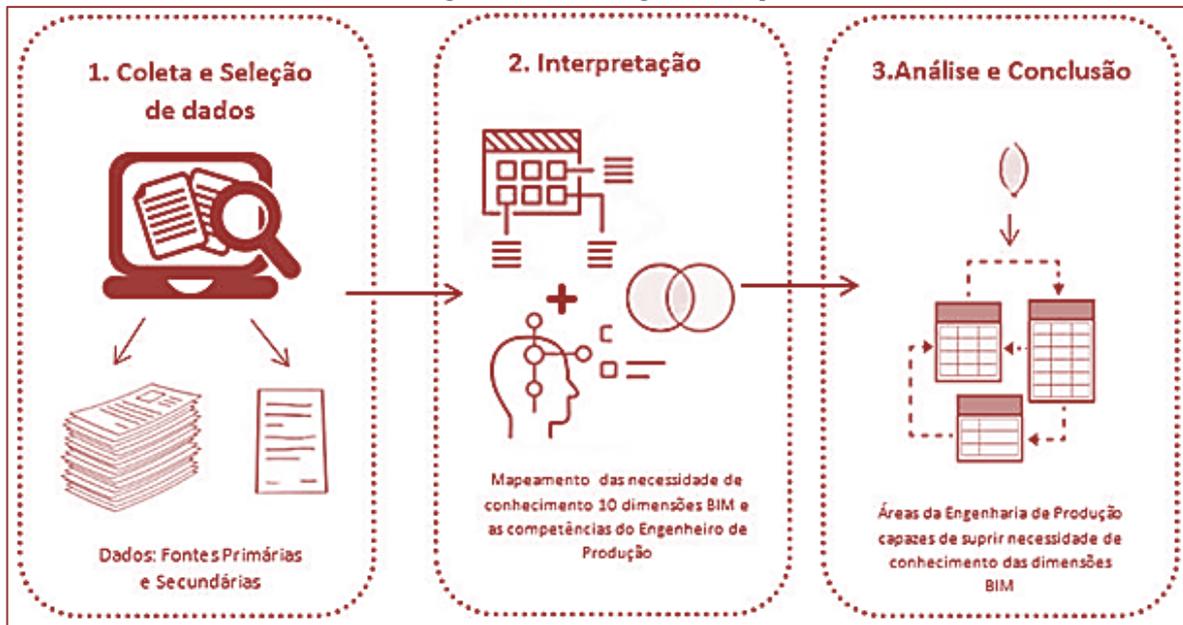
No BIM a representação gráfica passa a ser substituída pela simulação. Isso exige um perfil profissional diferente do tradicional que opera o CAD. O enfoque do projeto que passa a ser mais de planejamento e menos execução, o que requer capacitação da mão de obra, investimento em estrutura e processos. Não basta simplesmente aderir às ferramentas de tecnologia, é necessário que toda cadeia esteja integrada e capacitada para lidar com esse novo modelo. Além disso, sua implantação exige dedicação e constante reciclagem para sempre garantir o alinhamento de toda cadeia e adequação da modelagem. Esse tipo de modelagem garante competitividade no mercado, porém exige uma implementação bem executada.

Apesar disso, a metodologia torna a construção civil mais sustentável, pois permite através do protótipo virtual, simular a interação do edifício com o ambiente, fornecendo parâmetros importantes para os estudos e análises de energia, acústica, temperatura, estrutura etc. Assim é possível de se antever problemas na fase pré-obra, o que aumenta a confiabilidade nos prazos e custos estimados e a qualidade da edificação. O BIM também possibilita uma redução dos resíduos sólidos, e uma melhor gestão das matérias primas, bem como a manutenção da edificação posteriormente sua construção, uma vez que as informações da edificação ficam centralizadas. É possível acompanhar todo ciclo de vida da edificação, assim as atividades de manutenção se tornam mais eficientes e seguras, pois a metodologia trabalha sobre a perspectiva conhecida como *Human Factor Engineering*- HFE, na qual durante a fase de projeto já são considerados os acessos para as atividades de manutenção de modo, considerando a estrutura do corpo humano, altura peso para garantir uma preservação da segurança e saúde. Além disso, Modelos BIM podem ser usados como base de dados, para a realização de processos de manutenção e gestão de ativos, após a conclusão e entrega de uma obra.

## 3. METODOLOGIA

Este trabalho consistiu em uma pesquisa do tipo descritiva, com abordagem qualitativa, na qual a primeira etapa consistiu em um levantamento bibliográfico para se obter os principais conceitos, perspectivas e cenário da aplicação do BIM. O trabalho utilizou pesquisa com fonte secundária os dados da pesquisa Road Show BIM da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) para análise de cenário do uso de BIM no Brasil. Posteriormente, foram mapeadas as necessidades de conhecimentos para cada das 10 dimensões BIM, bem como as áreas de conhecimento pertencentes à Engenharia de Produção capazes de suprir cada uma dessas necessidades das dimensões.

Figura 4: Metodologia da Pesquisa



Fonte: elaborado pelas autoras (2019).

## 4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

### 4.1. NÍVEIS DE IMPLANTAÇÃO DO BIM

A complexidade da metodologia BIM leva a muitos estudiosos utilizem classificações de acordo com as dimensões utilizadas e de acordo com os níveis de implantação. De acordo com Münch (2003) BIM contempla as seguintes dimensões de implantação:

- **3D Protótipo virtual (modelo):** Pode ser testado e analisado para várias condições ambientais, além das normas técnicas.
- **4D Modelo virtual + planejamento físico da obra:** Animação da execução da obra, baseada no planejamento construído no software;
- **5D Modelo virtual + orçamento /Modelo virtual + orçamento + planejamento físico da obra:** Um software de orçamento é integrado à plataforma modeladora BIM;
- **6D Sustentabilidade:** São realizadas análises dos parâmetros que envolvem a edificação e o meio ambiente: emissão de carbono, eficiência energética;
- **7D Facilities management (COBie):** São inseridas informações úteis a todo o ciclo de vida da obra, de modo a permitir sua gestão presente e futura,manutenção.

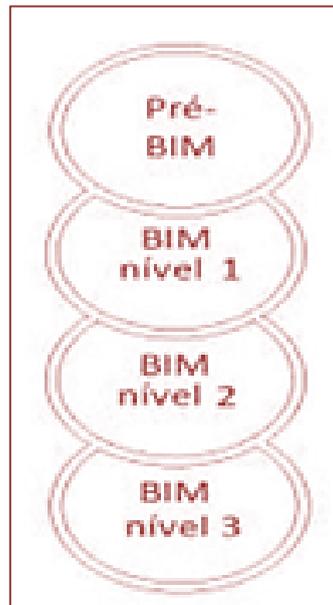
De acordo com Succar, 2009 podemos classificar BIM também em níveis em termos da colaboração em um projeto de construção:

- **Pré-BIM: No nível 0 ou Pré-BIM** há uma baixa colaboração e interoperabilidade (comunicação entre softwares), com práticas tradicionais com desenhos e detalhes 2D. O fluxo de trabalho é baseado na documentação;

- **BIM nível 1 (BIM 1.0):** a modelagem é baseada em objetos com uma colaboração parcial. É feita a modelagem para métrica (os objetos estão relacionados entre si) e visualização 3D com automação de detalhamento quantitativo. A tecnologia é utilizada como ferramenta, pois o processo de trabalho ainda é individualizado, sem envolvimento e colaboração de outras disciplinas;
- **BIM nível 2 (BIM 2.0):** existe uma colaboração completa com compartilhamento de informações e intercâmbio entre disciplinas, uso do 4D (tempo) e 5D (custo), detecção de conflitos e análises. A tecnologia é expandida para outras disciplinas (multidisciplinar) e a interoperabilidade surge como termo essencial para que no novo paradigma BIM se tome um processo continuado;
- **BIM nível 3 (BIM 3.0):** existe a integração completa com o desenvolvimento de modelos multidimensionais com compartilhamento, comunicação sincronizada e colaboração através de servidor. É possível desenvolver análises complexas envolvendo sustentabilidade, custo, processo *lean*. Amplia as possibilidades de interoperabilidade através de protocolos abertos e ambientes de trabalho virtuais, na busca de que todos os agentes envolvidos no processo possam contribuir coletivamente, dentro das especificidades de suas disciplinas;

A Figura 5 apresenta os níveis de Maturidade propostos por Succar (2009).

Figura 5: Níveis de Maturidade BIM



Fonte: Adaptada de SUCCAR (2009).

Ainda de acordo com Succar (2009) os estágios de adoção de BIM podem ser divididos em:

- **Primeiro Estágio:** envolve uma única área de projeto no desenvolvimento do modelo paramétrico 3D com ferramenta de autoria e fica-se restrito a uma fase específica do processo (projeto, construção ou operação). Os produtos resultantes desse estágio de adoção de BIM são modelos 3D da geometria e documentação (desenhos, imagens, quantitativos de materiais e vários tipos de relatórios), extraídas a partir de um modelo;
- **Segundo Estágio:** a ênfase está no compartilhamento multidisciplinar do modelo entre uma ou duas fases do processo de projeto, envolvendo até duas áreas ou dois agentes diferentes, como, por exemplo, arquitetura e estrutura, ou gerenciamento de custos. Esse estágio é caracterizado pela colaboração baseada em modelos. Os produtos resultantes desse estágio de adoção de BIM são modelos com quarta dimensão (tempo associado ao planejamento da obra) e quinta dimensão (modelo de previsão de custos), compatibilização do modelo por meio de “*Clash detection*” (verificação de conflitos) e, conseqüentemente, melhoria das informações extraídas do modelo. A adoção do BIM neste estágio requer a implementação de coordenação nos processos de projeto objetivando a adoção de equipes de projeto coordenadas;

▪ **Terceiro Estágio:** a ênfase está na criação compartilhada e colaborativa do modelo da edificação, em todo o processo do empreendimento, envolvendo as fases de concepção, construção e operação, bem como múltiplas áreas. Este estágio é caracterizado pela integração em rede. O processo é simultâneo e recursivo, envolvendo análises complexas. Múltiplas disciplinas utilizam e modificam o mesmo modelo, por meio de um processo integrado e compartilhado, fazendo uso de repositório e sistemas de banco de dados. Para Succar (2009), o terceiro estágio de adoção de BIM implica a adoção de Entrega Integrada de Projeto ou *Integrated Project Delivery* (IPD), que é uma abordagem de desenvolvimento de projeto que agrega pessoas, sistemas, estruturas organizacionais e práticas, num processo intensamente colaborativo. O IPD caracteriza-se pela colaboração entre proprietário, projetista e empreiteira, começando já nos estágios iniciais do processo de projeto e continuando até a entrega final da edificação.

#### 4.2. LEAN CONSTRUCTION: A PRIMEIRA RELAÇÃO BIM COM A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

As premissas do *Lean Construction* (Construção Enxuta) despontaram em 1992 com publicação do artigo: *Application of the new production philosophy in the construction industry*, do finlandês Lauril Koskela. Trata-se de uma adaptação dos princípios do Sistema Toyota de Produção para a construção, cujos principais objetivos são: redução de desperdícios, aumento do valor para o cliente e melhoria contínua. (KOSKELA, 2010).

O Sistema Toyota de Produção, também chamado de Lean Manufacturing (Produção Enxuta) é um conjunto de técnicas e ferramentas de gerenciamento da produção que nasceu na década de 50 no Japão. A Produção Enxuta é vista como uma nova forma de enxergar não somente a produção, mas o negócio, pelo fato de envolver também o desenvolvimento de produtos, o relacionamento com fornecedores, as vendas e a gestão de pessoas (PICCHI, 2003). Foi desenvolvido por Taiichi Ohno, chefe da produção da Toyota, com o objetivo de tornar a indústria automobilística japonesa mais competitiva frente às indústrias de produção em massa da Europa e Estados Unidos. Seus pilares são o JIT (*Just in Time*) e Jidoka.

O objetivo do JIT é produzir somente o solicitado pelo cliente, na quantidade e prazo por ele determinados. Nessa perspectiva, os estoques são controlados de modo a possuírem o menor tamanho possível. Os clientes direcionam a produção, fazendo com que cada processo produza o necessário para o processo seguinte, em fluxo contínuo e sem interrupções. O objetivo do *Jidoka* é controlar a qualidade na fonte. Assim, o operador ou a máquina devem parar o processo quando verificada alguma anomalia.

Na construção civil as fábricas são nômades visto que a produção muda de local a cada empreendimento. As organizações dos projetos de construção são consideradas temporárias, o time que desenvolve e abastece os projetos muda a cada empreendimento e os projetos são em geral únicos ou têm baixo nível de repetitividade quando comparados com a indústria manufatureira. O produto é fixo e os trabalhadores e os postos de trabalho são móveis. (BARROS NETO & ALVES, 2008, p.3).

Solomon (2004) aponta que as principais diferenças são a diversidade das atividades e as características do produto final. Apesar das diferenças existentes entre manufatura e a construção, existe uma grande possibilidade de aplicação do sistema de Produção Enxuta na Construção Civil. De acordo com Koskela (1992) os Princípios da *Lean Construction* são:

- I. Redução das atividades que não agregam valor: eliminação das atividades que consomem recursos, tempo ou espaço, mas que não contribuem para atender aos objetivos do cliente.
- II. Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes: no projeto do produto e na gestão da produção devem ser observadas as necessidades dos clientes externos e internos, para garantia de sua satisfação.
- III. Redução da Variabilidade: a variabilidade deve ser controlada para se manter o produto final dentro das especificações garantindo a uniformidade e satisfação do cliente e para se evitar atividades que não agregam valor.
- IV. Redução do tempo de ciclo: conceito base a do *Just in time*, o objetivo é reduzir o tempo total de construção (ciclo), que inclui o tempo das esperas, transporte inspeção e processamento.
- V. Simplificar, reduzindo o número de partes ou passos: por meio dessas reduções, são eliminadas atividades que não agregam valor no processo de produção.
- VI. Aumento da flexibilidade de saída: possibilidade de fazer alterações das características do produto acabado, sem aumentos substanciais nos custos.

**VII.** Aumentar a transparência do processo: o objetivo é facilitar trabalho, com mais informações disponíveis, e detectar os erros mais facilmente.

**VIII.** Focar o controle no processo global: o processo deve ser considerado como um todo a fim de corrigir desvios que atrasam o prazo de entrega. Assim evita-se sub-otimizações em processos que geram baixo impacto, ou impacto negativo no processo global.

**IX.** Introduzir melhoria contínua no processo: a busca pela eliminação de atividades que não agregam valor e as reduções de perda devem ser parte da rotina da equipe, através de uma gestão participativa.

**X.** Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas transformações: melhores fluxos requerem menores capacidades de conversão, consequentemente menores investimentos em equipamentos.

**XI.** Benchmarking: aliado a melhoria contínua, para manter sua competitividade a empresa deve buscar pelo aprendizado das melhores práticas do mercado.

A metodologia *Lean Construction* (Construção Enxuta) potencializa a eficiência do BIM. Uma ferramenta complementa a outra e assim o processo de construção torna-se mais produtivo: integrando as é possível melhorar a gestão dos recursos e o controle de qualidade, além de eliminar os desperdícios e reduzir custos. Essa forma de trabalho é interessante, pois muitos empreendimentos também trabalham com *Lean Construction*.

De acordo com Slack (1997), essa metodologia chegou ao Brasil em 1996, por meio de consultores e pesquisadores da área de planejamento da gestão da produção. Segundo Sacks et al (2010), BIM e *Lean Construction*, quando aplicados simultaneamente, trazem mais benefícios do que cada uma dessas metodologias aplicadas separadamente. Já na perspectiva de Arnal (2018), na verdade não há como dissociar uma da outra, já que a *Lean Construction* é uma ferramenta integrada à nona dimensão do BIM.

#### 4.3. CENÁRIO DO BIM NO BRASIL

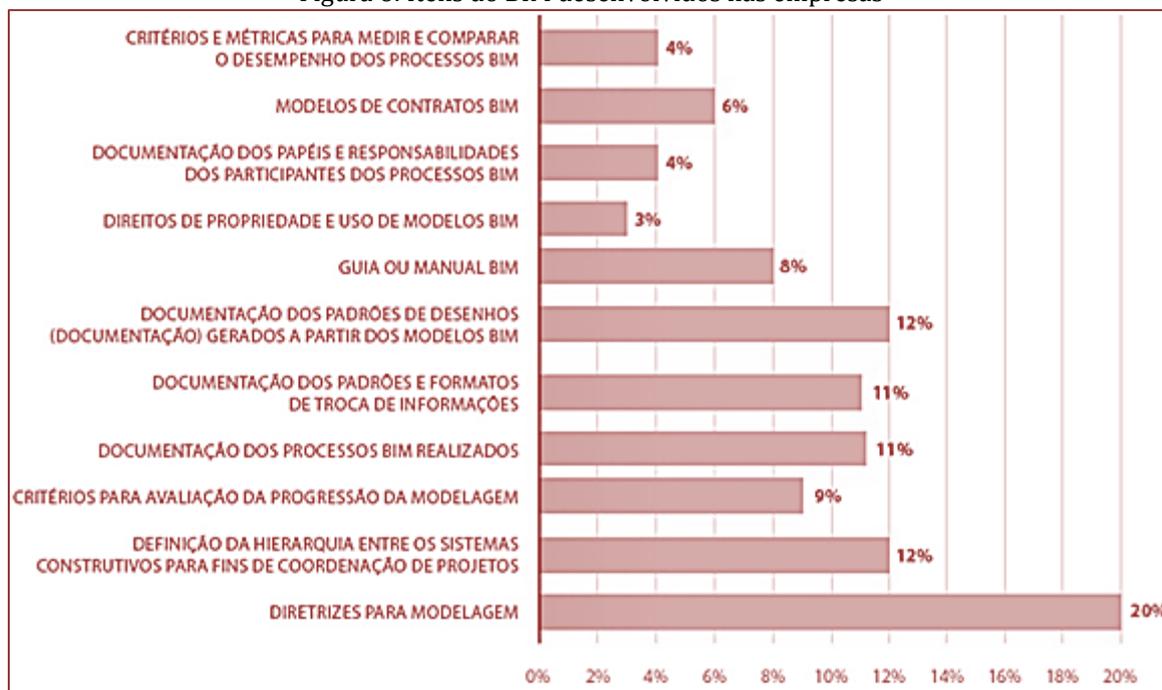
Em maio de 2018 a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) juntamente com o SENAI Nacional, publicaram o documento: *Road Show BIM resultados das pesquisas e desdobramentos, fruto do "Work shop Implementação BIM"*, que percorreu 14 cidades de todas as regiões do país com o objetivo de difundir BIM como alternativa viável de inovação na construção. Nos eventos foi aplicado um questionário com 3 mil profissionais da área, no qual foram coletadas 947 respostas, que elucidam o atual cenário de BIM no Brasil.

Historicamente, a indústria da construção é conhecida por sua deficiência em cumprir prazos e orçamentos, não apenas no Brasil, mas mundialmente. A pesquisa revelou que 61,4% das obras são entregues com atraso, sendo que 20,5% dessas, com mais de 3 meses de atraso. Além disso, mais de 60% das obras terminam com orçamento acima do previsto. De certa forma, essa deficiência na gestão também pode ser explicada no baixo uso de sistemas de gestão integrados (ERP's), pois apenas 20% fazem sua utilização sendo que apenas 3,2% desses fizeram a integração com BIM.

Em relação a percepção dos benefícios do BIM foram enfatizados a eficiência nos aspectos técnicos de projeto. Além do apoiar a gestão no controle dos custos, prazos e extração de quantitativos, ênfase do BIM 5D. Como vantagem foram citados o aumento da qualidade de projeto e construção e, o aumento da precisão e redução dos custos e prazos, além do alinhamento com o mercado.

Em relação aos itens do BIM desenvolvidos pelas empresas que já a utilizam, Figura 6, podemos perceber que as competências mais técnicas foram as mais desenvolvidas, como diretrizes de modelagem 20% e documentação padrão de desenho 12%. Enquanto que a parte de gestão recebe menor atenção como medidas de desempenho 4% e direito de propriedade 3%.

Figura 6: Itens do BIM desenvolvidos nas empresas



Fonte: CBIC (2018).

A pesquisa revelou que BIM atualmente está mais presente no segmento de edificações, principalmente residenciais obras viárias, de montagem e de artes especiais em conjunto com outros tipos, sendo seu uso nas partes de acabamento ainda insignificante. Com as iniciativas do governo, sua abrangência aumentará pelas demais áreas. A sondagem da FGV, realizada em março de 2018 com 700 empresas de construção, mostra ainda que o uso do BIM é reduzido e desigual no Brasil: apenas 9,2% das empresas adotaram o BIM no país. No entanto, segundo aponta dados da Coordenação de Planejamento e Inteligência da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) se metade das empresas adotarem o modelo BIM na próxima década, projeta-se que a economia da construção civil brasileira crescerá 7%. Isso significa um aumento de R\$ 21,9 bilhões no PIB do setor nos valores de 2018.

#### 4.4. A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E O BIM

De acordo com a ABREPO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção) o Engenheiro de Produção possui competência para atuar qualquer setor produtivo:

“Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologia, informação e energia (...)” (PORTAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2019).

Para analisar as possibilidades de sua atuação na construção a partir do BIM, mapeou-se para cada dimensão proposta por Arnal (2018) os conhecimentos necessários, e as áreas e subáreas, metodologias, técnicas e ferramentas da Engenharia de Produção, capazes de responderem a essa demanda.

O Quadro 1 (Apêndice A), apresenta a atuação do Engenheiro de Produção nas dimensões BIM. A atuação é especificada em termos de metodologias, técnicas e ferramentas da EP:

- **1D:** nesta dimensão o EP pode atuar na definição de protocolos BIM, documentos, padronizações, normas para adoção de plataformas de modelagem BIM na empresa. As principais áreas envolvidas são Gestão da Inovação Tecnológica e Gestão de Tecnologia.
- **2D:** No fluxo de trabalho colaborativo o EP pode atuar na compatibilização de projetos aplicando métodos de desenvolvimento de produtos. O produto (a construção) é considerado como estratégica empresarial. Métodos de organização de produtos podem ser aplicados utilizando-se ferramentas de representação de projetos para gestão de processos e desenvolvimento de produtos. Além disso, o EP pode auxiliar no desenvolvimento de ambientes colaborativos BIM usando a métodos de

Gestão da Informação da Produção, estabelecendo fluxos de informação com modelagem de processos, distribuição e aplicação da informação dentro da Engenharia Organizacional.

- **3D:** Na modelagem paramétrica o EP pode adotar protocolos abertos para redes de cadeia produtiva e desenvolver tipologias de rede usando a Gestão de Redes de Cooperação. O EP ainda pode atuar na criação de modelos informacionais entre redes de empresas para o desenvolvimento da colaboração em massa de projetos BIM.
- **4D:** nesta dimensão na qual um cronograma temporal deve ser produzido o EP pode atuar na otimização dos tempos de realização de obras utilizando metodologia da gestão de projetos, com análise de viabilidade técnica e temporal.
- **5D:** nesta dimensão é feito o planejamento financeiro do projeto. Na Engenharia Organizacional o EP pode atuar no planejamento e controle dos projetos elaborando a gestão financeira do empreendimento. O EP pode desenvolver nesta fase a redução da variabilidade de custos aplicando as técnicas de quantificação de custos, análise de investimentos oriundas da Engenharia Econômica. Em relação ao investimento o EP pode atuar na análise de riscos em investimentos aplicando técnicas de avaliação de alternativas.
- **6D:** nesta dimensão são definidas as estratégias para que o empreendimento seja sustentável em todos os aspectos :financeiro, ambiental, cultural social e político. Nesse sentido o EP pode prover normalizações, certificações para assegurar um produto de qualidade, dentro das especificações estabelecidas pela legislação e expectativa do consumidor final. Pode implantar um gerenciamento de ciclo de vida da edificação atendendo as demandas ambientais e da sociedade.
- **7D:** na gestão das instalações, o EP pode elaborar um plano de manutenção para a edificação centrado na confiabilidade dos equipamentos. Além disso, pode também melhorar a confiabilidade dos processos de construção através da Engenharia de Qualidade.
- **8D:** para garantir a segurança canteiro de obras, o EP pode elaborar um mapeamento de riscos e atuar na gestão e implantação das normalizações e certificações referentes à saúde e segurança. Com o uso da macro ergonomia pode implantar melhorias nas condições de trabalho. Além disso, com as técnicas de qualidade ele pode garantir um produto seguro para quem for utilizá-lo.
- **9D:** Na *Lean Construction* o EP pode utilizar diversas ferramentas tais como PDCA, kaizens, kanban, JIT e gráficos de controle para assegurar a redução dos desperdícios e aumento da qualidade do produto.
- **10D:** OEP pode utilizar da Engenharia dos Processos Físicos de Produção para definir as estratégias mais adequadas para que a empresa incorpore a construção 4.0.

## 5. CONCLUSÃO

O profissional da Engenharia de Produção, pode atuar no setor da construção civil, em diversas vertentes: no planejamento, controle e melhoria dos processos e produtos, na redução dos custos operacionais, na busca pela qualidade total, segurança, respeito ao meio ambiente, no desenvolvimento de uma cultura organizacional alinhada à estratégia da empresa, na implantação da *Lean Construction*, dentre outras atividades, mesmo não possuindo vínculo como responsável técnico na construção civil (exceto Engenheiros de Produção Civil). Isso porque seus métodos, técnicas e ferramentas oferece uma visão holística das obras e empreendimento, que se traduz para a Engenharia Civil em uma melhoria de seus processos e produtos.

Com os incentivos governamentais para adesão do BIM, podemos perceber novas possibilidades de atuação para Engenheiros de Produção nesse setor. O mercado necessita de profissionais não só capazes de utilizar os softwares para projetar, mas também capazes de implementá-la adequadamente. Pois muitas das empresas que utilizam a modelagem, ainda não usam todas suas funcionalidades porque tendem a priorizar apenas seu aspecto técnico, esquecendo se da parte gerencial que ela também oferece. Além disso, BIM requer uma nova forma de trabalho, mais integrada, para utilizá-la é necessário reestruturar não só a dinâmica da gestão, mas a dos processos também. Assim a formação do profissional da Engenharia de Produção, devido à sua ênfase nos conhecimentos de gestão e processos é capaz de ajudar a resolver esses e outros tipos de desafios.

Dessa forma, quanto a questão norteadora dessa pesquisa, podemos concluir que o Engenheiro de

Produção possui potencialidade para atuar e enriquecer qualquer uma das dez dimensões do BIM, mesmo sendo essa modelagem meio de trabalho típico do Engenheiro Civil, isso porque nessa nova perspectiva construir requer muito mais do que simplesmente utilizar conhecimento científico e tecnológico.

## REFERÊNCIAS

- [1] ARANTES, Paula Cristina Fonseca Gonçalves. Lean Construction: Filosofia e metodologias. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto Portugal, p. 108, jun. 2018.
- [2] ARNAL, Ignasi Pérez. Why don't we start at the beginning? The Basics of a Project: Lean Planning and Pre-Construction, BIM News Last trends of the AECO sector, BIM Community, 2018.
- [3] BARROS NETO, J. P.; ALVES, T. C. L. Análise Estratégica da Implementação da Filosofia Lean em Empresas Construtoras, Anais XI Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais- SIMPOI 2008. Anais 2008.
- [4] BERTELSEN, S. E KOSKELA, L. (2004). Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. Proceedings of the 12th International Group of Lean Construction Annual Conference, Copenhagen, Dinamarca.
- [5] BRASIL. Decreto nº 9.377, 17 de maio de 2018. Estratégia Nacional de Disseminação da BIM. Diário Oficial, Brasília, DF, 26 junho, 2018.
- [6] BRASIL. Decreto nº 9.983, 22 de agosto de 2019. Estratégia Nacional de Disseminação da BIM. Diário Oficial, Brasília, DF, 22 agosto, 2019.
- [7] BERTELSEN, S. E KOSKELA, L. (2004). Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. Proceedings of the 12th International Group of Lean Construction Annual Conference, Copenhagen, Dinamarca. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Fundamentos
- [8] BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Brasília: CBIC, 2016.
- [9] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Road Show BIM Resultados da Pesquisa e Desdobramentos. Brasília, 2018.
- [10] COMITÊ ESTRATÉGICO DO BIM. BIM BR Construção Inteligente. Brasília: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018.
- [11] EASTMAN, C. et al, Manual de BIM: um guia de modelagem de informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre, 2014. Bookman.
- [12] GOVERNO DE SANTA CATARINA. Secretaria do Estado de Planejamento. Caderno de Apresentação de Projetos em BIM 24 de março de 2015. Florianópolis, 2015. 6 p.
- [13] MIGUEL, P. et al, Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro, 2012, Elsevier,
- [14] MIGLINSKAS, D. et al The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013 Sci Verse Science Direct, Procedia Engineering 57 (2013) 767– 774 2013.
- [15] OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149p.
- [16] PICCHI, F. A. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, Volume 03, No. 01, p. 7-23, 2003.
- [17] RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X. DE; MORAIS, M. DE. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos?
- [18] Ambiente Construído, v. 13, n.2, p. 151–165, jun. 2013.
- [19] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, v. 18, n.3, p. 357–375, 2009.
- [20] TURRIONI, João; MELLO, Carlos. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção, Itajubá, 2012, Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UM.

APÊNDICE- A

Quadro1- Aplicação dos conhecimentos da Engenharia de Produção nas dimensões BIM (continua)

Dimensão	Descrição	Características	Área	Subárea	Metodologias	Técnicas	Ferramentas
1D	Protocolos BIM	Adoção tecnológica de Plataformas de Modelagem BIM	Engenharia Organizacional	Gestão da Inovação Tecnológica/ Gestão de Tecnologia	Integração P&D e produção	Planejamento e gestão da inovação tecnológica	Gestão do conhecimento na empresa.
		Desenvolvimento de ações para adoção do BIM	Engenharia Organizacional	Planejamento Estratégico e Operacional	Métodos de formulação de estratégias	Desdobramentos de diretrizes.	Gestão da rotina.
2D	Fluxos de Trabalho Colaborativos	Compatibilização dos projetos	Engenharia Organizacional	Métodos de Desenvolvimento de produtos.	Produtos como estratégica empresarial/ Métodos de Organização de Produtos	Sistemas de representação do projeto.	Gestão do processo de desenvolvimento de produtos.
		Desenvolvimento de Ambiente colaborativo para adoção de BIM	Engenharia Organizacional	Gestão da Informação de Produção	Fluxos de informação da produção	Tecnologia de grupo	Modelagem de processos
		Interoperabilidade	Engenharia Organizacional	Gestão da Informação do conhecimento	Distribuição e replicação da informação	Gestão de Tecnologia	Repositórios de materiais de referência
		Criação de Modelos de dados compartilhados	Engenharia Organizacional	Redes de Empresa	Inovação colaborativa	Conhecimento e aprendizagem coletiva	Colaboração em massa
3D	Modelagem Paramétrica	Interoperabilidade	Engenharia Organizacional	Redes de Cadeia Produtiva	Redes de cooperação	Tipologias de rede	Gestão das redes de cooperação
		Criação de Modelos de dados compartilhados	Engenharia Organizacional	Redes de Empresa	Inovação colaborativa	Conhecimento e aprendizagem coletiva	Colaboração em massa
4D	Planejamento Temporal do Projeto	Verificação e otimização dos tempos de realização de obras	Engenharia Organizacional	Gestão de Projetos	Planejamento e controle de projetos.	Análise de Viabilidade Técnica de Projetos	Gestão de escopo de Projetos
5D	Planejamento Financeiro do Projeto	Orçamentação, controle de custos	Engenharia Organizacional	Gestão de Projetos	Planejamento e controle de projetos.	Gestão Financeira de Empreendimentos	Gestão de escopo de Projetos
		Redução de variabilidade de custos.	Engenharia Econômica	Gestão Financeira de Projetos	Gestão de Custos	Quantificação de custos	Análise de Investimentos e Custos
		Investimento do projeto	Engenharia Econômica	Gestão de Investimentos	Investimento de capital	Análise de Riscos em Investimentos	Avaliação de alternativas
6D	Sustentabilidade	Sustentabilidade Econômica	Pesquisa Operacional	Análise de Demandas por Bens e Serviços	Simulação	Processos Decisórios	Alocação de recursos
		Sustentabilidade Social- política	Engenharia da Qualidade	Normalização e Certificação de Qualidade	Gerenciamento da qualidade total.	Ferramentas da qualidade	Auditoria
		Sustentabilidade Ambiental	Engenharia dos Processos Físicos de Produção	Logística empresarial	Logística reversa	Transporte.	Gestão de estoques
		Sustentabilidade Cultural	Engenharia dos Processos Físicos de Produção	Controle do Produto Industrial	Ergonomia do produto.	Qualidade do produto.	Desenvolvimento integrado de produtos e processos
		Sustentabilidade Ambiental	Engenharia Organizacional	Métodos de Organização de Produtos	Gerenciamento do ciclo de vida	Gestão do processo de desenvolvimento de produtos.	Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental.
		Sustentabilidade Social- política	Engenharia Organizacional	Avaliação de Mercado	Planejamento de marketing	Ações de marketing	Matriz Produto-Mercado

Continuação...

Quadro1-Aplicação dos conhecimentos da Engenharia de Produção nas dimensões BIM (continua)

Dimensão	Descrição	Características	Área	Subárea	Metodologias	Técnicas	Ferramentas
7D	Gestão das Instalações	Manutenção de equipamentos	Gestão de Sistemas de Produção	Gestão da manutenção	Análise e tratamento da confiabilidade de sistemas.	Ajustes e tolerâncias	Plano de Manutenção
		Conformidade de produtos	Engenharia da Qualidade	Normalização e Certificação de Qualidade	Confiabilidade de Produtos	Testes de confiabilidade.	Manutenção centrada em Confiabilidade
		Conformidade de processos	Engenharia da Qualidade	Confiabilidade e de Processos de Construção	Estimativa e avaliação da Confiabilidade de processos e equipamentos	Confiabilidade de Processos de Fabricação	Controle metrológico de Processos de Construção
		Redução de problemas de fluxos	Pesquisa Operacional	Processos Estocásticos	Cadeias de Markov	Modelos de filas	Simulação
8D	Segurança	Segurança na tomada de decisões	Ergonomia	Análise Ergonômica do Trabalho	Métodos de modelagem digital	Normas e Certificação em Ergonomia.	Normas e certificação em HST
		Aspectos ergonômicos dos trabalhadores	Ergonomia	Organização do Trabalho	Modelos de Organização do trabalho.	JIT, Consórcio Modular	Macroergonomia
		Riscos no modelo construtivos	Ergonomia	Análise e Prevenção de Riscos	Métodos de modelagem digital	Técnicas de análise de riscos.	Mapeamento de Riscos
		Qualidade das construções	Engenharia da Qualidade	Controle Estatístico de Processos	Capacidade do processo	Normalização.	Controle de Qualidade
		Controle de patologias	Engenharia da Qualidade	Controle Estatístico de Produtos	Avaliação de Sistemas de medição	Inspeção de qualidade.	Gráficos de controle
9D	Lean Construction	Gestão de Processos	Gestão de Sistemas de Produção	Planejamento e Controle da Produção	Programas de Construção Enxuta	Ferramentas de Qualidade	Ciclo PDCA
		Organização de fluxo de materiais	Logística da Cadeia de Suprimentos	Gestão da cadeia de suprimentos.	Movimentação e armazenagem	Otimização de Tempos e Movimentos	Supply Chain Management
		Redução de perdas de materiais	Gestão de Sistemas de Produção	Planejamento e Controle da Produção	Implantação de Programas de Melhoria	Organização e Limpeza	5S, Kaizen
10D	Construção Industrializada	Automação dos processos construtivos	Engenharia dos Processos Físicos de Produção	Processos de Fabricação	Processos de Construção	Instalações industriais	Implantação de IOT, Ciência da Dados
		Controle da planta industrial	Engenharia dos Processos Físicos de Produção	Planejamento da Produção	Previsão de demanda.	Desenvolvimento integrado de produtos e processos	Análise de ciclo de vida de produtos
		Otimização da Produção	Engenharia dos Processos Físicos de Produção	Processos de Construção	Planejamento e controle da produção	Logística	Layout/arranjo físico

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019)

# Capítulo 10

## *Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos*

*Jorge Augusto Dalmolin*

*Yader Alfonso Guerrero*

*Breno Barra*

*Marcelo Heidemann*

**Resumo:** A fotogrametria digital tem como propósito a reconstrução de um espaço tridimensional, a partir de um conjunto de imagens bidimensionais provenientes da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, através de sensores ou câmeras fotográficas. É uma ciência aplicada com sucesso há pelo menos três décadas, e exprime seus resultados na forma de mapas, listas de coordenadas, modelos digitais ou qualquer outro modo de representação geometricamente classificado dentro de tolerâncias e critérios de precisão e acurácia. Com a fomentação do uso de veículos aéreos não tripulados (VANTS) e a sua crescente utilização nas mais diversas práticas de engenharia civil e cartográfica, bem como o desenvolvimento e a popularização de sensores e câmeras com melhor resolução, esta pesquisa propõe, avaliar desempenho da aplicação de técnicas de fotogrametria digital em imagens capturadas a partir de um VANT, em comparação com informações estabelecidas por técnicas de aferição convencionais. Classificando os resultados obtidos de acordo com os padrões vigentes no país, sendo os produtos fotogramétricos estabelecidos classificados como sendo CLASSE A do Padrão de Exatidão Cartográfico Brasileiro, produzindo ajuste centimétrico nos três eixos de orientação, para os voos realizados a 80 m e 120 m, atestando adequabilidade do uso do VANT DJI Phantom 4. Com os dados adquiridos através dos voos à 40 m verificou-se a necessidade de projeto específico, com implantação de um número maior de pontos de apoio e controle além planejamento mais detalhado de modo a tornar os procedimentos computacionais de processamento de imagens menos onerosos.

**Palavras-chave:** Fotogrametria. Topografia. VANT. PEC-PCD.

## 1. INTRODUÇÃO

A fotogrametria é definida pela *Internacional Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) como sendo a arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores, sobre a Terra e seu meio ambiente, e outros processos de gravação, medição, análise e representação. Um dos objetivos da fotogrametria, segundo Coelho e Brito (2007), consiste em reduzir o trabalho de campo no levantamento de coordenadas de um ou vários pontos, além de diminuir o tempo de obtenção destes dados.

Em um primeiro momento, conforme Burch (1997), as imagens possuíam baixa resolução geométrica devido às limitações impostas pelos sensores utilizados, bem como a grande distância destes com a superfície, uma vez que eram dispostos em aviões e aeronaves de maior porte, com operações restritas quanto à altura de voo.

Neste sentido, abre-se a discussão entorno do que realmente são dados confiáveis. Para Coelho e Brito (2007), informações fotogramétricas confiáveis são mapas, listas de coordenadas, modelos tridimensionais ou qualquer outro modo de representação geometricamente classificado dentro de tolerâncias, critérios de precisão e acurácia desejáveis. O que variará entre as aplicações, são os refinamentos necessários entorno destes dados.

No Brasil, segundo Ramos (2014), o controle de qualidade de produtos cartográficos é feito pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo decreto presidencial número 89.817 de 1984, que define e estabelece critérios a serem atingidos pelas incertezas de um mapeamento, se comparadas com pontos materializados no terreno com coordenadas adquiridas por sistemas de baixa incerteza.

Tal processo pode ser racionalizado e automatizado até certo ponto com o auxílio de veículos aéreos não tripulados (VANT) e aplicação de técnicas de fotogrametria e fotointerpretação para quantificação objetiva dos resultados, elaboração de mapas e modelos digitais detalhados de superfícies extensas.

É com essa premissa que a fomentação do uso de veículos aéreos não tripulados de pequena escala se torna aliada no processo de obtenção de dados, provendo meios para que, de forma cada vez mais acessível, ágil e menos onerosa, levantamentos topográficos com maior exatidão e confiabilidade sejam realizados, fazendo uso da fotogrametria para interpretação e tratamento dos dados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PRINCÍPIOS DA FOTOGRAMETRIA

De acordo com Coelho e Brito (2007), a fotogrametria tem como propósito a reconstrução de um espaço tridimensional ou parte do mesmo, chamado espaço-objeto, a partir de um conjunto de imagens bidimensionais, chamado de espaço-imagem, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem contato físico direto entre o sensor e a superfície ou alvo de interesse.

O mesmo autor destaca que se trata por tanto, de uma transformação de sistemas: um sistema fotográfico, bidimensional, próprio de cada câmera ou sensor, com a origem estabelecida no centro de seu quadro de captura e com as coordenadas determinadas através de calibração em laboratório. Convertido para um sistema tridimensional, o próprio espaço-objeto, em que no caso convencional trata-se da representação em um sistema de coordenadas, conhecido ou arbitrário, georreferenciados ou não, de um número semi-infinito de pontos que sejam suficientes para descrever a geometria da superfície submetida a análise.

Pontos de controle são empregados para que esta conversão de sistemas seja efetuada de forma mais precisa. Estes, demarcados no próprio espaço-objeto e localizados no espaço-imagem, são fundamentais para que seja possível através da computação gráfica a inferência da função matemática que estrutura a representação de um conjunto no outro.

O número de imagens envolvidas na construção do espaço-imagem é variável, segundo Coelho e Brito (2007) é desejável que sejam ao menos duas, tomadas de ângulos diferentes e com área de superposição, a fim de viabilizar a visão estereoscópica, o que possibilita maiores acurácias e precisões na restituição tridimensional do espaço-imagem.

## 2.2. FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Surgida nos anos 80, para Coelho e Brito (2007), teve seu uso fomentado de maneira expressiva somente após a segunda metade da década seguinte, em virtude do relevante aumento da capacidade de processamento dos computadores, que até então tinham dificuldades no tratamento do elevado volume de dados advindo dos processos iterativos de análise de imagens digitais. Para a fotogrametria digital os dados acerca do espaço-imagem podem ser obtidos de duas formas, através do escaneamento de imagens analógicas ou ainda a obtenção direta de matrizes digitais, oriundas de câmeras e sensores com essa finalidade, método que hoje é utilizado na quase totalidade dos casos.

De acordo com Coelho e Brito (2007), a fotogrametria digital tem como objetivo principal a reconstrução automática do espaço-objeto, a partir do espaço-imagem em formato digital. Embora o mesmo autor indique que a automatização de todos os processos ainda está longe de se tornar realidade, uma vez que o relevo terrestre apresenta inúmeras descontinuidades que podem se misturar e serem confundidas com as feições presentes no terreno, como edificações, pontes e demais construções. Para tanto, evitar este problema é possível por intermédio da aplicação de condições de contorno, sendo necessária a interação do homem nestes processos.

Para Coelho e Brito (2007) o estado-da-arte em fotogrametria digital, atualmente é o mapeamento semiautomático, ou seja, os processos implementados tentam ser automáticos, mas ainda exigem a supervisão e eventual intervenção humana nos mesmos.

## 2.3. AEROFOTOGRAMETRIA

Aerofotogrametria, ou fotogrametria aérea, são os termos que definem a utilização de imagens obtidas por sensores embarcados em aeronaves como dados para aplicação das técnicas de restituição na elaboração de produtos fotogramétricos, como caracterizam Marchetti e Garcia (1977). Segundo, Coelho e Brito (2007), é o método mais empregado e imprescindível na obtenção de dados cartográficos da superfície terrestre, e por consequência o que mais obteve benefícios de uma organização dos procedimentos e parâmetros.

### 2.3.1. GEOMETRIA APLICADA A IMAGENS AÉREAS

A fotografia aérea, como toda fotografia, é uma perspectiva e a magnitude do deslocamento das imagens está associada, em geral por 3 parâmetros principais: a elevação relativa a superfície terrestre, a distância focal das lentes e a inclinação do sensor no momento da exposição, conforme apontam Coelho e Brito (2007).

De acordo com Marchetti e Garcia (1977), quanto a inclinação do sensor, existem em geral dois tipos de fotografias aéreas: fotografias verticais, que são tomadas com o eixo óptico do sensor interceptando na vertical o plano de referência, e as fotografias oblíquas, estas obtidas com o eixo óptico do sensor intencionalmente inclinado em relação ao plano de referência.

As fotografias oblíquas podem ser ainda oblíquas altas ou baixas, termos estes associados ao ângulo de inclinação do eixo óptico.

É possível entender este conceito com mais clareza, ainda de acordo com Marchetti e Garcia (1977), imaginando uma mesma câmera fotográfica obtendo imagens de uma superfície aproximadamente plana, demarcada com uma malha quadriculada. Na fotografia vertical, a quadrícula é exibida de maneira perfeita, com uma escala uniforme em toda imagem. Enquanto, na fotografia oblíqua baixa as linhas tendem a convergir para um ponto localizado fora do espaço imagem. Deste modo, a quadrícula é exibida de forma distorcida tendo seus elementos representados por trapézios. O mesmo efeito ocorre com a fotografia oblíqua alta, porém nesta o ponto de convergência está contido no espaço imagem.

Outros parâmetros geométricos fundamentais para o sucesso dos procedimentos fotogramétricos são a área de superposição de imagens e a escala de voo.

As áreas de recobrimento, ou de superposição, tornam possível a percepção e a interpretação estereoscópica das imagens.

Marchetti e Garcia (1977), explicam que estereoscopia é a habilidade de se obter informações sobre o espaço tridimensional através de imagens tomadas de pontos diferentes e com alguma área de superposição. Mecanismo similar ao que ocorre com o olho humano, que através da visão estereoscópica binocular possui a habilidade de identificar nas imagens formadas, noções de profundidade, distância e tamanho dos objetos.

Para Coelho e Brito (2007), duas imagens adjacentes devem ter um recobrimento mínimo (área de superposição) nominal de 60% e duas faixas de voo devem possuir, pelo menos, um recobrimento lateral de 30%, de modo a garantir a operacionalidade do método, os autores ainda observam que quanto maior a área de superposição melhor será a acurácia dos resultados, sendo que para obtenção de parâmetros altimétricos deve-se considerar uma área de superposição de pelo menos 75%.

A escala de voo, para obtenção de imagens aéreas, é o parâmetro que descreve a relação de uma distância medida na imagem obtida pelo sensor embarcado ( $D$ ), e a sua correspondente homóloga no terreno ( $d$ ), conforme Coelho e Silva (2007). Em imagens aéreas, a câmera está focalizada para o infinito, devido à relativa grande distância do sensor até o terreno. Isso possibilita que relações simples de razão e proporção sejam estabelecidas, a fim de que sejam determinadas variáveis dependentes da escala em um voo fotogramétrico.

### 2.3.2. VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), conforme definição do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Ministério da Defesa, é qualquer tipo de aeronave que possa ser controlada nos três eixos e que não necessite de pilotos embarcados para ser conduzida. Dessa forma, estas aeronaves são controladas remotamente, quase sempre por meios computacionais, sob a supervisão humana com ou sem sua interferência na pilotagem.

Para Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) os veículos aéreos não tripulados, podem ser: aeromodelos, quando usados para fins puramente recreativos ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), quando aeronaves não tripuladas pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota tenham finalidade comercial, corporativa ou experimental.

### 2.3.3. PROJETO DE LEVANTAMENTO AÉREO

Um projeto de levantamento aéreo, segundo Silva Neto (2015), de forma geral é desenvolvido em três etapas distintas executadas de forma sequencial: Plano de voo, levantamentos de campo e pós-processamento.

Silva Neto (2015), estabelece que a primeira atividade relacionada a elaboração para um plano de voo é a determinação da área de cobertura do voo fotogramétrico. De maneira geral, a área de sobrevoo é muito superior à área que efetivamente irá ser mapeada e originará os produtos fotogramétricos. Isso se deve geralmente a geometria irregular das áreas a serem mapeadas e as distorções que possam ocorrer nos extremos da área de cobertura na etapa de pós-processamento.

A boa prática de projeto, portanto, indica que a área alvo do levantamento deve estar contida de forma aproximadamente centralizada na área que efetivamente será sobrevoada.

Outro parâmetro fundamental a ser estabelecido nesta etapa é o Ground Sample Distance (GSD), que em tradução literal significa: Distância de Amostra do Solo.

Segundo Silva Neto (2015) o GSD é um conceito relacionado a resolução espacial do levantamento aerofotogramétrico digital, que representa o tamanho do pixel de uma imagem em unidades de terreno.

Essa relação se dá em função da altura de voo e a distância focal da câmera utilizada. A definição do GSD está atrelada à nitidez desejada para o mapeamento e é uma das variáveis mais importantes a serem definidas, sendo a que garante a resolução espacial do levantamento aerofotogramétrico.

De maneira geral, o tamanho do GSD de um levantamento, é inversamente proporcional ao nível de detalhamento atingido, porém GSDs menores irão exigir maior quantidade de imagens, maior tempo de voo e maior capacidade de processamento, para mapear uma área de mesmas dimensões, do que um GSD maior, como indica Silva Neto (2015). De maneira análoga, pode-se afirmar então, que a capacidade de mapeamento tem relação diretamente proporcional ao tamanho do GSD. Cabe ao projetista equacionar

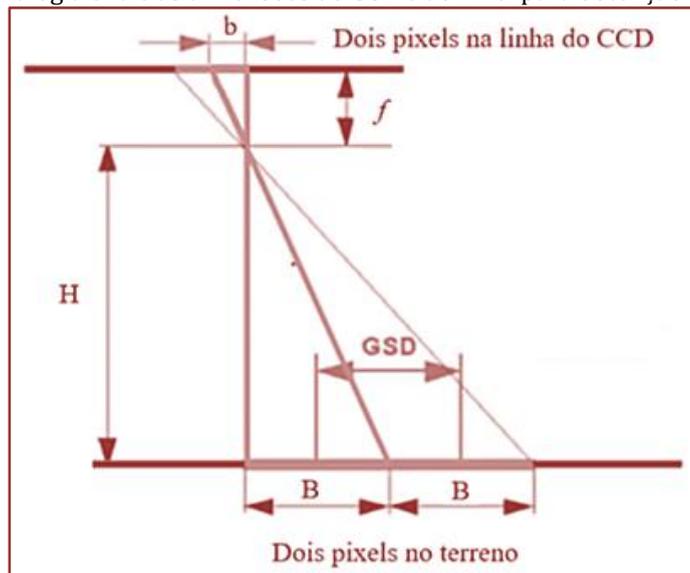
esta relação no momento do projeto, definindo a altura de voo que gere um GSD adequado para a definição requerida.

A altura de voo para um levantamento aerofotogramétrico é definida em função do GSD requerido para resolução espacial estabelecida para o mapeamento, a distância focal, a resolução e a dimensão do sensor CCD da câmera.

Para tanto é necessário, primeiramente relacionar o tamanho de cada pixel gerado pelo sensor com suas dimensões físicas. Esta relação se dá pelo quociente da dimensão horizontal do sensor com o número de pixels gerados por este, em uma linha da matriz de NDs, explica Silva Neto (2015).

O mesmo procedimento deve ser feito, de forma análoga, com a dimensão vertical do sensor. Via de regra estas dimensões resultarão no mesmo valor, devido a definição do próprio pixel de ser um elemento geométrico quadrado. A (Figura 1), e a (Equação 1), tornam claro como podem ser estabelecidos os valores do GSD e da altura de voo, assim como Silva Neto (2015).

Figura 1 - Analogia entre as dimensões do CCD e do Pixel para obtenção da altura de voo



Fonte: Silva Neto (2015)

$$h = \frac{GSD \cdot f}{b}$$

Equação 1

Onde:

H= Altura de voo (m)

B= Tamanho de um pixel em relação ao CCD (m)

f= Distância focal da câmera (m)

GSD= Ground Sample Distance (m)

Este cálculo exprime o conceito de GSD teórico, que pode sofrer pequenas variações em campo devido as correções em relação as diferenças de nível do terreno e o sistema de posicionamento que confere rigidez a altura de voo praticada no momento de captura imagem. Estas variações costumam ser leves, porém devem ser consideradas no momento do planejamento das missões.

Para que a fotogrametria tenha resultados adequados, deve-se dispor de dados iniciais de boa qualidade, sem, contudo, implicar em custos excessivos. Esses dados iniciais servirão de condição de contorno para as etapas de processamento e constituem-se basicamente, na determinação dos pontos de controle e de apoio em campo, bem como na determinação de pontos de checagem, para que se possa aferir a qualidade do mapeamento produzido.

Os pontos devem ser dispostos em lugares em que o terreno ofereça nitidez, preferencialmente em lugares de fácil acesso, como cantos de cercas, regiões lindeiras de estradas e construções. Consideram-se más escolhas árvores, regiões homogêneas e locais próximos a espelhos d'água. Coelho e Brito (2007)

A distribuição e a densidade dos pontos a serem distribuídos em uma área mapeada são funções das características desta área e do plano de voo a ser executado, sendo papel de um bom projetista no momento do planejamento, realizar cuidadoso exame das imagens de satélite disponíveis da área e se possível realizar um reconhecimento de campo das condições do terreno. Recomenda-se fortemente a inclusão de pontos de apoio nas extremidades da área mapeada, a precisão tende a ser afetada devido a menor taxa de sobreposição das imagens nesta região. Silva Neto (2015)

Locais onde a variação de altura é muito pronunciável também devem ser contemplados com um par de pontos de apoio, amarrando o levantamento a estes pontos e melhorando a precisão altimétrica do bloco naquela região. Uma estratégia a se considerar a fim de aumentar a quantidade de imagens apoiada, e o número de vezes que um ponto é registrado por uma imagem, aprimorando assim a orientação exterior do bloco fotogramétrico é distribuir homogêneamente uma malha de pontos contemplando as áreas faltantes.

Pontos de verificação são importantes para um projeto fotogramétrico para a avaliação da acurácia dos processos de triangulação executados, são eles que serão alvos de comparação e darão base para o controle estatístico da qualidade do mapeamento.

## 2.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Para este estudo foi realizado um levantamento aerofotogramétrico em uma fração correspondente a 227.000 m<sup>2</sup> do terreno pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina, situado no km 52 da rodovia BR-101 - localidade Curva do Arroz, através da captura de imagens em alturas de voo definidas como sendo: 120 m, 80 m e 40 m, com taxa de superposição em ambos os sentidos igual a 75% e velocidade limitada a 15m/s.

Como sensor, fez-se uso da câmera fotográfica não métrica de tecnologia CMOS de 1/2,3" com resolução de 12 Mp [4000X3000], embarcada em um VANT DJI Phantom 4 do tipo quadricoptero equipado com estabilizador de imagens do tipo gimbal, controlado remotamente através de uma interface Android instalada em dispositivo móvel.

Para o controle de qualidade do levantamento, 30 pontos foram demarcados fisicamente em campo através de alvos fotogramétricos, rígidos e imóveis, dotados de dimensões adequadas para a boa visibilidade, georreferenciados por meio do sistema GPS RTK com receptores de dupla frequência do tipo L1/L2.

O pós-processamento, foi executado, em um processador CPU Intel Core I7 7500 2,90GHZ, com 16 Gb de memória RAM, VGA NVIDIA GeForce 940MX e SSD de 128Gb de capacidade rodando um software de processamento digital de imagens.

## 3. METODOLOGIA

O método de pesquisa aplicado para o desenvolvimento deste trabalho é o caso de estudo, tendo como fonte de dados; bases literárias e projetos semelhantes já realizados, analisados com o intuito de oferecer substancialidade para o levantamento de campo, este que também é fonte de dados para as análises decorrentes desta pesquisa.

O levantamento de campo também foi utilizado como abordagem para obtenção dos dados, cujo processamento e a análise foram efetuados de forma qualitativa e quantitativa, e compõem os resultados deste trabalho.

### 3.1. PROJETO AEROFOTOGRAMETRICO

Os levantamentos aerofotogramétricos foram executados no terreno pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na localidade conhecida como Curva do Arroz, mapeando uma área de cerca de 227.000 m<sup>2</sup> (22,7 ha) da gleba de terras. Extensão, cuja determinação levou em conta o tempo de voo necessário para que se pudesse obter as imagens respeitando os demais critérios fixados para controle deste trabalho. O tempo de voo tem uma relação direta com a altura de voo estabelecida, uma vez que em

menores alturas, maior quantidade de imagens será necessária para cobrir uma área com mesma extensão, como estabelece Coelho e Brito (2007).

Para esta pesquisa, as missões de voo foram executadas em três alturas distintas: 120m, 80m, e 40m com área de superposição de 75 % tanto longitudinalmente quanto transversalmente, operando na modalidade Voo Contínuo, visando a otimização do uso da bateria, em que o VANT não reduz sua velocidade para capturar as imagens. Isso possibilita uma melhor alocação de recursos em campo, outro critério levado em conta para determinação da extensão da área de pesquisa.

A qualidade do levantamento foi controlada estatisticamente através dos Padrões de Exatidão Cartográfica por meio de 15 pontos de checagem, locados e georreferenciados em campo, juntamente com 15 pontos de apoio, estes, utilizados como condição de contorno para o processamento dos dados. O georreferenciamento destes pontos se deu com a utilização de GPS geodésico RTK, buscando máxima qualidade na determinação dos dados de verificação e de apoio aos processos fotogramétricos.

As etapas que se seguiram, foram de processamento de dados, elaboração dos produtos fotogramétricos digitais, sua análise estatística e comparação com os padrões de exatidões vigentes, aferindo assim a qualidade dos trabalhos desenvolvidos. O Processamento das imagens obtidas se deu com aplicação de um software de processamento digital de imagens fotográficas, onde foram desenvolvidos modelos digitais de terreno, superfície e elevação. O software AutoCad Civil 3D também foi largamente utilizado, na elaboração de representações, no planejamento, bem como, para aplicação dos dados gerados pela fotogrametria.

### 3.1.1. ÁREA MAPEADA

A área selecionada para realização do levantamento fotogramétrico, foi o terreno pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina, localizado no km 52 da Rodovia BR 101, na região sul do município de Joinville. A área total de propriedade da universidade mede aproximadamente 1.263.323 m<sup>2</sup> (126,3 ha) com confrontações irregulares limitando-se a Leste com a BR-101, ao Norte com o trevo de acesso Sul do município de Joinville denominado, saída 50 da BR 101, a Oeste pelo Rio Braço Comprido e a Sudeste pelo Rio Lagoa, figura 2.

Como podemos denotar a partir também da figura 2, parte do espaço disponível para realização do levantamento encontra-se coberto por vegetação densa (fato que limita a utilização desta tecnologia), outra parcela do terreno já possui uso, abrigando torres de linha de transmissão de alta tensão. Que por questões de segurança o sobrevoo dessa área não é recomendado, portanto esta região foi descartada do mapeamento.

Após está prévia análise a partir das imagens de satélite disponíveis e de uma visita ao local, definiu-se que a extensão da área em que o aerolevantamento seria efetuado, como sendo: 227.000 m<sup>2</sup> (22,7 ha.), como em destaque hachurado na figura 2.

Figura 2 - Área Selecionada para mapeamento fotogramétrico.



Fonte: Dalmolin (2018)

### 3.1.2 PLANOS DE VOO

Para mapear a área selecionada foram sobrevoados cerca de 320.000 m<sup>2</sup> (32 ha) de área total, tomando um deslocamento de em média 25 m das extremidades da área definida para ser mapeada. Os planos de voo foram elaborados com o apoio do aplicativo DroneDeploy, software que apresentou melhor compatibilidade com o VANT utilizado para a captura as imagens durante as missões de voo e com o dispositivo Android utilizado para o pareamento e controle.

O VANT utilizado no aerolevanteamento foi o DJI Phantom 4, aeronave de uso recreativo que segundo informações da fabricante tem peso de decolagem de 1380g, com 350 mm de tamanho diagonal e tempo operacional de duração de bateria de cerca de 18 minutos, localizando-se através do sistema GPS/GLONASS, com precisão vertical +-0,1 m e horizontal +-0,3 m.

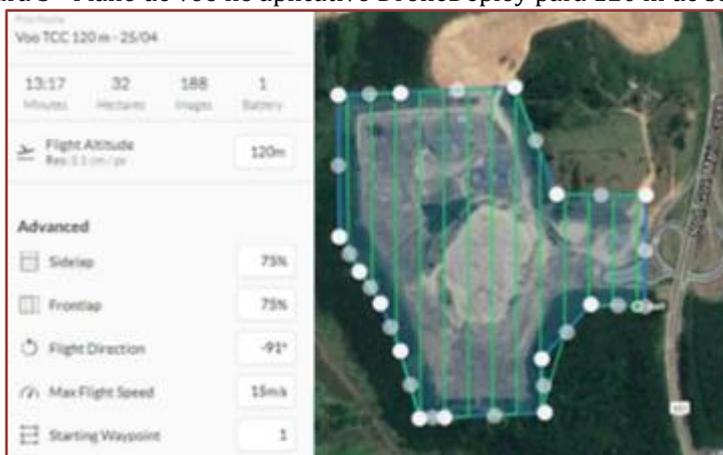
O Phantom 4 está equipado com sensor de imagem CMOS de 1/2,3” com resolução de 12 Mp [4000X3000], que focaliza automaticamente através de uma lente com campo de visão 94°, de f=20mm, equivalente a 35 mm e fstop = f/2,8 com o foco no infinito. Cada imagem capturada pelo sensor requer entorno de 5,2Mb de espaço em memória para armazenamento.

Para o planejamento de voo a diferentes alturas foram considerados sobreposição longitudinal e transversal como sendo de 75 % para todos os casos, e a duração da bateria para fins de planejamento ficou minorada em 15 minutos por questões de segurança de modo evitar falta de energia durante os voos. Para as missões de voo, estavam disponíveis duas baterias, dando a possibilidade de realização de dois voos por deslocamento a campo.

Para o levantamento a 120 m, figura 3, foram previstas a captura de 188 imagens, totalizando 997,66 Mb de espaço necessário para armazenamento, e a realização de um voo de duração de 13:17 minutos não havendo trocas de bateria. O GSD teórico calculado é de 5,1 cm/p coincidindo com o valor indicado pelo aplicativo.

Na tabela 1 se encontram especificados os dados utilizados nos planos de voo realizados para esta pesquisa.

Figura 3 - Plano de voo no aplicativo DroneDeploy para 120 m de sobrevoos.



Fonte: Dalmolin (2018)

Tabela 1 – Resumo dos dados usados nos planos de voo

H[m]	T[min]	No. De Imagens	Sobreposição lateral	Sobreposição Longitudinal	GSD teórico [cm]	GSD app [cm]120
120	13:17	188	75%	75%	5.09	5.10
80	23:42	424	75%	75%	3.49	3.40
40	79:51	1673	75%	75%	1.71	1.70

Fonte: Dalmolin (2018)

### 3.1.3. PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO E CHECAGEM

A distribuição dos pontos foi planejada em função dos planos de voo a serem executados a diferentes alturas sobre a área a ser mapeada, e ainda estando em observância com os requisitos de distribuição geral, como recomendam Silva e Costa (2012).

Andrade apud Coelho e Brito (1998), recomenda que o espaçamento dos pontos seja de três a cinco bases no sentido longitudinal do voo, e de duas bases no sentido transversal. O termo base compreende a distância entre o centro de duas exposições sucessivas em uma mesma faixa de voo.

Levando em conta o caráter acadêmico que esta pesquisa se propõe, tendo como variável praticada em campo a altura de voo, julgou-se razoável uma distribuição dispersa ao longo da extensão do terreno, uma vez que em diferentes alturas o posicionamento dos blocos, e o distanciamento das bases ficariam em pontos diferentes dificultando um posicionamento ótimo para as três alturas de voo praticadas.

Deste modo, procurou-se contemplar as áreas mais acidentadas do terreno dispondo os pontos em local aproximadamente plano, com boa visibilidade, e com determinada distância da ocorrência de sombras e de objetos altos como edifícios, árvores, taludes.

Silva e Costa (2012) apontam que quanto maior o número de imagens em que um mesmo ponto é registrado, mais confiáveis serão os valores finais das coordenadas calculadas.

A distribuição dos pontos de controle e de apoio para a realização da instalação dos alvos fotogramétricos está representada na figura 4.

Figura 4 - Distribuição dos pontos de Apoio e Checagem



Fonte: Dalmolin (2018)

### 3.1.4. 2ª ETAPA DE CAMPO - REALIZAÇÃO DAS MISSÕES DE VOO

As missões de voo já planejadas em 4.1.2 foram executadas entre os dias 25 e 30 de abril de 2018, por um mesmo operador acompanhado por diferentes observadores, compondo dessa forma distintas equipes de campo.

Como objetivo destes deslocamentos estavam a efetivação dos planos de voo elaborados através da aplicação DroneDeploy sobre a área definida, registrando os dados de campo através da captura de imagens a partir de um sensor embarcado no VANT em questão, respeitando os padrões de voo estabelecidos pela pesquisa.

### 3.1.5. GEORREFERENCIAMENTO

Para o georreferenciamento dos pontos de apoio e de controle buscou-se apoio de uma equipe externa devido as limitações de acesso aos equipamentos requeridos neste processo, visando a melhor qualidade dos resultados e aplicação das técnicas mais refinadas tecnologicamente, uma vez que desta etapa serão obtidos os dados que servirão como parâmetro de controle desta pesquisa.

A aquisição das coordenadas dos pontos de apoio e checagem foi feita através do uso de receptores de dupla frequência do tipo L1/L2, com o tempo de coleta de base de 2 horas e tempo de coleta dos rovers de 5 minutos, sendo que a transformação de altitudes do sistema geométrico para o ortométrico foi feito com o software MAPGEO2015.

Utilizou-se como base, um receptor GNSS RTK R8 marca Trimble estacionado sobre tripé devidamente nivelado e como rover, uma antena idêntica, porém fixada em bastão apoiado, acompanhada da coletora de dados.

Este tipo de instrumental fornece dados com incertezas da ordem de 10 mm na horizontal e de 20 mm na vertical. Os valores das coordenadas adquiridas estarão apresentados no formato de projeção UTM, Zona 22 Sul, Datum SIRGAS 2000. A estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) utilizada para obtenção dos dados foi a Santa Catarina/Araquari (SCAQ).

### **3.1.6. PROCESSAMENTO DOS DADOS**

O processamento dos dados se deu com aplicação de um software de processamento digital de imagens, utilizando como processador uma CPU Intel Core I7 7500 2,90GHZ, com 16 Gb de memória RAM, VGA NVIDIA GeForce 940MX e SSD de 128Gb de capacidade. Tendo como duração respectivamente para os dados obtidos a 120 m, 80 m e 40 m, 6 horas, 18 horas e 22 horas.

O objetivo desta etapa é a geração dos produtos fotogramétricos correspondentes a cada altura de voo, através das imagens adquiridas em campo. Os produtos fotogramétricos extraídos são: o modelo tridimensional da superfície, o modelo digital de elevação, o mosaico de ortoimagens e o mapa com as curvas de nível.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A apresentação dos resultados obtidos pelo desenvolvimento da pesquisa está organizada em 3 partes, se tratando de: georreferenciamento, do processamento, e da avaliação estatística dos resultados obtidos, está englobando uma análise mais profunda, além da discussão sobre a qualidade dos produtos fotogramétricos obtidos.

### **4.1. GEORREFERENCIAMENTO**

Como resultado do georreferenciamento de campo feito com GPS RTK tem-se as coordenadas dos pontos de apoio e de checagem, apresentados na tabela 2, em coordenadas UTM no Datum SIRGAS 2000 zona 22S, ajustados através da RBMC SCAQ estes dados possuem incerteza de 1 cm na horizontal e 2 cm na vertical, advindos do sistema de medição.

### **4.2. PROCESSAMENTO E PÓS-PROCESSAMENTO DE DADOS**

O resultado do processamento será apresentado de acordo com relatório gerado pelo software, para cada altura de voo praticada.

A seguir se encontra representado a sequência de trabalho estabelecida para a altura de 120m, procedimento que foi adotado igualmente para a altura de 80m e 40m, porém, os dados específicos obtidos para esses voos não serão apresentados neste trabalho, mas podem ser encontrados mais detalhadamente no trabalho de Dalmolin (2018).

Tabela 2 - Coordenadas dos pontos de Apoio e Checagem

PONTO	E[m]	N[m]	Z[m]	PONTO	E[m]	N[m]	Z[m]
A1	714.841,73	7.078.595,67	11,118	C16	715.071,76	7.078.667,43	11,33
A2	714.995,54	7.078.639,69	12,324	C17	714.891,45	7.078.585,69	11,714
A3	715.100,97	7.078.614,12	13,059	C18	714.870,72	7.078.475,65	12,2
A4	714.934,35	7.078.545,79	12,588	C19	715.025,11	7.078.504,86	16,22
A5	714.833,63	7.078.481,81	11,407	C20	714.919,20	7.078.372,64	11,642
A6	715.119,01	7.078.472,12	16,237	C21	715.029,82	7.078.409,84	21,231
A7	715.095,47	7.078.367,97	20,78	C22	715.124,52	7.078.400,24	20,512
A8	715.251,28	7.078.416,01	26,257	C23	715.319,21	7.078.378,24	23,646
A9	715.367,95	7.078.412,00	24,016	C24	715.082,30	7.078.303,42	22,787
A10	714.941,02	7.078.214,96	10,309	C25	715.232,28	7.078.340,26	19,323
A11	715.001,36	7.078.370,43	23,699	C26	714.962,62	7.078.293,61	14,413
A12	715.066,77	7.078.245,06	19,09	C27	715.149,31	7.078.245,20	18,58
A13	715.211,82	7.078.298,14	18,661	C28	715.066,16	7.078.165,98	15,402
A14	714.973,79	7.078.058,81	10,518	C29	714.982,04	7.078.124,24	10,778
A15	715.133,06	7.078.074,16	11,52	C30	715.050,62	7.078.062,26	11,55

Fonte: Dalmolin (2018)

#### 4.2.1. RESULTADOS OBTIDOS À 120M

As 204 imagens importadas para o software geraram um produto cartográfico final com GSD= 5,04 cm/p a uma altura de voo média real de 136m, uma diferença de 16 m dos planos originais, cobrindo uma área de aproximadamente 35 ha ao invés dos 32 ha planejados.

Estas pequenas diferenças eram esperadas e considerada nos planos de voo através dos fatores internos do próprio aplicativo de planejamento DroneDeploy.

Através da análise do mapa de cores, podemos denotar que toda área definida para o mapeamento teve sobreposição de pelo menos 9 imagens, valor considerado adequado para geração dos produtos fotogramétricos e que atendente o critério definido como sendo 75% de sobreposição lateral e longitudinal.

Estas informações são obtidas através do processo de alinhamento das capturas, que também gerou uma nuvem de pontos esparsa com 100208 pontos, projetados 608447 vezes com erro de apontamento de 0,709p. Estas informações estão sucintamente resumidas na tabela 3.

##### 4.2.1.1. POSIÇÃO ESTIMADA DE CAPTURA DE IMAGENS

Através da posição estimada da captura de imagens é possível estimar qual seria a incerteza do mapeamento caso não fossem aplicados pontos de apoio e controle em campo, e o referenciamento ocorresse apenas baseado no GPS embarcado no VANT, que atribui em cada captura suas coordenadas. Os resultados obtidos com esta consideração estão representados na tabela 4. Obtidos através do cálculo da média do erro medido entre a coordenada de captura de cada imagem, registrada pelo GPS embarcado no VANT, e a estimativa desta mesma coordenada através do modelo numérico, ajustado com o uso dos pontos apoio georreferenciados.

Tabela 3 – Resultados obtidos à 120m

Imagens Alinhadas	204
Altura de voo estimada	136 m
GSD final	5,04 cm/p
Área de Cobertura	3.58e+05 m <sup>2</sup>
Posições de câmera	204
Nuvem Esparsa	100,208
Projeções	608,447
Erro de projeção	0,709 p

Fonte: Dalmolin 2018

Tabela 4- Erro em relação a posição de captura de cada imagem à 120 m

E erro[m]	N erro[m]	E N Erro[m]	Z erro[m]	Erro Total [m]
1,07565	5,3233	5,43089	74,51056	74,7133

Fonte: Dalmolin (2018)

Denota-se grande incompatibilidade na localização do eixo Z, atribuindo uma componente da ordem de 75m no erro médio calculado. O que não se percebe nas componentes planares de localização E e N que apresentaram valores de 1,07 e 5,32 respectivamente, esta última componente mais pronunciada por estar alinhada com o sentido de variação de posição do VANT.

#### 4.2.1.2. AVALIAÇÃO DOS PONTOS DE CHECAGEM

O erro de apontamento dos pontos de apoio na imagem deve ser menor que 1 pixel, valor que lhe confere incerteza inferior ao valor do GSD final atingido pelo mapeamento, neste caso o valor de 0,169 é razoável, produzindo precisão dos pontos de controle igual a 3,010 cm valor, excelente levando em conta o GSD final do mapeamento igual a 5,04cm/p, considerando que grande parte desta incerteza advém do eixo Z. Também observa-se que o ponto que obteve menor valor de projeções, o que é equivalente ao número de imagens em que foi registrado, identificado e teve suas coordenadas calculadas, foi o ponto A5 com 13 projeções, valor suficiente para se obter um bom ajuste, uma vez que o módulo do erro, expresso na coluna (Erro Total) foi igual a 3,645 cm, valor ainda inferior a resolução do mapeamento.

Os pontos de checagem, tomados como principal indicador de qualidade desta pesquisa, assumem a função de, mediante o cálculo da discrepância da coordenada estimada pelos processos de aerotriangulação executados pelo software e a coordenada adquirida em campo pelo processo de georreferenciamento, indicar o erro médio quadrático referente às várias observações. Para este mapeamento o resultado obtido foi igual a 4,225cm, que comparado como valor do GSD final é considerado excelente.

#### 4.2.1.3. ANÁLISE E QUALIDADE PEC PCD

A partir do erro médio quadrático calculado com os pontos de verificação foi possível calcular a média, a variância e o desvio padrão dos resultados para cada eixo do levantamento, para então, finalmente fazer a determinação do Erro Padrão Horizontal e o Erro Padrão Vertical e classificar o mapeamento como sendo CLASSE A, com EP (E,N)= 1,96 cm; EP (Z) =3,35cm podendo ser reproduzido em escala 1:1000, tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros estatísticos e o Erro Padrão para o mapeamento a 120 m

Parâmetro	E [cm]	N [cm]	Z [cm]
Média aritmética	-0,38435	-0,29378	-1,67521
Variância	2,81696	1,02884	11,21740
Desvio Padrão	1,67838	1,01432	3,34924
Erro Padrão	1,96107		3,34924

Fonte: Dalmolin (2018)

#### 4.2.1.4. PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS

O principal produto fotogramétrico extraído pelo processamento é o mosaico de ortoimagens, figura 5, com GSD = 5.04 cm/p, georreferenciado em coordenadas UTM, Zona 22 S no Datum SIRGAS 2000.

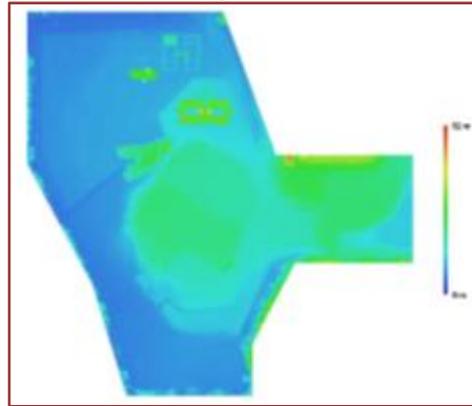
O MDE, figura 6, foi gerado através da nuvem densa de pontos, sem classificação, e sem filtragem, portanto descrevendo a superfície exposta as capturas das imagens, sendo reconstruídos 98,53 pontos /m<sup>2</sup> mapeado, a resolução do produto fotogramétrico foi igual a 10,1 cm/p. Neste modelo de representação, georreferenciado em coordenadas UTM, Zona 22 S no Datum SIRGAS 2000, a altimetria do terreno é

representada por uma escala de cores, variando de pixel a pixel, onde cores mais quentes representam áreas com maiores altitudes, e cores mais frias áreas mais baixas.

Figura 5- Mosaico de Ortoimagens obtidas à 120 m



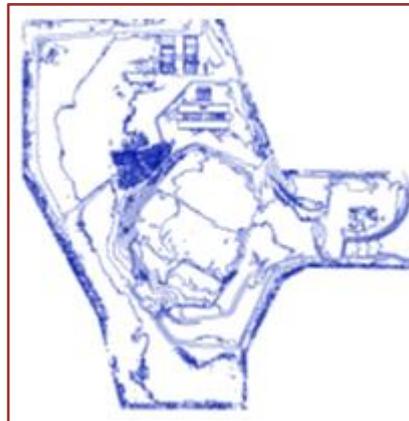
Figura 6 - Modelo Digital de Elevação correspondente a superfície exposta a captura das imagens a 120 m



Fonte: Dalmolin (2018)

Na cartografia e na topografia, uma das formas mais difundidas e simplificadas de representação de elevação é a representação por curvas de nível, para tanto com os resultados obtidos com o modelo digital de elevação apresentado, foi possível gerar o seguinte mapa com a representação da altimetria do terreno em curvas de nível, figura 7.

Figura 7 - Representação em Curvas de Nível a cada 1 m



Fonte: Dalmolin (2018)

Na figura 8 está a representação tridimensional texturizada do terreno mapeado, produto fotogramétrico que pode ter diversas aplicações tanto na arquitetura quanto no planejamento urbano, viário entre outras aplicações, este modelo possui resolução de 5,5 cm/p

Figura 8 - Representação Tridimensional Modelo Tiled



Fonte: Dalmolin (2018)

#### 4.2.2. ANÁLISE COMPARATIVA E RESUMO DOS PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO UTILIZADOS

Utilizando o mosaico de ortoimagens, e o MDE como principais produtos fotogramétricos gerados, e avaliando a qualidade dos levantamentos quanto ao PEC-PCD, indicado em 2.4.1, foram obtidos excelentes resultados para os levantamentos executados à 120m e a 80 m ambos correspondendo a CLASSE A de representação que determina que o erro padrão calculado para cada levantamento deve ser inferior a 17cm no plano horizontal (E,N) e inferior a 33cm no eixo vertical (Z). Entretanto, como esperado nos resultados obtidos a 80 m, foi possível notar um melhor desempenho devido a maior proximidade do eixo óptico com o solo, proporcionando uma melhor resolução espacial para o levantamento, embora seu processamento tenha sido mais oneroso do ponto de vista computacional, consumindo maior quantidade de recursos. Conclui-se que para área mapeada, para os pontos de apoio e controle aplicados, e com a aplicação dos recursos computacionais disponíveis, o mapeamento à 80 m se mostrou mais adequado frente às outras alturas de voo praticadas, não só por apresentar maior resolução espacial em relação ao mapeamento realizado a 120 m, mas por questões de planejamento, segurança, agilidade para realização do levantamento em campo, equilíbrio entre requisitos computacionais e os recursos disponíveis, tabela 6.

Tabela 6 – Comparativo do padrão de exatidão obtido para as diferentes alturas de voo e as resoluções espaciais correspondentes

120m	CLASSE A	EP(E,N)= 1,96 cm	EP (Z) =3,35cm	5,04	10,1
80m	CLASSE A	EP(E,N)= 1,00 cm (0,43)	EP (Z) =2,36cm	3,94	6,74
40m	N/C	N/C	N/C	1,87	8,43

N/C: Não classificado

Fonte: Dalmolin (2018)

A análise dos produtos gerados pelos levantamentos a 40 m não foi contemplada pela classificação através do PEC-PCD, ficando restrita apenas às resoluções dos produtos fotogramétricos geradas e aspectos qualitativos quanto a observação dos alvos e a foto identificação de objetos de interesse. Para melhores ajustes dos resultados obtidos para esta altura de voo, é necessário a aplicação de mais um ciclo de processamento contemplando a nuvem densa de pontos agrupada das diferentes cenas consideradas, para tanto uma estação de trabalho com pelo menos as seguintes configurações deve ser utilizada para tratamento dos dados: processador Intel Core i7 CPU, memória RAM DDR3-1600, 8 x 4 GB (32 GB no total), placa de vídeo Nvidia GeForce GTX 980 Ti. Entretanto, não é esperado que os resultados obtidos possam ter qualidade superior ao levantamento realizado à 80 m isso devido a um número insuficiente de pontos de apoio aplicados em campo, em relação ao levantamento realizado a 40 m. Com os pontos de apoio e controle aplicados na pesquisa, o espaçamento entre as bases ficou extenso demais, levando a muitas capturas não registrarem nenhum ponto de coordenada conhecida e aferida pelo sistema de baixa incerteza, sendo ajustadas apenas pelos valores de suas vizinhanças, prejudicando a qualidade do produto final.

Analisando os levantamentos quanto a foto-identificação dos alvos fotogramétricos, ajustando o nível de zoom das capturas para a resolução ideal do levantamento sem distorções, podemos obter o comparativo da figura 9, ficando evidente a maior facilidade de identificação dos alvos em alturas de voo inferiores.

Figura 9 Comparativo da resolução espacial à diferentes alturas para o nível de zoom ideal –



Fonte: Dalmolin (2018)

Na tabela 7 estão apresentados de forma comparativa todos os parâmetros considerados para o processamento das imagens, bem como o quantitativo dos principais resultados apontados em cada processo.

Tabela 7 – Comparativo entre os parâmetros de processamento para diferentes alturas

Geral	120 m	80 m	40 m
Imagens importadas	204	453	1982
Imagens alinhadas	204	453	1936
Marcadores	30	30	30
Sistema de Coordenadas	SIRGAS2000 / UTM	SIRGAS2000 / UTM	SIRGAS2000 / UTM
Nuvem de Pontos Esparsa	100208 pontos	222345 pontos	925104 pontos
Erro Médio de Reprojção	0,310614 (0,708643 p)	0,317143 (0,733676 p)	0,694852 (4,03603 p)
(Distorções máximas	2,87926 (32,5367 p)	2,48199 (22,3091p)	26,8663 (118,922 p)
Tamanho Médio dos Pontos Chave	2,25276 p	2,25297 p	7,09804 p
Sobreposição efetiva	5,90601	5,98647	7,11041
<b>Alinhamento</b>			
Precisão	Ultraelevada	Ultraelevada	Elevada
Pré-seleção de pares	Referência	Referência	Referência
Limite de pontos chave	40000	40000	40000
Limite de pontos de amarração	4000	4000	4000
<b>Reconstrução</b>			
Nuvem de pontos densa	59876652 Pontos	103567123 Pontos	211830218
Qualidade	Elevada	Elevada	Elevada
Filtro de profundidade	Moderado	Moderado	Moderado
<b>Modelo</b>			
Faces	8612145	15142861	X
Vértices	4322240	7595143	X
Textura	4096 x4096,8 bits	4096x 4096, 8 bit	X
Tipo de superfície	Mapa de alturas	Mapa de Alturas	X
Fonte	Nuvem densa	Nuvem densa	X
Interpolação	Desativada	Desativada	X
Qualidade	Elevada	Elevada	X
Filtro de profundidade	Moderado	Moderado	X
Número de faces final	8753808	15346994	X
<b>Texturização</b>			
Modo de mapeamento	Ortofoto	Ortofoto	X
Modo de combinação	Médio	Médio	X
Tamanho da textura	4,096 x4,096	4,096 x4,096	X

Fonte: Dalmolin (2018)

## 5 CONCLUSÕES

A metodologia aplicada evidencia o processo de racionalização e automatização da aquisição dos dados em campo por meio de VANTS pilotados de forma remota além da quantificação objetiva dos resultados, através da elaboração de mapas e modelos digitais detalhados de superfícies extensas.

Através dos resultados obtidos pelos mapeamentos realizados a 120 e a 80 m e a aplicação de 15 pontos de apoio e 15 pontos de controle foi possível, estabelecer através da utilização de técnicas de fotogramétrica digital bases cartográficas para uma área correspondente à 230.000 m<sup>2</sup> classificadas como sendo CLASSE A do Padrão de Exatidão Cartográfico Brasileiro, produzindo precisão centimétrica nos três eixos do levantamento, desta forma comprovando, assim como Silva Neto (2015), a adequabilidade do uso do VANT DJI Phantom 4 para a aquisição de dados à serem aplicados em processos fotogramétricos, bem como a qualidade dos mapas produzidos, em relação aos métodos de aquisição de dados convencionais.

Também é notável, em razão dos dados obtidos em voos a 40 m, que levantamentos aerofotogramétricos nessa escala cobrindo áreas de mesma extensão, requer projeto específico, desmembrando a área em menores setores, com os devidos pontos de amarração de modo a tornar os procedimentos de processamento de imagens menos onerosos, bem como, é necessário a implantação de um conjunto de pontos de apoio mais denso, devido ao refinamento da malha.

Deste modo, é possível considerar a fotogrametria com VANTS como sendo uma alternativa mais rápida e menos onerosa para levantamentos topográficos de áreas extensas e com dificuldades de acesso, a depender dos critérios de tolerância desejados em projeto, e os refinamentos necessários entorno destes dados.

## REFERÊNCIAS

- [1] BURCH, R. A short history of photogrametry. Estados Unidos: The Institute for Digital Mapping, Ferris State University, 1997
- [2] COELHO, L.; BRITO, J. Fotogrametria digital. 2. ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007. 196 p.
- [3] COMNINOS, Peter. Mathematical and computer programming techniques for computer graphics. Fern Barrow: Springer, 2006. 556 p.
- [4] LISBOA FILHO, Jurgurta. Projeto de banco de dados para sistemas de informação geográfica. In: ESCOLA DE INFORMÁTICA DA SBC - SUL, 8., 2000, Ijuí. Artigo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 1 - 38.
- [5] SHIMABUKURO, Yosio Edemir; PONZONI, Flávio Jorge. Mistura Espectral: modelo linear e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 127 p.
- [6] FERNANDES, Roberto Cid; KANAAN, Antônio; GOMES, Jean Michel. As ferramentas do Astrônomo: O que medimos, como medimos e o que aprendemos. Florianópolis: Ufsc, 2009.
- [7] SOUZA, Celso Coelho de et al; no Brasil: Uma revisão bibliográfica. In: CIÊNCIA FLORESTAL SANTA MARIA, 17., 2007, Santa Maria. Artigo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 409 - 417.
- [8] SILVA NETO, Manoel (Ed.). Planejamento de Voo e GSD. 2015. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voos/>>. Acesso em: 12 out. 2017.
- [9] MARTIN, Laurent. PEC, como aplicar. 2016. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/pec-o-que-e-e-como-aplicar-2/>>. Acesso em: 4 out. 2017.
- [10] BERNARDI, Alberto Carlos de Campos et al. Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. 596 p.
- [11] SILVA, Daniel Carneiro da; COSTA, Glauber Carvalho. Aerofotogrametria em projetos de estradas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3, 2010, Recife. Artigo. Recife: Alb, 2010. p. 1 - 13.
- [12] CMOS Animation Sequence. Direção de Raymond Siri. Nova York: Siri, 2015. (1 min.), Digital, color. Animation to show how CMOS image sensor works.. Disponível em: <<https://vimeo.com/103279734>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- [13] CCD Animation Sequence. Direção de Raymond Siri. Nova York: Siri, 2015. (1 min.), Digital, color. (Full HD 15-25Mbps). Disponível em: <<https://vimeo.com/103279734>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

- [14] RAMOS, José Augusto Sapienza; PRATES, Izabela. PEC: 30 anos do Padrão de Exatidão Cartográfica no Brasil. 20141. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2014/08/10/30-anos-do-padrao-de-exatidao-cartografica-no-brasil/>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- [15] AGISOFT PHOTOSCAN. Assistência técnica/instruções de uso. Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2. 1.ed. são. Petersburgo,, 2016. 103p.
- [16] BRASIL. Decreto nº 80.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial, Brasília, DF, 20 jun. 1984. Seção 1, p. 1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d89817/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817/)>. Acesso em: 15 novembro 2017.

# Capítulo 11

## *Ensaio de moagem do feldspato pegmatítico do Alto Serra Branca-PB*

*Gerson Ferreira da Silva*

*Elbert Valdiviezo Viera*

**Resumo:** A busca por eficiência, melhoramento, e um dimensionamento adequado dos equipamentos de moagem que envolvem o processo de cominuição, tem levado inúmeros estudiosos, e empresas a estudarem, as técnicas, e os processos de beneficiamento dos minerais pegmatíticos, visando a sua aplicação na indústria de forma otimizada. Para realização desta pesquisa, a amostra de minério, e de feldspato albita, foram coletadas no garimpo Alto Serra Branca-PB, e em seguida executado os ensaios de beneficiamento em escala de laboratório. Essas amostras foram identificadas, e preparadas em granulometria de 200 malhas, e posteriormente conduzida as atividades laboratoriais. Na realização dos ensaios de beneficiamento teve-se a necessidade de fazer uma britagem primária e secundária para reduzir a uma determinada granulometria que atendesse as especificações da alimentação da moagem. A amostra de feldspato albita foi fragmentada inicialmente a uma granulometria abaixo de 25 mm, e na britagem secundária através do britador de mandíbulas, reduzida a tamanhos menores que 5 mm. Na etapa de moagem foi usado um moinho de porcelana, devido à preocupação de não ocorrer contaminação com ferro. O tempo de moagem empregado para cada ensaio foi no intervalo de 10 min, e foram feitos em 10, 20, 30, 40, 50, e 60 min. Quanto aos resultados dos ensaios foram promissores, onde se obteve 25% da granulometria almejada, a partir do material da alimentação do moinho de bolas.

**Palavras-chave:** Albita, Ensaio, Moagem, Pegmatitos.

## 1. INTRODUÇÃO

Os depósitos e ocorrências de pegmatitos são uma importante fonte de minerais econômicos, tais como quartzo, feldspato, caulim, micas e gemas (COELHO, 2009). Também são fontes principais ou exclusivas de alguns metais raros como tântalo, lítio, berílio, nióbio, entre outros, contidos em espécies minerais como tantalita, columbitatantalita, espodumênio, berilo, entre outros (LIMA, 2002).

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) é uma região de domínio de pegmatitos, abrangendo parte dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, com presença de corpos mineralizados, principalmente em Ta-Nb, Be, Sn e Li. Outras áreas pegmatíticas também ocorrem no Estado do Ceará. A mineração de pegmatitos na Mesorregião do Seridó teve início na década de 1940, que teve incentivos resultado da cooperação do governo brasileiro com as Forças Aliadas durante a Segunda Guerra Mundial. Na ocasião, foi incentivada principalmente a produção de minerais de estanho, de berílio, de lítio e de tântalo. Com o fim do conflito, houve uma queda de produção, mas formou-se na região uma cultura mineira que persiste até os nossos dias (LUZ; LINS, 2003).

No Estado da Paraíba, as atividades mineiras que ocorrem nas cidades de Pedra Lavrada e Nova Palmeira, concentram-se principalmente na extração e beneficiamento de minerais de pegmatitos, que vêm sendo exploradas na região desde meados do século passado (LUZ; LINS, 2008).

A COOMIPEL (Cooperativa de Pequenos Mineradores de Pedra Lavrada), localizada no município de Pedra Lavrada-PB, Estado da Paraíba foi selecionada para este trabalho devido a sua importância para economia da região, e porque sua unidade de beneficiamento representa o processo empregado para o beneficiamento desses pegmatitos, em particular o mineral feldspato.

Os pegmatitos que fornecem material para a unidade de beneficiamento dos garimpeiros de Pedra Lavrada apresentam vasta mineralogia acessória. Dessa forma, a matéria prima proveniente desses garimpos está associada com vários minerais deletérios para a indústria vidreira e cerâmica, como minerais de ferro, fosfatos, granadas, entre outros.

As indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato. Essas demandam especificações físicas e químicas e certo grau de uniformidade no suprimento do produto. O feldspato é também usado como carga funcional e extensor, nas indústrias de tinta, plástico e borracha. Existem novos setores que apresentam consumo crescente, como as aplicações de tecnologia de painéis solares, cargas e cosméticos (WAN, 2008).

No processo de cominuição, a etapa de moagem é considerada muito importante, e no caso da COOMIPEL-PB é realizada por moinhos de bolas de seixos. Estes equipamentos operam em uma variada faixa de tamanhos, desde a moagem primária de 20 mm até a moagem ultrafina. Os moinhos tubulares, são os equipamentos que apresentam os maiores consumos de energia, e requerem maiores investimentos para um bom funcionamento da usina de processamento mineral. A realização de um estudo de ensaios de moagem é fundamental para ajudar na etapa de dimensionamento e escolha do equipamento correto, e na fase de controle operacional da usina (LUZ et al., 2010).

Esta pesquisa tem como objetivo realizar ensaios de moagem do feldspato albita, em escala de laboratório, com intuito de avaliar e observar os parâmetros que influenciam o processo de moagem. Esse processamento mineral é o que normalmente é realizado na cooperativa dos mineradores do município de Pedra Lavrada-PB, tendo como finalidade a obtenção do concentrado de feldspato.

A partir dos resultados deste estudo, pretende-se aplicar as informações obtidas na melhoria do funcionamento do equipamento da COOMIPEL-PB, e aumentar a produção de material na granulometria de 200 #. Também poderá contribuir para otimização do circuito de beneficiamento, e assim, irá agregar valor, e poderá servir de referência para outras cooperativas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA (PPB)

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) está inserida entre os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, tendo como coordenadas geográficas 5°30'S e 7°15'S de latitude e 35°45'W e 37°15'W de longitude, correspondendo a parte oriental da Faixa de Dobramento Seridó.

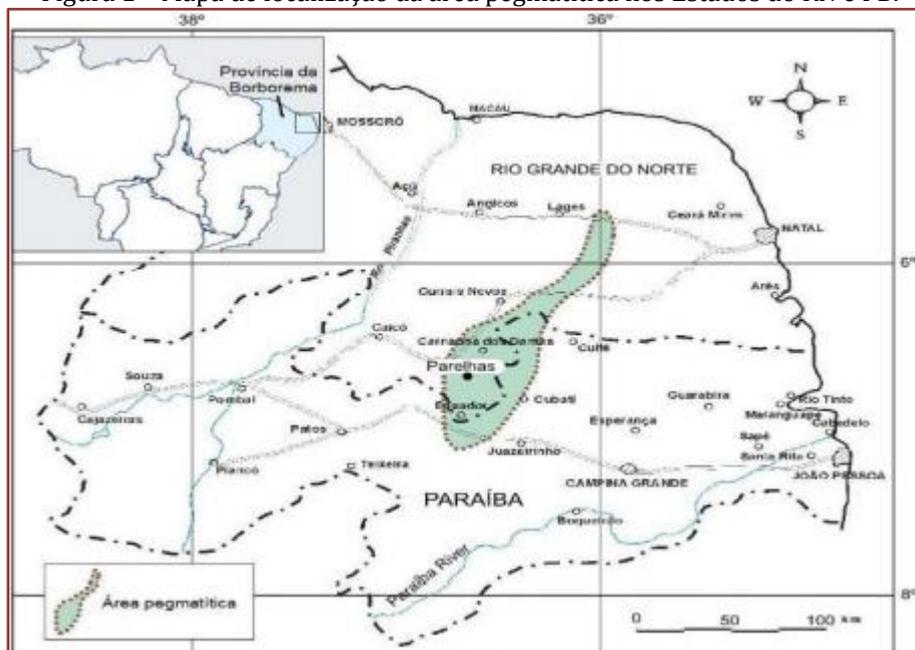
Conforme DA SILVA (1995) a área aproximada de concentração dos pegmatitos da PPB é de 75 X 150 km<sup>2</sup>, no Sudeste da Faixa de dobramentos Seridó, localizada entre os estados do RN e da PB, sendo estas rochas, majoritariamente, encaixadas em micaxistos, quartzitos e gnaisses do Grupo Seridó e, em número menor, nos gnaisses e migmatitos do Complexo Gnáissico-Migmatítico (LUZ; LINS, 2003).

Na Formação Seridó existem mais de 1.500 pegmatitos produtores de metais raros (Be, TaNb, Li e Sn), de gemas e de minerais industriais (feldspato, caulim e quartzo), em uma área de ocorrência de cerca de 10.000 km<sup>2</sup> (SILVA; CROSTA, 2011). A Figura 1 mostra a área pegmatítica da PPB.

Os pegmatitos mineralizados principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, Li, minerais industriais e minerais gemas desta província, ocorrem nos municípios de Parelhas, Equador e Carnaúba dos Dantas, no Estado do Rio Grande do Norte, e nos municípios da Paraíba em Picuí, Frei Martinho, Nova Palmeira, Pedra Lavrada, Juazeirinho e Junco do Seridó.

No período da II Guerra Mundial ocorreu um aumento no preço e na busca intensa por matérias primas e minerais estratégicos, como berilo e tantalita para atender as necessidades dos países aliados. De acordo com ROLFF (1946), o município de Picuí na Paraíba chegou a produzir, neste período, 20% da produção mundial de tantalita, e 8 a 10% da produção mundial de berilo. Neste período foram lavradas simultaneamente cerca de 450 pegmatitos em toda região.

Figura 1 – Mapa de localização da área pegmatítica nos Estados do RN e PB.



Fonte: ARAÚJO (2016).

### 2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS DA BORBOREMA

Para a província Pegmatítica da Borborema, os pesquisadores propuseram classificações desses pegmatitos, de acordo com alguns critérios. Dentre os autores estão SCORZA (1944), JOHNSTON Jr (1945), ROLFF (1945,1946) agrupou os pegmatitos da região, de acordo com a presença de minerais de valor econômico, como: cassiterita, berilo, tantalita e columbita, em:

- a) Pegmatitos que contêm cassiterita.
- b) Pegmatitos que contêm minérios de cobre.
- c) Pegmatitos que não contém cassiterita nem minerais de cobre.

De acordo com JOHNSTAN Jr (1945) classificou-os em homogêneos e heterogêneos, tendo como base a estrutura interna dos pegmatitos. Enquanto ROLFF (1945) classificou-os em homogêneos, heterogêneos e mistos (Figura 2).

#### a) Pegmatitos Homogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos, e moscovita, biotita, schorlita e almandina.
- Às vezes podem conter um pouco de berilo, columbita-tantalita, e cassiterita.
- Suas dimensões variam entre 1 a 2 m de espessura, com extensão de até centenas de metros. - São mais abundantes que os pegmatitos heterogêneos.

#### b) Pegmatitos Heterogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos e micas, podendo ter grandes quantidades de tantalatos, berilos, cassiterita e espodumênio, granada e turmalina negra.
- Podem conter grandes cristais (métricos) de berilo, feldspato, espodumênio, entre outros.
- Tem dimensões que chegam a 600m de comprimento por 150m de espessura, em afloramento.
- São economicamente mais importante que os pegmatitos homogêneos.

#### c) Pegmatitos Mistos

- São Pegmatitos intermediários entre os homogêneos e os heterogêneos, essa nomenclatura foi proposta por ROLFF (1945).
- São de granulação equidimensional, exceto alguns pontos onde ocorre gigantismo de minerais, geralmente rodeados por massas de quartzo.
- Ocorrem em pequeno número.

### 2.1.2 MINERALOGIA DOS FELDSPATOS

A associação dos produtores de feldspato da comunidade Européia-Eurofel, cita que os principais depósitos em exploração no mundo são depósitos do tipo nefelina sienito. Esses são rochas constituídas por feldspatóides, principalmente nefelina. Os principais depósitos em exploração estão situados no Canadá e na Noruega (COELHO, 2009).

De uma maneira geral, pode-se dizer que as composições químicas dos feldspatos permitem classificá-los em:

- Ortoclásio / Microclina ( $KAlSi_3O_8$ );
- Albita ( $NaAlSi_3O_8$ );
- Anortita ( $CaAl_2Si_2O_8$ ).

O grupo do feldspato é subdividido em dois subgrupos em função das diferenças dos tipos de álcalis predominantes e estrutura cristalina (DEER; HOWIER; ZUSSMAN, 1966). São eles:

1. Feldspatos alcalinos ou álcali-feldspatos: são os constituintes entre o feldspato potássico ( $KAlSi_3O$ ) e a albita ( $NaAlSi_3O_8$ );
2. Plagioclásios ou feldspatos sódico-cálcicos: membros com composições químicas entre anortita ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) e albita ( $NaAlSi_3O_8$ ).

Porém, para um bom entendimento da relação entre os minerais do grupo do feldspato, além da caracterização química e mineralógica, é importante caracterizá-los também em relação à temperatura de cristalização, pois, os feldspatos preservam em suas estruturas cristalinas as características da temperatura na qual foram formados.

### 2.2. ASPECTOS TEÓRICOS DA COMINUIÇÃO

As operações de cominuição compreendem diversos estágios que se aplicam ao minério, desde a mina, até sua adequação ao processo industrial subsequente. Na etapa de lavra, o desmonte do minério ou rocha, com o auxílio de explosivo pode ser visto como um primeiro estágio de fragmentação, onde são produzidos blocos volumosos, mas de um tamanho que permite alimentar os equipamentos de britagem (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

A britagem é a operação que fragmenta os blocos obtidos na lavra, podendo ser repetida diversas vezes por diferentes tipos de equipamentos, até se obter um material adequado à alimentação da moagem. A moagem é a operação de fragmentação fina obtendo-se nela um produto adequado à concentração ou a qualquer outro processo industrial, como a pelotização, lixiviação e combustão (FIGUEIRA; ALMEIDA; LUZ, 2004).

A britagem é o primeiro estágio mecânico de cominuição na qual o principal objetivo é a liberação das partículas dos minerais úteis dos minerais de ganga e permitir sua separação, através dos processos de concentração, em concentrados, rejeitos e produtos intermediários (WILLS; NAPPIER, 2006).

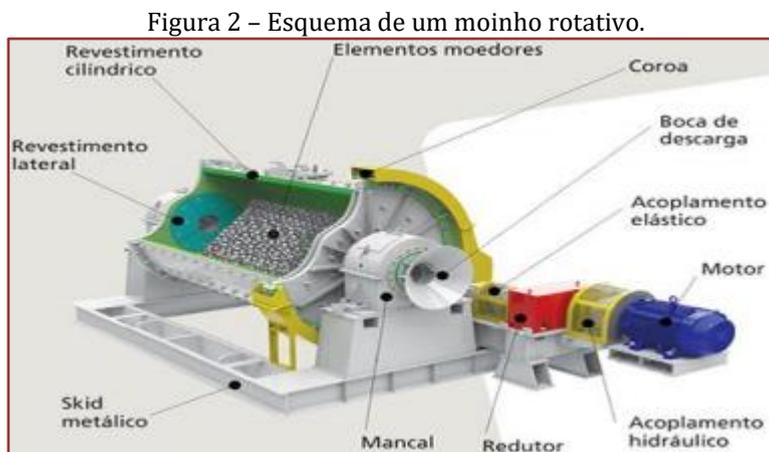
Normalmente, para haver uma liberação satisfatória do mineral valioso, é necessário que o minério seja reduzido a uma granulometria fina. Nessas condições, a fragmentação desenvolve-se por meio de três estágios, isto é, grossa, intermediária e fina ou moagem. Nos dois primeiros estágios, a fragmentação é realizada em britadores e no último estágio, em moinhos (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

### 2.2.1. MOAGEM

A importância da moagem na indústria reside no fato que a maior parte da energia gasta no processamento mineral é absorvida pela operação de moagem, ou seja, a maior parte do custo do tratamento depende da mesma. Sendo assim, a moagem deve ser bem estudada, nas etapas de dimensionamento e escolha do equipamento e bem controlada na etapa de operacionalização da usina (FIGUEIRA; ALMEIDA; LUZ, 2004).

#### 2.2.1.1. MOINHOS CILÍNDRICOS OU ROTATIVOS

Os moinhos rotativos são basicamente cilindros constituídos por uma carcaça de ferro, revestida internamente com placas de revestimento de aço ou borracha, que giram sobre mancais e dentro da qual uma carga solta denominada de corpos moedores (bolas, barras ou seixos) a qual se movimenta livremente (METSO, 2005). A Figura 2, mostra esquematicamente os componentes de um moinho rotativo.



Fonte: MÁQUINAS FURLAN (1970).

Os corpos moedores são elevados pelo movimento de rotação da carcaça até certa altura de onde caem sobre os outros corpos que estão na parte inferior do cilindro, sobre o minério que ocupa os interstícios das bolas e sobre as placas de revestimentos.

O aumento da velocidade do moinho leva a um momento em que o corpo moedor fica preso à carcaça (pela ação da força centrífuga) durante a volta completa do cilindro. Nessas condições o corpo moedor não realiza qualquer trabalho e não há moagem. A velocidade do moinho em que isto ocorre chama-se velocidade crítica do moinho. A velocidade de operação do moinho é sempre referida à percentagem de sua velocidade crítica (FIGUEIRA; ALMEIDA; LUZ, 2004).

## 2.2. LAVRA E BENEFICIAMENTO DE FELDSPATO

Na região da Paraíba, Rio Grande do Norte, e norte de Minas Gerais localizam-se as principais províncias pegmatíticas do País, e de modo geral, os métodos de exploração e lavra adotados, são empíricos, predatórios, e ausente de orientação técnica da Engenharia de Minas.

Uma grande parte da produção de feldspato no Brasil é realizada em pequenas minas, por garimpeiros, inclusive o pegmatito Alto Serra Branca, situado no município de Pedra Lavrada-PB, que é fornecedora de material para a COOMIPEL. Nesses pegmatitos são usados métodos e equipamentos rudimentares, com pouca mecanização.

Na unidade de beneficiamento da cooperativa COOMIPEL (Cooperativa de Mineradores de Pedra Lavrada-PB), o feldspato albita é beneficiada através das operações de britagem, moagem e classificação, produzindo um feldspato de boa qualidade e de boa aceitação no mercado. Em alguns casos, beneficiam o feldspato com alguma proporção de quartzo, porém com preço inferior, para atender potenciais compradores. O Run of Mine do minério vindo da lavra, é descarregado próximo à unidade de beneficiamento, e às vezes despejado diretamente no alimentador vibratório, do tipo grelha.

As etapas do processo de beneficiamento do feldspato na cooperativa constituem-se de dois percursos distintos no processo de cominuição, a depender do feldspato a ser trabalhado. Na linha de britagem, são fragmentados tanto o feldspato albita como o potássico, apenas na etapa de moagem que seguem caminhos diferentes.

A albita é moída no moinho de bolas de seixos (Figura 3), enquanto o feldspato potássico é moído no moinho de martelos. No caso do feldspato albita, a britagem é realizada com dois (02) britadores de mandíbulas, onde o material é submetido à britagem primária e secundária, sendo reduzido a uma granulometria menor que 50 mm. Após a fragmentação, segue em uma correia transportadora para formar uma pilha. Da pilha, o material é transportado por uma retroescavadeira para o silo, que alimenta o moinho de bolas de seixos, onde a granulometria do feldspato albita será reduzida a < 200 malhas

Figura 3 – Moinho de bolas da COOMIPEL.



## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios deste trabalho foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios da UFCG, Laboratório de Cominuição do Instituto Federal da Paraíba, Campus Campina Grande-PB, e na unidade de beneficiamento da empresa Mineração Florentino em Pedra Lavrada-PB.

As atividades experimentais foram desenvolvidas em duas fases, a primeira etapa a britagem, e na segunda etapa a moagem.

### 3.1. ENSAIOS DE BRITAGEM E MOAGEM

Os ensaios de britagem e moagem foram realizados no laboratório de Tratamento de Minério da UFCG, e no Laboratório de Cominuição do Instituto Federal da Paraíba-IFPB. Para realização dos ensaios foram

usados 15,0 kg de amostras de feldspato albita, um britador de mandíbulas, um moinho de bolas, o agitador de peneiras tipo rotap e um conjunto de peneiras da série Tyler.

Nessa etapa, foi determinado o top size. O material que apresentava tamanho maior que 12,5 cm (5,0 polegadas), foi fragmentado em pedaços menores. A seguir, as amostras com tamanho < 12,5 cm foram submetidas a uma fragmentação primária.

O material com tamanho < 12,5 cm foi britado neste equipamento de corte com intuito de redução da granulometria a < 1,0 polegada. Esse material alimentou o britador de mandíbula, onde foi realizado a britagem secundária.

O ensaio de britagem secundária, realizado em um britador de mandíbulas (Figura 4), com abertura da boca de alimentação de 25 mm, e descarga de 5,0 mm. O britador de mandíbulas foi alimentado com 15 kg de amostra. A granulometria do material foi reduzida a < 5,0 mm.

Figura 4 – Britagem secundária efetuada em britador de mandíbulas.



As amostras de feldspato albita foram preparadas aplicando as técnicas de amostragem, homogeneização e quarteamento, através de cone e pilhas (SAMPAIO; SILVA, 2007).

Após a britagem, a amostra foi homogeneizada (Figura 5) e quarteada, separando-se 15 lotes, cada um de 1,0 kg, totalizando os 15,0 kg da alimentação. Essas amostras foram obtidas de acordo com os procedimentos adequados de amostragem e preparação. Posteriormente, esse material foi armazenado, e guardado para não ocorrer alguma possível contaminação e/ou alteração.

Figura 5 – Homogeneização da amostra.



A etapa seguinte à britagem foi a moagem. Na moagem, a granulometria do produto é reduzida com objetivo de alcançar a malha 200. Dessa forma, é importante o controle do tempo de moagem e outros

parâmetros, bem como o equipamento utilizado, de forma a se obter um produto com a granulometria desejada.

Nesse caso, realizou-se a moagem em um moinho de porcelana com bolas de quartzo e alumina (Figura 6), equipamento de bancada. No ensaio, foi usado um total de 3,0 kg de amostra de albita, e em cada ensaio 500,0 g. O tempo usado para reduzir a granulometria do material foi estabelecido em intervalos de 10 min. Assim, foi empregado no ensaio os seguintes tempos de moagem, de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min. Esses tempos foram baseados nas características do material a ser moído (SAMPAIO; BARBATO, 2007).

Figura 6 – Moinho de bolas e acessórios.



Ao se tratar de uma amostra de feldspato albita, é recomendável a utilização de um moinho de porcelana com bolas de alumina, e assim evitar a possível contaminação das amostras com ferro. Esse cuidado é importante, para preservar as características do mineral, principalmente para fins comerciais.

Para realização dos ensaios de moagem em laboratório foram usados os seguintes equipamentos:

- Um moinho de bolas, com Jarra de porcelana, com dimensões de 120 mm de diâmetro e 185 mm de comprimento (Figura 7);
- 82 Esferas de quartzo, com diâmetros de 15, 18, e 24 mm, e 50 esferas de alumina de 26 mm de diâmetro;
- Um conjunto de peneiras de laboratório da série Tyler e um rotap de bancada
- Um cronômetro para controle do tempo de moagem;
- Recipientes para coleta de amostras.

Figura 7 – Jarra de porcelana com carga de corpos moedores e material a ser moído.



Após a moagem, o material foi retirado e manuseado com muito cuidado para evitar perdas e contaminação, e em seguida foi realizado o peneiramento.

### 3.2. ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Este ensaio foi realizado depois de etapa de britagem, e foram determinadas as porcentagens das partículas em função de sua granulometria. A amostra de feldspato passou por uma série de peneiras colocadas, no sentido de maior diâmetro para o menor diâmetro, sendo esta última peneira a de 200 malhas (0,074 mm). Na realização dos ensaios, teve-se a necessidade de usar apenas 03 peneiras em cada procedimento do peneiramento, devido a capacidade permitida pelo equipamento Rotap. Desta forma, foram feitos 05 ensaios de peneiramento para poder usar todas as peneiras, e determinar a distribuição granulométrica da britagem do material.

#### Amostra

A amostra analisada foi proveniente do material coletado na ocorrência Alto da Serra Branca, após submetido à amostragem e homogeneização.

#### Materiais e Equipamentos

- Série Tyler de peneiras: 4, 6, 8, 10, 14, 20, 28, 35, 48, 65, 100, 150 e 200 malhas.
- Rotap de peneiras.
- Balança *top loader* digital.
- Sacos plásticos

#### Procedimentos

As peneiras selecionadas foram colocadas no rotap. O peneiramento a seco foi realizado da seguinte forma: Pesou-se a amostra, o tempo de peneiramento do rotap foi de 20 min, e o material retido em cada peneira foi pesado, etiquetado o armazenado em sacos plásticos.

## 4. RESULTADOS

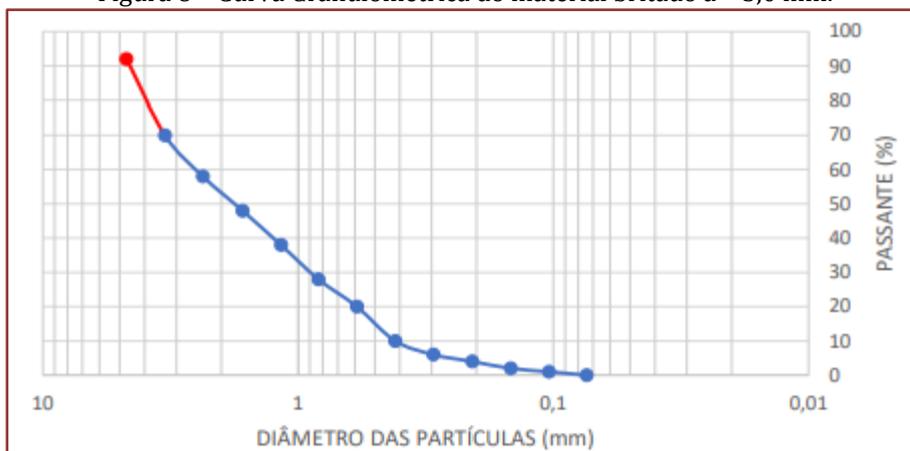
### 4.1 ENSAIOS DE BRITAGEM

O material utilizado nos ensaios foi o feldspato albita, selecionada manualmente. A amostra foi pesada, e em seguida realizada o ensaio de britagem e moagem. Com o material britado a < 5,0 mm foi realizado uma análise granulométrica. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 1 e Figura 8.

Tabela 1 – Distribuição Granulométrica do material britado a – 5,0 mm

Linha	Peneira (mm)	Peso (g)	Retida (%)	Acumulada (%)	Passante (%)
1	4,699	40	8	8	92
2	3,327	110	22	30	70
3	2,362	60	12	42	58
4	1,651	50	10	52	48
5	1,168	50	10	62	38
6	0,833	50	10	72	28
7	0,589	40	8	80	20
8	0,417	50	10	90	10
9	0,295	20	4	94	6
10	0,208	10	2	96	4
11	0,147	10	2	98	2
12	0,104	5	1	99	1
13	0,074	5	1	100	0
	Total	500	100		

Figura 8 – Curva Granulométrica do material britado a – 5,0 mm.



Observa-se na Tabela 1 que dos 100% do material (500,0 g) usado no ensaio, não é identificado perdas, após pesagem do material. Em relação ao diâmetro das partículas, é possível identificar que 90% ( $d_{90}$ ) do material é menor de 4,69 mm, 50% ( $d_{50}$ ) está no tamanho menor que 1,65 mm, e 25% ( $d_{25}$ ) está com granulometria menor que 0,58 mm. Ressalta-se que a fração passante em 0,074 mm (200 malhas) foi de aproximadamente zero.

#### 4.2. ENSAIOS DE MOAGEM

Na realização do ensaio de moagem foi usado um fator de enchimento de carga de 80%, onde 50% é ocupado pelo meio moedor, e 30% ocupado pelo material a ser moído, neste caso o feldspato albita. A composição do meio moedor foi composta por 82 bolas de quartzo, e 44 bolas de alumina, totalizando 126. Em cada ensaio usou-se 500g da amostra de albita. Nessas condições, o material foi colocado na jarra, que tem diâmetro interno de 120 mm, e comprimento de 185 mm.

A velocidade de operação do moinho de bolas medida foi  $V_{op} = 70$  rpm. A velocidade crítica determinada do moinho foi de:

$$n_c = 42,3\sqrt{0,12} = 122,5 \text{ rpm. (1)}$$

A velocidade de operação do moinho de bolas usado para o ensaio está relacionada à velocidade crítica. Assim, tem-se que o moinho possui um  $n_c=122,5$  rpm, e está trabalhando com  $V_{op}=70$  rpm, logo sua velocidade de operação é de 57% da velocidade crítica.

A Tabela 2 mostra a quantidade de bolas empregadas, o diâmetro e volume dos meios moedores, e os tempos de moagem empregados de 10, 20, 30, 40, 50, e 60 minutos.

Tabla 2 – Descrição dos parâmetros empregados nos ensaios de moagem.

Carga de enchimento	Nº de bolas	Diâmetro (mm)	Peso (g)	T (min)					
	44	15	200						
	20	18	140						
80%	18	24	340	10	20	30	40	50	60
	44	26	620						
Total	126		1.300						

Em seguida foi realizado o respectivo peneiramento para cada moagem efetuada. A partir desses peneiramentos foram elaboradas as Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, e 8.

Tabela 3 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 10 min.

<b>Linha</b>	<b>Malha</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
1	100	430	86	86	14
2	150	20	4	90	10
3	200	20	4	94	6
4	-200	30	6	100	-
	Total	500	100		

Tabela 4 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 20 min.

<b>Linha</b>	<b>Malha</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
1	100	390	78	78	22
2	150	30	6	84	16
3	200	30	6	90	10
4	-200	50	10	100	-
	Total	500	100		

Tabela 5 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 30 min

<b>Linha</b>	<b>Malha</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
1	100	380	76	76	24
2	150	30	6	80	18
3	200	20	4	84	14
4	-200	70	14	100	-
	Total	500	100		

Tabela 6 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 40 min.

Linha	Malha	Peso (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	100	360	72	72	28
2	150	20	4	76	24
3	200	30	6	82	18
4	-200	90	18	100	-
	Total	500	100		

Tabela 7 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 50 min.

Linha	Malha	Peso (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	100	320	64	64	34
2	150	40	8	72	28
3	200	20	4	76	24
4	-200	120	24	100	-
	Total	500	100		

Tabela 8 – Distribuição Granulométrica do ensaio de moagem no tempo de 60 min

Linha	Malha	Peso (g)	Retido (%)	Acumulado (%)	Passante (%)
1	100	310	62	62	38
2	150	40	8	70	30
3	200	25	5	75	25
4	-200	125	25	100	-
	Total	500	100		

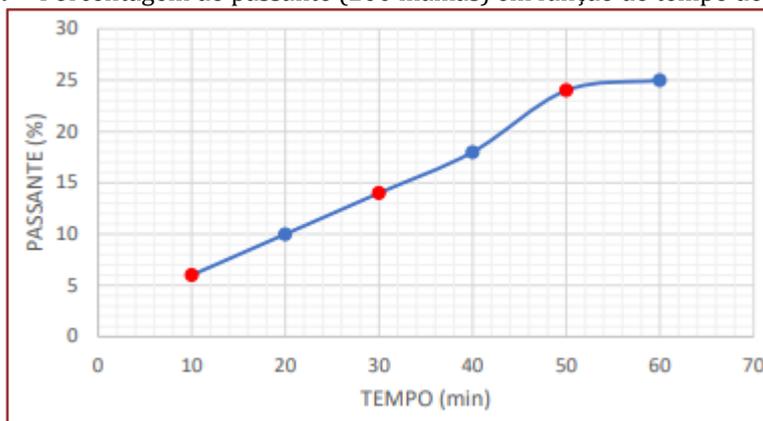
No ensaio de moagem com tempo de 10 min, observa-se que o material passante foi de 6,0 % na malha 200 (Tabela 3). No caso da moagem com tempo de 20 min, tem-se um aumento de 6,0 % para 10,0% na malha 200 (Tabela 4). Já a moagem no tempo de 30 min, apresenta um aumento na malha 200 de 10,0% para 16,0% (Tabela 5).

Com um tempo de moagem de 40 min, em 200 malhas, a percentagem do passante, aumentou para 18,0% (Tabela 6). Com um tempo de 50 min, foi verificado que a percentagem do passante aumentou para 24,0% (Tabela 7), também na malha 200. Finalmente, para a moagem com tempo de 60 min, a percentagem do passante, na malha 200, foi de 25% (Tabela 8).

Observa-se que com o aumento do tempo de moagem, também aumenta a percentagem do passante na malha 200. Assim com 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min as porcentagens do passante foram 6,0; 10,0; 14,0; 18,0;

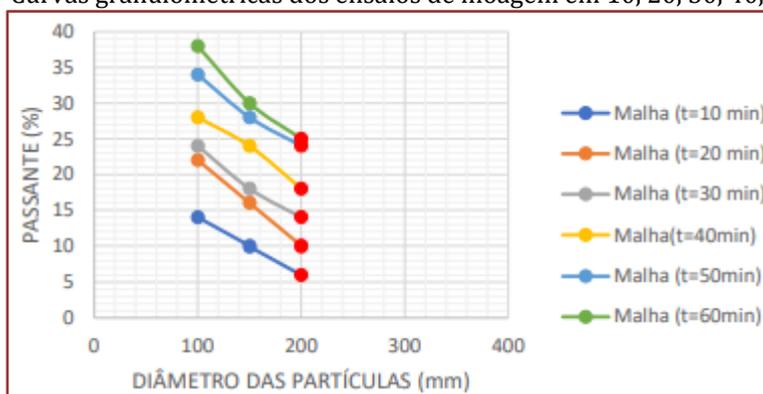
24,0; e 25,0%, respectivamente. Há uma tendência de linearidade dos pontos (tempo vs % passante). No entanto, verifica-se que com o tempo de moagem maior que 50 min, a percentagem do passante atinge valores com pequena variação (Figura 9). Nos ensaios constata-se que a percentagem do passante aumenta de 24,0 para 25,0%. Possivelmente, com tempos maiores de moagem haja pouca variação da percentagem do passante na malha 200.

Figura 9 – Percentagem do passante (200 malhas) em função do tempo de moagem



A Figura 10 representa as distribuições granulométricas obtidas nos ensaios de moagem com tempos de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min., respectivamente. Observa-se que quando a granulometria diminui, também diminui a percentagem do passante em todos os tempos dos ensaios de moagem. Constata-se também, que antes do ensaio de moagem, não existia percentagem de material na malha 200. Por outro lado, com um tempo de 60 min, tem-se 25,0% na malha 200.

Figura 10 – Curvas granulométricas dos ensaios de moagem em 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min.



Na etapa de análise dos equipamentos de britagem e moagem da cooperativa, foram coletadas informações sobre os dados operacionais, como: o tipo de meio moedor, tamanho dos corpos moedores e seu peso (Tabela 9). Nesta mesma fase do levantamento de informações do processo de cominuição, também foram coletados os resultados da moagem em escala industrial no moinho de bolas da COOMIPEL (Tabela 10).

Tabela 9 – Dados operacionais coletados do moinho de bolas da COOMIPEL.

Carga de enchimento	Tipo de meio moedor	Diâmetro (mm/pol)		Peso (kg)
Nd	Calcedônia	127	5	300
		203	8	100
		19	3/4	100
Total	-	-		500

Nd – não determinado

Tabela 10 – Dados coletados referentes à moagem na COOMIPEL

Carga de enchimento	Alimentação no silo do moinho (kg)	Realização da moagem			Realização da moagem		
		T (h)	P (kg)	% (200 #)	T (h)	P (kg)	% (200 #)
Nd	5.000	1	125	2,5	8	1000	20

Nd – não determinado.

Ao observar os dados apresentados na Tabela 10, verifica-se que para uma alimentação no moinho de bolas de 5.000 kg de feldspato albita, e utilizando os elementos operacionais descritos na Tabela 9 na realização da moagem, tem-se em um dia trabalhado (8hs) uma produção de material na granulometria de 200 malhas de 1.000 kg, que representa cerca de 20% da alimentação. Isso significa que para essa mesma quantidade de material alimentado no moinho, temos em 1 hora trabalhada em torno de 125kg de feldspato, que corresponde a 2,5% dos 5.000kg.

## 5. CONCLUSÕES

Os ensaios de cominuição em escala laboratorial desenvolvido nesta pesquisa, apresentaram resultados importantes, visando melhorar a eficiência da moagem do feldspato albita na unidade de beneficiamento da COOMIPEL-PB. O processo de britagem para alimentar o moinho de bolas, confirmou a granulometria do material de até 5,0 mm. Em relação ao diâmetro das partículas, os resultados mostraram que 90% ( $d_{90}$ ) do material é < 4,69 mm, e que 50% ( $d_{50}$ ) está no tamanho menor que 1,65 mm. Ressalta-se que a fração passante em 0,074 mm (200 malhas) foi de aproximadamente zero.

A etapa de moagem demonstra que aumentando o tempo de moagem, eleva-se também a percentagem do passante na malha 200 (0,074 mm). Assim com 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min as porcentagens do passante foram 6,0; 10,0; 14,0; 18,0; 24,0; e 25,0%, respectivamente. Há uma tendência de linearidade dos pontos (tempo vs % passante). No entanto, verificou-se que com o tempo de moagem maior que 50 min, a percentagem do passante atinge valores com pequena variação. Nos ensaios constatou-se que a percentagem do passante aumentou de 24,0 para 25,0% (50 e 60 min). Provavelmente, com tempos maiores de moagem haja pouca variação da percentagem do passante na malha 200.

No caso da moagem da albita em escala de laboratório, das 500,0 g usadas na alimentação, obteve-se 125,0 g no tempo de moagem de 1 h, que corresponde a 25 % da alimentação. Em termos experimentais, esse valor (25%) está acima dos resultados alcançados no processo na unidade de beneficiamento da cooperativa, que atinge apenas 2,5% da alimentação.

Desta forma, os resultados preliminares dos ensaios de cominuição em laboratório quando comparados ao processo industrial da COOMIPEL-PB, apresentam fortes indícios da possibilidade de melhoria no processo de moagem.

## REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, B. M. S. Caracterização Tecnológica dos Concentrados Metálicos de Rochas Pegmatíticas e sua Extração no Semiárido Nordeste. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2016. 21 p
- [2] COELHO, J.M. Perfil do Feldspato - Ministério de Minas e Energia – Recife, PE. 2009.
- [3] DA SILVA, M.R.R. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. Journal of South American Earth Sciences, 1995. p 355-364
- [4] DEER, W. A.; HOWIER R. A.; ZUSSMAN J. Minerais Constituintes das Rochas: Uma Introdução. Tradução. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1996. 547 p.
- [5] FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA S. L. M.; LUZ, A. B. Cominuição; In: Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral, capítulo 4. 2004.

- [6] JOHNSTON Jr., W. D. Pegmatitos ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM/ Divisão de Fomento da Produção Mineral, (Avulso, 66). 1945.
- [7] LIMA, M.P. Aspecto da Lavra de Feldspato em Pegmatitos da Província da Borborema. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas – Universidade Federal de Campina Grande – CCT, Campina Grande, PB. 2002.
- [8] LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. Pegmatitos do Nordeste: Diagnósticos sobre o Aproveitamento Racional e Integrado. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ. 2003.
- [9] LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. Tratamento de Minérios (5ª edição), 960 p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ. 2010.
- [10] METSO. Manual de Britagem. 6ª Edição. 2005.
- [11] ROLFF, P. A. M. A. Minerais de Pegmatitos da Borborema. Rio de Janeiro: DNPM. 1946
- [12] SAMPAIO, J. A.; BARBATO, C. N. Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM, Capítulo 9, 2007. p 169-176.
- [13] SCORZA, E.P. Província Pegmatítica da Borborema. DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 1944. 55 p.
- [14] SILVA, S. M. P.; CRÓSTA, A. P. 2011. Mapeamento de pegmatitos da Faixa Seridó (FSe) com base na análise por componentes principais de imagens TM/Landsat-5 e Terra/ASTER. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011. 3597 p.
- [15] WAN, K. W. Feldspar's fallow future. Industrial Minerals, London, p. 52-59, Dec. 2008.
- [16] WILLS, B. A.; NAPPIER MUNN, T. J. 2006. Mineral Processing Technology.

# Capítulo 12

## *Estudo do efeito inibidor das cinzas de carvão mineral na corrosão do aço embutido em argamassa em meio a íons sulfato*

*Daniele Ferreira Lopes  
Sabrina Neves da Silva*

**Resumo:** A corrosão das armaduras é a principal causa de degradação das estruturas de concreto armado devido à penetração de íons agressivos tais como cloretos e sulfatos. O uso de aditivos inibidores de corrosão minimiza esse efeito. Neste trabalho, utilizou-se a cinza volante, resíduo gerado na queima de carvão mineral, com aditivo em substituição parcial ao cimento Portland. Foram analisadas amostras contendo diferentes teores de cinzas e uma mistura de referência contendo 100% de cimento Portland (CP IV-32 RS) ao qual se comparam os resultados. Os corpos de prova foram preparados conforme a NBR 7215:2019. A cinza volante foi caracterizada por análises químicas e também análise granulométrica e microscópica. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial após 7, 14 e 28 dias de cura, de absorção de água por capilaridade e imersão segundo prescrições da ABNT. Adicionalmente, por medidas eletroquímicas, avaliou-se a eficiência de inibição das reações de corrosão em meio contendo íons sulfato. Mineralogicamente, as cinzas são constituídas por quartzo (principalmente), mulita, e hematita e caracteriza-se como um material amorfo com diâmetro médio de 42,19  $\mu\text{m}$ . Os resultados indicaram que a adição de 6% de cinza melhora as características físicas do material bem como melhora a resistência à corrosão, conferindo uma eficiência de inibição de 45% após 30 dias de imersão em solução contendo íons sulfato.

**Palavras-chave:** Corrosão. Cinza Volante. Combustão. Reaproveitamento de resíduos.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é o material de construção mais utilizado no mundo pela sua versatilidade e facilidade de manuseio podendo ser aplicado em muitos segmentos da construção civil. Este material, pode ser encontrado nos mais diversos ambientes e está frequentemente sujeito a agentes agressivos que comprometem diretamente a durabilidade da estrutura [1].

No Brasil, a queima de carvão mineral para a geração de energia elétrica em Usinas Termelétricas (UTE's), resulta em um montante na ordem de 3,24 milhões de toneladas/ano de resíduos sólidos tais como escórias, cinzas de carvão mineral (leve e pesada) e o subproduto da dessulfurização dos gases da combustão, processo conhecido como Flue Gas Desulfurization (FGD). Somente uma pequena fração dos subprodutos gerados em UTE's, cerca de 30%, é reaproveitada, o restante é disposto de maneira inadequada, acarretando danos à saúde humana e ao meio ambiente. Pensar em maneiras eficientes de reaproveitamento de resíduos sólidos vai ao encontro da conservação dos recursos naturais e da preocupação com o meio ambiente, se tornando uma necessidade para o bem comum tanto da sociedade quanto das empresas geradoras [2].

Aliado a esta situação, estudar soluções que prolonguem a vida útil das estruturas de concreto e minimizem o impacto ambiental gerado por sua cadeia produtiva, é dos grandes desafios para os pesquisadores e alvo de inúmeras pesquisas dentro do setor da construção civil [3].

Pesquisas sobre os efeitos de aditivos adicionados ao concreto e argamassas, em geral, demonstram melhorias significativas quanto à durabilidade, resistência à corrosão e a resistência mecânica do que os concretos (argamassas) de referência, estes sem aditivos [4,5].

Devido ao elevado teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e aluminosilicatos presente nas cinzas, este resíduo pode ser considerado como material pozzolânico. A utilização de pozolanas atribuem aos materiais cimentícios aumento da durabilidade em ambientes úmidos e subterrâneos, confere maior resistência à compressão, e aumento da impermeabilidade, além de vantagens ambientais e econômicas [4-6].

Baseado nos aspectos aqui apresentados, este trabalho tem como objetivos avaliar a integridade estrutural do concreto contendo como aditivo a cinza volante (CV) substituição parcial ao Cimento Portland (CP). O material foi caracterizado por análises químicas e também análise granulométrica e microscópica. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial após 7, 14 e 28 dias de cura, de absorção de água por capilaridade e imersão segundo prescrições da ABNT. Adicionalmente, por medidas eletroquímicas, avaliou-se a eficiência de inibição das reações de corrosão em meio contendo íons sulfato.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. AGLOMERANTE

Neste estudo foi utilizado o cimento CP IV 32-RS, produzido pela empresa Cimentos Liz. Conforme informado pelo fabricante, este material é do tipo pozzolânico adequado para utilização em ambientes contendo íons sulfatos tais como rios, esgoto, atmosferas ácidas e etc.

### 2.2. AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural quartzosa.

### 2.3. COLETA DOS RESÍDUOS

A CV utilizada neste estudo foi gentilmente cedida pela Usina Termelétrica Presidente Médici localizada no município de Candiota - RS. Sendo coletados úmidos do local de carregamento de caminhões que as levam para cava da mina. As amostras foram disponibilizadas em sacos de 5 kg. Não foi necessário nenhum procedimento prévio antes da utilização dos aditivos nas argamassas.

### 2.4. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUÍMICA DAS CINZAS

Foram realizadas análises de Difração de raios-X (DRX) em um Difratorímetro Rigaku com radiação cobre  $\text{K}\alpha$ , na voltagem de 40 kV e corrente de 20 mA. As imagens de Microscopia Eletrônica da Varredura (MEV) foram adquiridas em um microscópio da marca Jeol, JSM - 6610LV. A dispersão de tamanhos das partículas de CV foi realizada em granulômetro a laser em um equipamento 1190 LD, da marca CILAS,

medido em solução líquida.

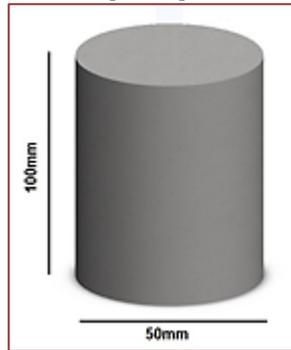
## 2.5. ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos realizados foram: Compressão axial em diferentes tempos de cura (7, 14 e 28 dias). O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica da marca EMIC DL 10000. As amostras foram comprimidas até a ruptura com taxa de carregamento de  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s [7]. Absorção de água por capilaridade [8] e absorção de água por imersão [9]. A absorção de água por capilaridade tem por objetivo monitorar o aumento da massa das amostras devido à absorção de água por capilaridade enquanto a taxa de absorção de água por imersão, em porcentagem, representa a diferença entre a massa da amostra após a imersão (72 horas) e sua massa seca em estufa.

## 2.6. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados em laboratório utilizando-se o traço convencional de 1:3:0,48 (cimento: areia: água/cimento) [7]. Foram utilizados moldes cilíndricos com diâmetro de 50 mm e 100 mm de altura. Preparou-se corpos de prova contendo CV nas proporções de 6%, 16% e 26% (m/m) e uma amostra de referência (sem aditivo) [10]. Um desenho esquemático do corpo de prova é mostrado na Figura 1.

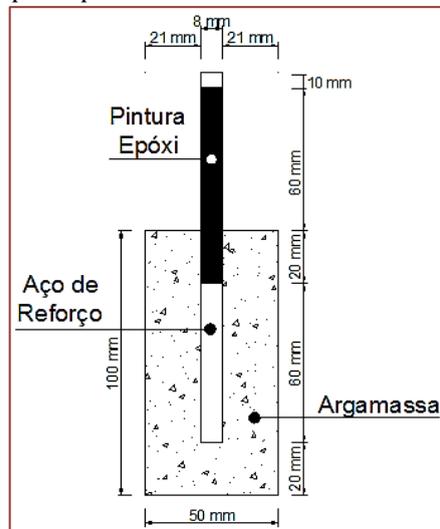
Figura 1: Desenho esquemático do corpo de prova utilizado nos ensaios mecânicos.



Fonte: Autoras (2019).

Para os ensaios eletroquímicos, as amostras foram preparadas segundo [1], cujo esquema é mostrado na Figura 2.

Figura 2: Corpo de prova utilizado nos ensaios eletroquímicos.



Fonte: Trevisol (2017), adaptado.

## 2.7. ENSAIOS ELETROQUÍMICOS

Os ensaios foram realizados em amostras contendo 6% em massa de CV e os resultados comparados com uma amostra de referência. Utilizou-se uma barra de aço CA 50 embutido nas amostras. As medidas foram realizadas em solução 5% em massa de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), meio típico de regiões carboníferas. Os experimentos foram realizados em célula de três eletrodos, tendo como eletrodo de trabalho o aço embutido no concreto e como contra-eletrodo e eletrodo de referência utilizou-se aço inox 304 em forma de tela.

O equipamento utilizado para os ensaios foi o Potenciostato/Galvanostato da marca Gamry Reference 3000. Para as curvas de polarização utilizou-se o intervalo de potencial de 1000 mV nos sentidos anódicos e catódicos em relação ao  $E_{\text{corr}}$  na velocidade de varredura de 10 mV/s. A célula eletroquímica conectada ao potenciostato é mostrada na Figura 3.

Figura 3: Arranjo experimental dos ensaios eletroquímicos.

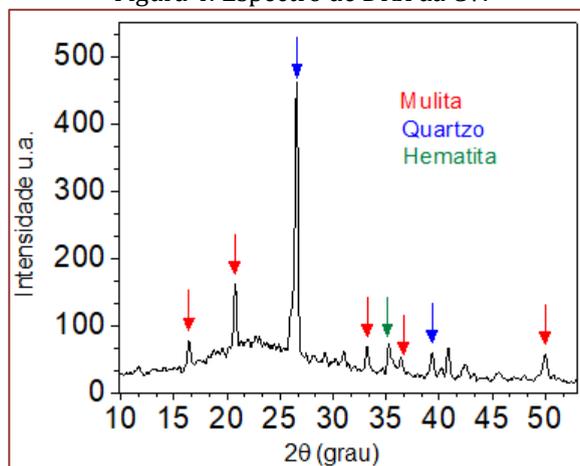


Fonte: Autoras (2019).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta o difratograma da cinza volante utilizada neste trabalho. Os resultados foram comparados com padrões da literatura [11]. O material se caracteriza como amorfo. Composto por quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) em  $2\theta = 26^\circ$  e  $38^\circ$ ; mulita ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ) em  $2\theta = 16^\circ, 22^\circ, 33^\circ, 36^\circ$  e  $50^\circ$  e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), em  $2\theta = 36^\circ$ .

Figura 4: Espectro de DRX da CV.



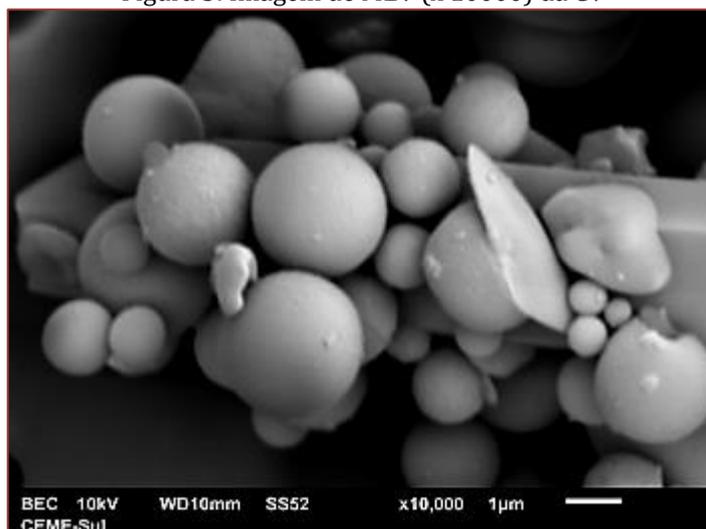
Fonte: Autoras (2019).

A presença de óxidos de silício, ferro e alumínio, já era esperada, pois as cinzas de carvão compõem-se basicamente por compostos de silício e alumínio, baixos teores de ferro e menores

quantidades de minerais a base de magnésio, cálcio, fósforo, enxofre, sódio e potássio. O silício e o Alumínio são oriundos dos argilominerais caulinita, montmorilonita e illita [12].

A Figura 5 mostra uma micrografia obtidas por MEV da CV.

Figura 5: Imagem de MEV (x 10000) da CV



Fonte: Autoras (2020).

Conforme mostrado na micrografia, as partículas de CV têm aspecto tipicamente esférico de diferentes diâmetros e partículas irregulares de tamanho variados. A forma esférica apresentada por esses materiais é o resultado da força de tensão superficial que atuam durante a combustão do carvão em elevadas temperaturas nas UTE para minimizar a energia livre superficial [13].

O resultado do ensaio da análise granulométrica apresentou os diâmetros D10, D50 e D90, representando que, respectivamente, 10%, 50% e 90% do total da massa dos materiais analisados possuem partículas com diâmetros abaixo dos valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos materiais ensaiados.

D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>	D <sub>médio</sub>
99,33 µm	30,67 µm	2,44 µm	42,19 µm

Fonte: Autoras (2020).

Para o desenvolvimento de atividade pozolânica mínima, 80% das partículas de CV devem possuir tamanho inferior a 45µm [14]. Dessa forma, a amostra utilizada é formada por material particulado adequado para uso como material pozolânico.

O ensaio mecânico de compressão axial foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura respectivamente. A Tabela 2 apresenta as resistências médias à compressão.

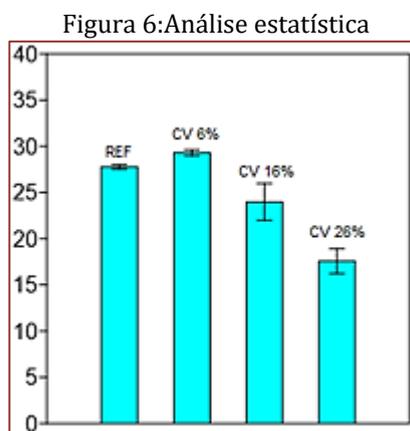
Tabela 2: Resultados dos materiais ensaiados

Amostra	Resistência à compressão axial (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
Referência	17,37	19,81	27,76
6% (m/m)	18,98	24,36	29,29
16% (m/m)	15,27	18,99	23,97
26% (m/m)	12,98	14,11	17,58

Fonte: Autoras (2020).

Pelos resultados obtidos, pode-se observar que a resistência aumentou com a adição de 6% de CV. O maior tempo de cura contribuiu para o aumento da resistência, evidenciando a natureza pozolânica do

material testado aos 28 dias de cura na concentração de 6%. Uma análise estatística (ANOVA, com confiabilidade de 95%) do resultado é mostrada na Figura 6.



Fonte: Autoras (2020).

A probabilidade de significância (valor p) encontrada foi de 0,001067 aos 28 dias de cura evidenciando que o tipo de aditivo utilizado influenciou na resistência à compressão. A absorção de água por capilaridade também mostrou resultados melhores para as amostras contendo 6% (m/m) de CV. Observou-se que os teores mais altos, mostraram pouca redução em comparação com a de referência. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Absorção de água por capilaridade.

Tempo (horas)	Referência	6% (m/m)	16% (m/m)	26% (m/m)
0	0	0	0	0
6	0,38	0,32	0,50	0,41
24	0,52	0,43	0,70	0,62
48	0,62	0,51	0,84	0,72
72	0,63	0,53	0,91	0,76

Fonte: Autoras (2020).

A Tabela 3 deixou claro que a amostra contendo 6% (m/m) de CV obteve melhor desempenho em relação ao corpo de referência já que no final de 72 horas, absorveu cerca de 16% a menos que a argamassa de referência.

A seguir, na Tabela 4 são mostrados os resultados das alturas médias de ascensão capilar encontradas amostras após rompimento diametral do corpo de prova cilíndrico.

Tabela 4: Ascensão capilar.

Argamassa	Altura média atingida pela água (cm)
Referência	3,51
6% (m/m)	3,00
16% (m/m)	4,30
26% (m/m)	3,60

Fonte: Autoras (2020).

A Figura 7 mostra a ascensão de água na amostra de referência e contendo 6% (m/m) de CV.

Figura 7: Ascensão capilar nas amostras (a) referência (b) 6% (m/m) de CV



Fonte: Autoras (2020).

Para o ensaio de absorção de água por imersão, optou-se pela escolha dos corpos de prova de referência e contendo 6% (m/m) de CV. A escolha foi baseada no resultado da resistência à compressão axial. Inicialmente os corpos de prova foram submetidos a secagem em estufa por 72 horas a uma temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  e logo após, retirados e pesados.

Os dados obtidos foram utilizados no cálculo da absorção de água por imersão a partir da equação (1).

$$I = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1)$$

Onde  $I$  é absorção de água por imersão em porcentagem;  $m_{\text{sat}}$  é a massa do corpo de prova saturado e  $m_s$  é a massa do corpo de prova seco em estufa.

Tabela 4: Absorção capilar de água.

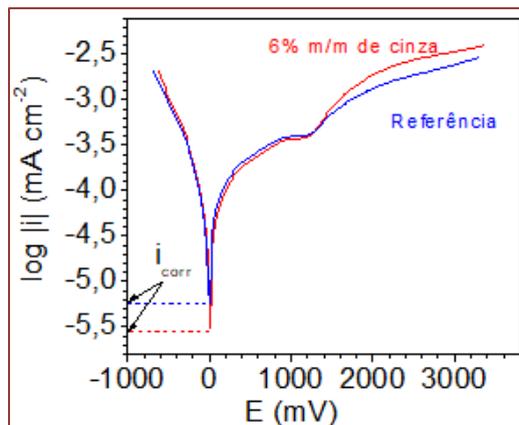
Argamassa	$m_s$ (g)	$m_{\text{sat}}$ (g)	$I$ (%)
Referência	347,14	363,56	4,73
6% (m/m)	349,87	368,99	5,46

Fonte: Autoras (2020).

As amostras contendo CV absorveram mais água do que a argamassa de referência, isto aconteceu, possivelmente, pela maior porosidade conferida ao material contendo aditivos [15].

As curvas de polarização medidas após 30 dias de imersão em solução contendo 5% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , para as amostras com e sem cinza são mostradas a seguir, na Figura 8.

Figura 8: Curvas de polarização após 30 dias de imersão em  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5%



Fonte: Autoras (2020).

Considerando as condições de ensaio aqui apresentadas e os resultados mostrados na Figura 8, pode-se constatar que as cinzas minimizam as reações de corrosão devido à redução dos valores da  $i_{corr}$ .

Os valores das  $i_{corr}$ , em miliAperes por centímetros quadrados ( $\text{mAcm}^{-2}$ ) e das Eficiências de Inibição (EI), calculados pela Equação 2, medidos em 0, 10 e 30 dias são mostrados na Tabela 5.

$$EI = \left(1 - \frac{i}{i_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Onde:  $i$  = densidade de corrente de corrosão com adição de cinza,  $i_0$  = densidade decorrente de corrosão sem adição de cinza.

Tabela 5: Densidades de correntes de corrosão ( $i_{corr}$ ) e eficiência de inibição

Tempo (dias)	$i_{corr}$ ( $\text{mA cm}^{-2}$ )		EI
	Referência ( $i_0$ )	6% m/m de cinza ( $i$ )	
0	$3,68 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-5}$	94,56%
10	$4,12 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-4}$	59,2%
30	$2,94 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$	45,22%

Fonte: Autoras (2020).

Pelos dados apresentados, pode-se observar que a EI decai ao longo do tempo, mas mesmo assim a cinza continua minimizando as reações de corrosão.

#### 4. CONCLUSÕES

Quanto aos objetivos propostos, pôde-se concluir que a cinza utilizada neste estudo é composta majoritariamente por aluminosilicatos que conferem propriedades pozolânicas ao material. A adição de 6% em massa de cinza, em substituição ao cimento Portland diminuiu a taxa de absorção da água e aumentou a resistência à compressão axial após 28 dias de cura úmida. Além disso, a cinza volante é eficiente para inibir a corrosão do aço embutido no concreto em meio contendo íons sulfato. Diante destas constatações, a adição de cinza ao concreto é viável para assim assegurar maior vida útil das estruturas, que são cada vez mais arrojadas no projeto e, frequentemente, construídas em ambientes agressivos e cada vez mais exigidas quanto ao seu desempenho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] TREVISOL, C. A. Avaliação de inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado. Revista Matéria ISSN 1517-7076 artigo e-11904. 2017.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Relatório ANEEL 2013. Agência Nacional de Energia Elétrica. - Brasília: ANEEL, 2013.
- [3] MELO, T. K. Patologias em estruturas de concreto. Revistacientífica Semana Acadêmica, 2018.
- [4] DOURADO, K. C. A; Mota, J. M. F. et al. Influência da adição de pozolana em concretos moldados na região de Caruaru – 9º Simpósio Internacional de estruturas, geotecnia y materiales de construcción. Pernambuco, 2018.
- [5] GONÇALVES, C. S. Estudo de cinzas volantes de alta temperatura e de leito fluidizado visando a produção de materiais sustentáveis a base de cimento. Escola Politécnica – UFRJ-RJ. 2018.
- [6] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M.. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-7215:Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019. 8 p.
- [8] (ABNT). NBR-9779:Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 2 p.

- [9] (ABNT). NBR-9778:Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.
- [10] (ABNT). NBR-5752: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.
- [11] Lacerda, L. V. Síntese e caracterização de zeólita tipo sodalita obtida a partir de cinzas volantes de carvão mineral utilizado na usina termoelétrica de Candiota-RS. 2015. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- [12] Silva, N. I. W. Caracterização de cinzas volantes para reaproveitamento cerâmico. Revista Cerâmica. Vol. 45 n. 256 São Paulo, 2009.
- [13] CEZAR, Daiana de Souza. Características de Durabilidade de Concretos com Cinzas Volante e Cinza de Casca de Arroz com e sem Beneficiamento. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Centro de Tecnologia. Santa Maria. 2011.
- [14] Ferreira, K. C. Estudo do efeito pozolânico da cinza volante na produção de argamassas mistas: Cal hidratada, rejeito de construção civil. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis – SC.
- [15] BAUER, E., Pozzan, E. Avaliação da corrosão das armaduras por efeito de cloretos em materiais de reparo/reforço à base de sílica ativa. 2º Congresso Internacional sobre o comportamento de Estruturas Danificadas. 2005.

# Capítulo 13

## *Avaliação de riscos ambientais: O caso das erosões nas margens da Rodovia BR – 010, trecho localizado no Município de Ipixuna do Pará*

*Mozart Antonio Ribeiro*

*Paulo Danilo Albuquerque de Oliveira*

*Madson Alan Rocha de Sousa*

**Resumo:** A análise de risco ambiental tem o papel de identificar, analisar e avaliar os riscos existentes dentro de um contexto. O objetivo desse trabalho foi analisar os riscos ambientais nas margens da rodovia BR – 010, no município de Ipixuna do Pará. Para a identificação dos riscos foi utilizado a ferramenta de checklist e diagrama de causa e efeito com o intuito de categorizar e agrupar os riscos em cada esfera de causas e conseqüentemente o seu efeito. Na análise de risco foi elaborado o modelo digital de elevação com o uso de ferramentas de geoprocessamento QGIS, para isolar e mensurar os pontos que apresentam maiores variações topográficas característicos de erosões. Na avaliação de risco, a partir dos dados obtidos na identificação, foi elaborada a matriz de risco, que organiza todos os riscos encontrados na área de acordo com a probabilidade e o grau de impacto e a proposição de medidas a serem tomadas. Na identificação de risco foi possível identificar que há risco de rompimento na rodovia, bem como a falta de proteção nas margens, o que pode acarretar em acidentes no local. Na etapa de análise de risco, foi constatado que a topografia do local e o escoamento superficial apresentam papéis importantes na intensificação dos processos erosivos existentes. Através da avaliação de risco, foi possível classificar os riscos que necessitam de níveis de tratamento, o desmoroamento da rodovia necessita de ação imediata e por sua vez, o assoreamento do corpo hídrico e os acidentes no tráfego de veículos necessitam de monitoramento e gestão. Foram também propostas medidas mitigatórias para os riscos encontrados na área de estudo, dentre essas propostas estão o uso de paliçada de bambu que são barreiras utilizadas para retardar os processos erosivos. Outro método sugerido é o reaproveitamento de pneus para o preenchimento da voçoroca. Também foram propostas algumas medidas especificamente para o trecho rodoviário como o uso de “guard-rails” nas margens da rodovia no sentido de evitar colisões laterais. Placas sinalizadoras para redução de velocidade e placas que possam alertar os condutores que a área apresenta riscos mediante a proximidade da voçoroca no eixo rodoviário. A área de estudo mostra um quadro que se repete em várias localidades pelo Brasil, presença de processos erosivos em suas margens, nesse sentido é necessário que as medidas propostas sejam implementadas e assim pode-se evitar que o município tenha transtornos futuros.

**Palavra-Chave:** Análise de Risco Ambiental, Voçoroca, Rodovia.

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado do Pará possui uma larga extensão territorial permeada de vegetação nativa. A abertura da rodovia federal Belém-Brasília na década de 1950 foi um dos catalizadores do novo povoamento no estado, pois ela influenciou a criação de novos municípios como Paragominas, Bom Jesus do Tocantins, Dom Eliseu, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, entre outros.

Para Carvalho (2008) as erosões podem ser classificadas quanto à forma de como originaram-se, de modo que podem se dividir em dois grupos: a erosão antrópica ou acelerada que está ligada a ação humana e a erosão natural ou geológica, que está relacionada a fatores naturais. O autor ainda cita que de acordo com seu estágio de evolução, essas erosões são classificadas em três tipos principais: erosão superficial, erosão interna e erosão linear (sulco, ravina e voçoroca).

Dentre os impactos ocasionados pela implantação das rodovias destacam-se as voçorocas que são formas de erosão dotadas de grande poder destrutivo de difícil controle, responsáveis por comprometer a estrutura do entorno de rodovias e pela descaracterização das paisagens naturais em áreas rurais e urbanas (BERTONI; NETO, 2008).

A avaliação de risco tem por finalidade comparar o nível de risco encontrado no processo de análise e auxiliar nas tomadas de decisões sobre quais riscos apresentam necessidades de tratamento. Em algumas situações, a avaliação pode levar a decisão de se proceder a uma análise mais aprofundada (NBR ISO 31000:2009).

As metodologias para avaliação de risco variam conforme alguns fatores tais como: empreendimento, agente contaminante e tipo de impacto ambiental. Um dos objetivos da análise de risco é a identificação dos perigos existentes dentro de uma área, projeto ou mesmo atividade, posteriormente seguido da estimativa dos riscos que possam surgir para o meio ambiente, homem ou mesmo o próprio patrimônio. Para tanto, a análise de risco não apenas identifica os perigos, mas possui mecanismos próprios de gerenciamento de risco no intuito de buscar medidas emergenciais, na tentativa de diminuir o agravante ambiental (VIANA, 2010).

Para Viana (2010) a Análise de Riscos consiste em um estudo que visa identificar os perigos de uma atividade, área ou projeto, por conseguinte estimar os riscos presentes para possíveis receptores, sejam bens, pessoas ou ambiente. Além do mais, a análise deve propor medidas de gerenciamento, tanto preventivas quanto ações emergenciais que visem diminuir o risco de um acidente e minimizar questões adversas.

Para Catai (2012) não existe um método específico para a identificação de riscos, uma alternativa válida é a combinação de métodos, visto que a prioridade é reunir a maior quantidade de informação a respeito de riscos e perigos. Assim, são aplicadas listas de verificações “Cheklists” de modo que uma série de perguntas são formuladas e respondidas da seguinte forma: sim ou não, atende ou não atende e com um campo livre para anotar as observações.

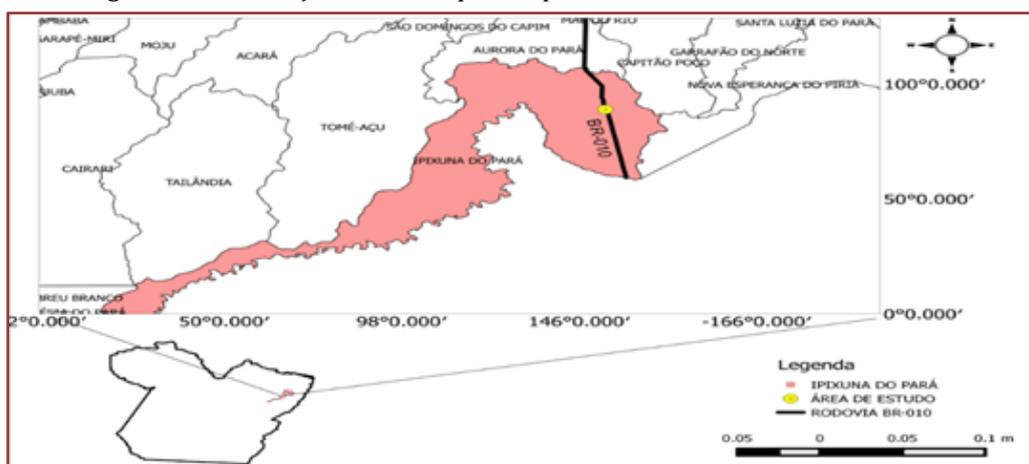
Para elaboração da Avaliação de Risco Ambiental é de suma importância ter uma noção do espaço que compõe a área de estudo, desde o local em que será realizada a pesquisa e seu entorno, no intuito de analisar todos os elementos que estão sujeitos à alteração em função dos riscos ambientais que as rodovias apresentam, seja nos meios aquáticos, na vegetação, solo e a população que utiliza a rodovia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado no trecho da BR – 010 no município de Ipixuna do Pará, Estado do Pará, a cerca de 250 km da capital Belém. O município possui uma área de 5.215,555 km<sup>2</sup>, e conta com uma população estimada em 55.558 habitantes e com 12.227 pessoas residentes na zona urbana (IBGE, 2010). O trecho analisado localiza-se aproximadamente a 1 km ao norte da sede do município, com as seguintes coordenadas geográficas -02º 32' 45.312" S e -47º 29' 51.288" W, como pode ser visto na figura 1.

Figura 1 – Localização do município de Ipixuna do Pará e da rodovia BR – 010.



Fonte: Os autores (2016).

Na região do município de Ipixuna do Pará existe forte predomínio de Latossolo Amarelo de textura argilosa e muito argilosa, que favorecem o escoamento superficial. A presença de Formação Ipixuna, constituída basicamente de arenitos e argilitos caulinitizados, relacionados a um conjunto de relevos colinosos ou tubulares, estão posicionados abaixo dos platôs residuais mantidos pela cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica (KOTSCHOUBEY et al. 2005).

Nessa região, a cobertura de floresta ombrófila foi convertida a mosaicos de solos expostos a partir do ano de 1970, que contém fragmentos de agroecossistemas (pastos, cultivos e etc.). Isto se dá por meio de ciclos de intervenção antrópica, seja por degradação/recomposição da vegetação secundária para a formação de pastos e, a expansão do agronegócio de soja, milho e do arroz e a própria questão do reflorestamento (BARBOSA, 2014). A região apresenta clima tropical quente e úmido com totais pluviométricos anuais superiores a 2.000 mm, com regime de chuvas que se concentram nos meses de dezembro a maio (INPE, 2015).

A voçoroca da área de estudo é caracterizada do tipo dendrítica pois apresenta formação de ramais (sulcos) no seu interior, está em estágio evolutivo maduro uma vez que a erosão se estende pelas laterais, fato este que ocasiona a aproximação da voçoroca com o eixo rodoviário a cada período, outra característica é o formato da voçoroca com feição em forma de "U". A rede de drenagem da voçoroca encontra-se também desconectada (CHEROBIN, 2012).

## 2.2. COLETA DE DADOS

A Análise de Risco Ambiental em áreas com ocorrência de voçorocas no município de Ipixuna do Pará foi realizada em acordo com a NBR ISO 31000:2009. As etapas do estudo consistiram na Identificação de risco, Análise de risco e Avaliação de risco. Para coleta e análise dos dados foram realizados cinco visitas *in loco* durante os meses de fevereiro, março, abril e julho de 2016.

### a) Identificação de Risco

A identificação de risco consistiu em localizar e registrar as características dos principais riscos com ocorrências no território em análise. Para a listagem dos riscos foi utilizada a ferramenta "Checklist" adaptada para riscos ambientais com dados referentes à cobertura vegetal, solo, cursos d'água, riscos existentes e etc. Associado ao registro das informações do Checklist foi construído um banco de imagens com a utilização de câmera fotográfica modelo Sony Cyber – Shot W690 com resolução de 16 megapixel.

Para o levantamento dos fatores de riscos, foi empregada a ferramenta "Diagrama de Causa e Efeito – DCE" no intuito de identificar de forma objetiva os fatores de risco que contribuem para a concretização do impacto ambiental.

### b) Análise de Risco

Para uma ampla visualização das características topográficas do terreno e análise dos riscos, foi desenvolvido um Modelo Digital de Elevação Topodata (MDE) com resolução espacial de 30 m com o uso

da ferramenta de geoprocessamento QGIS versão 2.8.3, no qual a variável morfométrica de declividade foi enfatizada para a elaboração do mapa.

### c) Avaliação de Risco

Esta etapa teve por finalidade auxiliar na tomada de decisões com base nos resultados obtidos na análise de risco e indicar sobre quais riscos necessitam de tratamento e prioridade para implantar sua mitigação. Foi utilizada a ferramenta “Matriz de Riscos” com o objetivo de visualizar e implementar uma forma de tratamento para cada impacto juntamente com a proposição de medidas mitigadoras destinadas para cada risco ou vulnerabilidades encontradas na área de estudo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. IDENTIFICAÇÃO DE RISCO

As informações dos riscos ambientais existentes, diagnosticados a partir da aplicação do Checklist, são apresentados no quadro 1. Foram observados todos os componentes previamente indicados para averiguação (vegetação, solo, cursos d’água, etc.).

Quadro 1 – Checklist com as características pertinentes da área de estudo.

CHECKLIST			
ITENS	SIM	NÃO	OBSERVAÇÕES
Há presença de vegetação?	X		
Risco de desmoronamento da rodovia?	X		
Há proteção na margem da rodovia?		X	
Existe corpo hídrico próximo a área?	X		
Ocorre o carreamento de sólidos em cursos d’água?	X		
Há frequência de visitantes no local?	X		
Houve acidentes no local?	X		

Fonte: Os autores (2016).

Verificou-se a ocorrência de poucas espécies vegetais na área de estudo, com predominância de vegetação herbácea rasteira e poucos indivíduos lenhosos esparsamente distribuídos, como pode ser observado na figura 2A. A vegetação pode ser classificada por capoeiras sem predominância de palmeira, caracterizada como Floresta Secundária Latifoliadas por Cintra (2007). Observou-se também frequência regular de áreas atingidas por queimadas, fenômeno que é comum ocorrer nos meses mais secos da região no intervalo de março a novembro.

Há risco de desmoronamento em grandes magnitudes na rodovia, pois no local foram observados desmoronamentos em suas margens, caracterizados pelo escoamento superficial e subsuperficial. De acordo com Casarin e Oliveira (2009), quanto mais íngreme e longa for a encosta, maior será a concentração do escoamento superficial e, dessa forma, maiores devem ser a velocidade e vazão correspondentes, o que gera aumento significativo da capacidade de transporte de sedimentos, características condizentes com o observado na área de estudo (Figura 2B).

Na área de estudo foi verificada a presença de uma nascente a qual origina um pequeno córrego que desagua no rio Ipixuna, principal rio da cidade que passa pela rodovia, (Figura 2C). A nascente encontra-se com vegetação antropizada e poucos indivíduos arbustivos, devido a área sofrer queimadas no período de seca da região, estando em desacordo com a Lei nº 12.651, de maio de 2012, que prevê um raio mínimo de 50 metros de largura de vegetação inalterada (PALIVODA; POVALUK, 2015). Além disso, outros impactos afetam as nascentes tais como: resíduos no entorno, a presença de emissários (esgoto) próximos a nascente, residências, entre outros fatores ligados ao antropismo que atuam na degradação ambiental (GOMES; MELO; VALE, 2005), esse contexto descrito pelos autores é semelhante ao encontrado na área de estudo. A conservação das nascentes está na dependência vital da manutenção da cobertura vegetal no seu entorno, pois a presença desses remanescentes de vegetação auxiliam na proteção desses mananciais (DONADIO et al (2005).

A existência desse corpo hídrico nas proximidades do local, bem como a própria topografia ondulada da área, influencia no carreamento de sólidos para o rio Ipixuna, algo que aos poucos assoreia o principal rio do município (CARVALHO, 2008). Para Sperling (1999), o intenso aporte de material mineral (areia, silte e argila) é o fenômeno causador de assoreamento dos corpos d’águas, de modo que a deposição deste

material pode ocorrer na região de entrada do tributário e se estender por todo o fundo do corpo hídrico, o que reduz seu período de vida. Esse fato é perceptível na área, onde um dos tributários do rio Ipixuna está em processo de assoreamento, intensificado pela escassa presença de vegetação.

Foi possível observar que não há presença de proteção na margem da rodovia bem como sinalização de área de risco, aspectos que são importantes devido a mesma possuir grande representatividade no fluxo de veículos e mercadorias na região nordeste do Pará (DNIT, 2005), (Figura 2D). Além disso, o local é um dos principais pontos turísticos do município, atraindo pessoas de outras localidades, que utilizam o espaço sobretudo para praticar esportes, tirar fotografias, ou apenas para contemplar a natureza, (Figura 2E). Essa falta de proteção nas margens da rodovia tem contribuído para a ocorrência de acidentes, alguns que já resultaram em vítima fatal (Figura 2F).

Figura 2 – Aspectos relacionados aos riscos ambientais na margem da rodovia BR – 010 no município de Ipixuna do Pará, Pará. A – Vegetação; B – Solo/Voçoroca; C – Nascente; D - Rodovia BR – 010; E – Área de lazer; F – Acidente.



(Continuação)

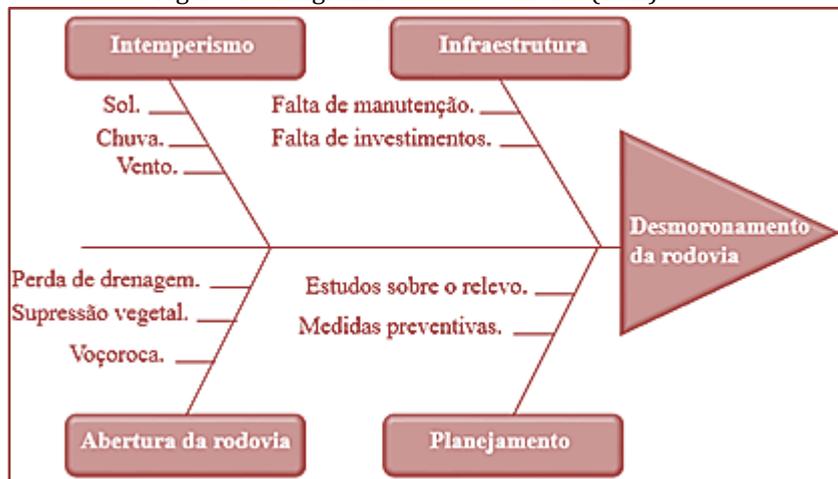
Figura 2 – Aspectos relacionados aos riscos ambientais na margem da rodovia BR – 010 no município de Ipixuna do Pará, Pará. A – Vegetação; B – Solo/Voçoroca; C – Nascente; D - Rodovia BR – 010; E – Área de lazer; F – Acidente.



Fonte: Os autores (2016).

Na elaboração do DCE foi utilizado como base às informações contidas no “Checklist” que apresentam as características mais relevantes da área de estudo e até mesmo os riscos existentes. O DCE foi fundamental para representar graficamente as causas possíveis do desmoronamento da rodovia (efeito), agrupando as categorias, como pode ser visto na figura 4.

Figura 4 – Diagrama de Causa e Efeito (DCE).



Fonte: Os autores (2016).

### 3.1.1. INTEMPERISMO

O intemperismo tem papel de destaque na formação e intensificação de voçorocas, pois a capacidade do solo ser modelado, em parte, deve-se as forças intempéries, que desagrega o solo e transporta sedimentos, com destaque para a chuva que possui o maior impacto na desestruturação do solo (SILVA; SILVA; MIYAZAKI, 2015). A ação intempérie é visível na área, pois há presença de sulcos e ravinas no local, decorrentes da erosão pluvial, outra característica diz respeito as ranhuras existentes nos paredões da colina, essas deformações são resultados dos efeitos da chuva que continuamente modificam as camadas do solo nas encostas e taludes da área de estudo.

Vitte e Mello (2007) explica que a força de erosividade da chuva é atribuída parcialmente ao impacto direto das gotas de chuva, e pelo escoamento que é gerado. A capacidade que a chuva possui em ocasionar erosão ao solo, deve-se a proporção e distribuição dos pingos d'água.

### 3.1.2. ABERTURA DA RODOVIA

Os aspectos relacionados a abertura da rodovia BR – 010 possuem características semelhantes aos demais processos de construções rodoviárias na Amazônia, com destaque para a intensificação dos processos erosivos, em função da perda de drenagem. Nesse sentido, Fearnside (2006) afirma que os projetos rodoviários ocasionam a abertura de largas extensões de florestas, que, associados a outros agentes do desmatamento, a mera notícia da construção de rodovias aumenta a especulação por áreas próximas ao trecho rodoviário, o que influencia na supressão vegetal desses locais na tentativa de obter lucros o mais rápido possível. Essa situação é intensificada pela inexistência de vontade política em fiscalizar tais práticas atribuídas, sobretudo, a grileiros e grandes fazendeiros.

### 3.1.3. INFRAESTRUTURA

A implantação de uma rodovia ocasiona uma série de impactos ambientais, como descrito por Bandeira e Floriano (2004), contudo a magnitude do dano ambiental está diretamente relacionado a infraestrutura que a mesma possui. A área de estudo onde se encontra uma extensa voçoroca é o resultado negativo da falta de infraestrutura adequada aliada a falta de investimentos para manutenção.

É importante salientar que a infraestrutura nas rodovias que concilie eficiência com qualidade ambiental não é algo arbitrário independente do poder público, tal medida possui embasamento legal previsto na Lei nº 10.233 de 5 de junho de 2001 que trata sobre a reestruturação dos transportes terrestres e aquáticos.

De acordo com Simonetti (2010), a manutenção das rodovias deve seguir um roteiro de verificação de pontos hierarquizados que apresentam impactos ambientais de maior e menor potencial. Pertinente à área de estudo, os maiores impactos encontrados são as erosões, seguidas do assoreamento no corpo hídrico nas proximidades também influenciados pelos processos erosivos que transportam os sólidos para o rio Ipixuna.

### 3.1.4. PLANEJAMENTO

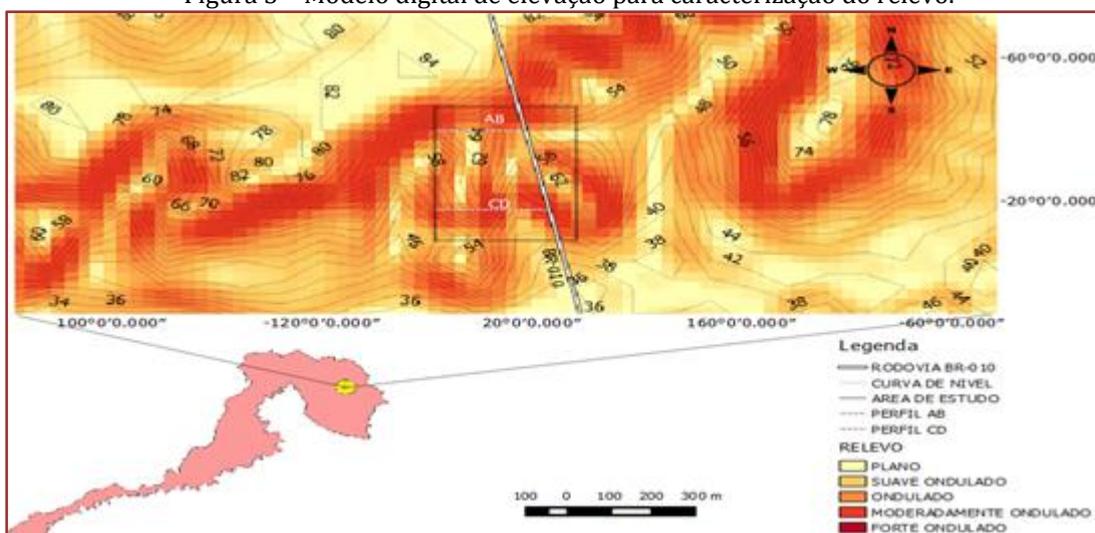
O planejamento de uma rodovia é basicamente uma antecipação dos possíveis imprevistos que possam surgir no processo de construção da malha rodoviária, assim sendo deve ser levado em consideração aspectos técnicos, como a vertente ambiental e drenagem no intuito de direcionar o fluxo hídrico e reduzir processos erosivos. Outro aspecto diz respeito ao caráter do estudo que deve possuir tomada de decisões abertas e cooperativas, uma vez que os estudos sobre planejamento rodoviários são realizados com diversos profissionais de diversas áreas de estudo com distintos pontos de vistas distintos (SILVA, 2005).

Esse é um contexto geral do que seria o planejamento adequado, mas é importante destacar que cada localidade possui características intrínsecas em que são necessárias medidas específicas para mitigar problemas locais. Na área de estudo, a topografia do meio em determinados locais acelera os processos erosivos, nesse sentido é necessário haver estudos acerca do relevo das proximidades da rodovia, com a intenção de ter um conhecimento abrangente do local e assim aplicar as possíveis medidas mitigadoras de forma mais eficiente com maior economia.

## 3.2. ANÁLISE DE RISCO

Para melhor visualização das características topográficas da área de estudo foi construído o Modelo Digital de Elevação (MDE) como pode ser visualizado na figura 5. Consiste em um mapa com curvas de nível, que tem por finalidade enfatizar de maneira clara e objetiva as zonas que apresentam ondulações, planaltos ou mesmo sinuosidades e assim ter uma noção de que maneira a topografia do terreno influencia na intensificação ou formação de erosões.

Figura 5 – Modelo digital de elevação para caracterização do relevo.



Fonte: Os autores (2016).

Pode-se observar nas proximidades da área de estudo, sobretudo nas margens da rodovia, valores de declividade que variam entre 58-64 m, com predominância de relevo ondulado e moderadamente ondulado. Para melhor analisar os riscos existentes, foram criados dois perfis topográficos descritos nas seções AB e CD, no qual são identificados como áreas de riscos de desmoronamento da rodovia.

O perfil AB (Gráfico 1), apesar de possuir a menor variação de declividade se caracteriza por ser a zona mais crítica, pois a erosão encontra-se mais próxima da rodovia. Esta seção apresenta solo exposto com textura argilosa e muito argilosa o que favorece o escoamento superficial intensificando o processo erosivo (KOTSCHOUBEY et al., 2005). Essa concentração de argila em subsuperfície ocasiona a redução da velocidade de infiltração da água em relação aos horizontes mais superficiais, desta forma, essa propriedade aumenta a suscetibilidade natural à erosão desses solos (BORTOLUZZI et al., 2008). É importante salientar que há predominância de vegetação rasteira, característica que serve como barreira natural para o avanço da erosão e é eficiente para evitar a perda de solo e de água (BERTONI; NETO (2012).

Gráfico 1 – Perfil topográfico com valores de declividade da seção AB.

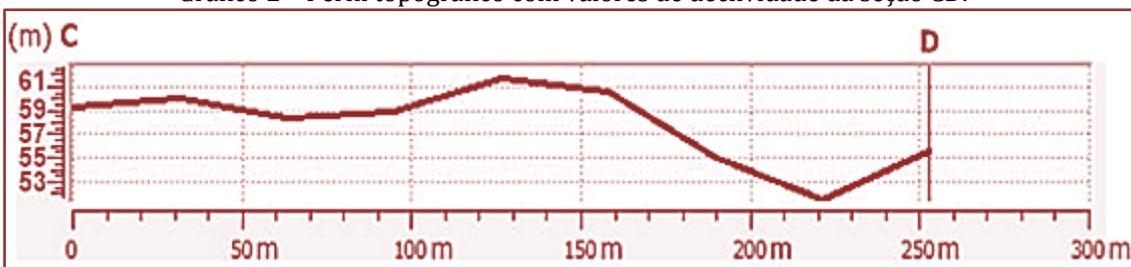


Fonte: Os autores (2016).

Por sua vez o perfil CD (Gráfico 2), apresenta a maior variação de declividade, marcada pela maior ondulação do relevo. Essa seção ainda está em processo inicial de erosão, vale ressaltar que neste local há o carreamento de sólidos totais em função das precipitações pluviométricas, tal fator influencia diretamente no assoreamento do corpo hídrico tributário do rio Ipixuna.

Segundo Bertoni e Neto (2012), a topografia, representada pela declividade tem grande influência sobre a erosão. De modo que o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem fortemente da intensidade do fluxo e do refluxo da drenagem, que são representados pelo grau de declividade do terreno, o que determina a potencialidade da erosão, característica que faz-se presente na área de estudo.

Gráfico 2 – Perfil topográfico com valores de declividade da seção CD.



Fonte: Os autores (2016).

Dessa forma, em concordância com Diniz et al. (2008), foi possível observar que a declividade foi o fator mais determinante da erodibilidade da área, assim como o intemperismo, pois ambos atuam na modificação e modelamento da estrutura do terreno e favorecem o escoamento superficial de modo a intensificar o processo erosivo.

### 3.3. AVALIAÇÃO DE RISCO

A matriz de risco é um instrumento que possibilitou uma visualização mais abrangente dos riscos encontrados na área de estudo, pois através da definição proposta pelo DNIT (2013), a matriz tem como função, registrar os riscos identificados, documentar suas características determinar assim as respostas a se tomar para os riscos encontrados e enquadrar os responsáveis envolvidos. Nesse sentido a matriz de risco se consolida como instrumento de gestão, no auxílio de comunicação para a análise de risco (Figura 6).

Figura 6 – Matriz de risco para avaliação e gestão dos riscos.

Probabilidade	A	ALTA				I
	B	MÉDIA		III	II	
	C	BAIXA				
			1	2	3	4
		Impacto				
NÍVEIS DE TRATAMENTO		CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS				
A	Ação Imediata					I – Desmoronamento da Rodovia
B	Monitoramento e Gestão					II – Assoreamento do Corpo Hídrico
C	Risco Controlável					III – Acidentes no Tráfego de Veículos

Fonte: Os autores (2016).

Foram encontrados três riscos em potencial na matriz de risco elaborada no presente trabalho, cada risco apresenta características próprias com distintas maneiras de tratamento.

### 3.3.1. O DESMORONAMENTO DA RODOVIA

O risco de maior impacto e probabilidade da matriz é o produto que une as problemáticas encontradas no Diagrama de Causa e Efeito (DCE). Como destacado anteriormente, o trecho da rodovia sujeito a processos erosivos é de extrema importância para o transporte de mercadorias e pessoas no nordeste do Pará (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2016). Por isso sua classificação de risco (A4) necessita de tratamento em nível imediato, pois caso ocorra o desmoronamento da rodovia, pode-se prever prejuízos econômicos em escalas que afetariam a economia local, regional e mesmo nacional.

Nesse sentido, em função do grau de impacto e da probabilidade de ocorrer o desmoronamento, se tornam necessárias ações imediatas no intuito de tratar os problemas que ocasionam ou podem intensificar o risco, pois a cada período, a voçoroca se aproxima do eixo rodoviário, sendo atualmente cerca de 9.3 m de proximidade da rodovia.

### 3.3.2. ASSOREAMENTO DO CORPO HÍDRICO

O assoreamento do rio Ipixuna, na matriz de risco apresenta probabilidade média e grau de impacto 3, valores atribuídos em decorrência dos danos que podem ocasionar diretamente para o corpo hídrico e indiretamente para a população local que utiliza o rio como um dos principais pontos de lazer e fluxo econômico da cidade.

Em função disso, recomenda-se monitoramento e gestão na área como forma de intervenção para o risco de assoreamento. É necessário levar em consideração que o rebaixamento do nível dos rios, deve-se a supressão vegetal cometida nas margens do curso d'água, para tanto se faz necessário o cumprimento no disposto no Código Florestal disposto na Lei nº 12. 651/2012, em que trata sobre área de proteção permanente. No caso do rio Ipixuna a distância mínima que deve ser protegida, segundo a legislação ambiental é de 30 metros.

### 3.3.3. ACIDENTES NO TRÁFEGO DE VEÍCULOS

Os acidentes em rodovias federais, infelizmente, são recorrentes nas estatísticas de trânsito brasileiro. Cerca de 168.593 acidentes ocorreram nas rodovias do Brasil, mas ao longo dos anos houve quedas no índice de acidentes em cerca de 15,3% no ano de 2014 (POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL, 2015).

Na área de estudo em questão, o maior potencial possível causador de acidentes, está relacionado às encostas profundas geradas pelas voçorocas que permeiam a área, pois essas áreas são perigosas devido à falta de sinalização que existe. Fato esse que ocasionou acidentes com morte, exatamente nesse perímetro da rodovia.

## 4. CONCLUSÃO

O modal rodoviário cresce a cada dia ao longo dos anos, no desenvolvimento de cidades e na geração do progresso econômico para o Brasil, todavia em meio as vantagens do rodoviarismo existem os impactos ambientais que são intensificados em função da falta de planejamento e políticas públicas dos gestores. Na tentativa de reduzir os riscos pertinentes às rodovias, a análise de risco mostrou-se uma excelente ferramenta no gerenciamento dos riscos, na categorização dos riscos e na tomada de decisões de como tratá-los.

As erosões são os fatores que mais impactaram a área de estudo, nesse sentido a proposição de ferramentas mitigadoras especificamente voltadas para a voçoroca é de extrema importância, pois com isso os danos decorrentes à erosão na malha rodoviária, como o assoreamento dos corpos hídricos, terá sua gradativa redução.

As ferramentas utilizadas nas etapas da identificação, análise e avaliação de riscos ambientais apresentam baixos custos de implantação além de reaproveitamento de materiais pneumáticos, bem como pouca complexidade em se elaborar. É importante salientar que a análise de risco ambiental possui inúmeras maneiras de ser elaborada, com diversos usos de tecnologias ou ferramentas adotadas de acordo com a necessidade de cada estudo.

Dessa forma é necessário haver o comprometimento de todos os agentes envolvidos dentro do contexto rodoviário, pois existem riscos que podem ser evitados ou minimizados, mas necessitam de custos iniciais na implementação de ferramentas para tratar os riscos o que por sua vez apresenta uma relação custo-

benefício mais favorável no aspecto preventivo do que as possíveis medidas a serem tomadas mediante a concretização dos riscos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 31000. Gestão de riscos: princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.
- [2] BANDEIRA, C.; FLORIANO, E. P. Avaliação de impacto ambiental de rodovias. ANORGS, Santa Rosa, n. 8, ed. 1, 2004. (série Cadernos Didáticos).
- [3] BARBOSA, E. J. S. Relevos Antrópicos No Trecho Norte Da Rodovia Belém-Brasília, Estado Do Pará. REVISTA GEONORTE, ed. 4, v.10, n.1, 2014. p. 81-86.
- [4] BERTONI, J. F.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, ed. 6, 2008, 356 p.
- [5] BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Manual para implementação de planos de ação e emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2005. 142 p.
- [6] BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Manual para atividades Ambientais Rodoviárias. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2013.
- [7] BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados dos municípios do Pará. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/para/>>. Acesso em 22 de Ago. de 2015.
- [8] BRASIL. Ministério dos Transportes. Pesquisa Nacional de Tráfego. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-rodoviario/pesquisa-nacional-de-trafego/>>. Acesso em: 02 de out. de 2016.
- [9] CARVALHO, Newton de O. Hidrossedimentologia prática: interciência. ed. 2, Rio de Janeiro, 2008.
- [10] CASARIN, R. D.; OLIVEIRA, E. L.; Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. Revista Irriga, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 548-463, 2009.
- [11] CATAI, R. E. Higiene do Trabalho: Gerência de Riscos, Notas de aula do curso de Especialização em engenharia de segurança do trabalho. Paraná, UTFPR, 2012.
- [12] CHEROBIN, S. F. Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes: estudo da voçoroca Vila alegre. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental, Meio Ambiente) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- [13] CINTRA, D. P. Classificação de estágios sucessionais florestais por meio de imagens de alta resolução (IKONOS) no parque estadual da pedra branca, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Santa Catarina. Anais do simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. São Paulo, 2007.
- [14] DINIZ, S.F.; MOREIRA, C.A.; CORRADINI, F.A. Susceptibilidade erosiva do baixo curso do Rio Acaraú – CE. Revista Geociências, São Paulo, v. 27, p. 355-367, 2008.
- [15] DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.115-125, jan/abr. 2005.
- [16] FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Revista ACT Amazônica, v. 36, p. 395 – 400. 2006.
- [17] GOMES, P. M.; MELO. C.; VALE. V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia – MG: análise macroscópica. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, p. 103-120, jun. 2005.
- [18] INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Dados de clima do município de Ipixuna do Pará. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/2448/>> Acesso em: 23 de Ago. de 2015.
- [19] KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; CALAF, J. M. C. Evolução geológica da porção meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (noroeste da Bacia de Grajaú, Nordeste do Pará e extremo oeste do Maranhão). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n. 2. p. 263-272. 2005.
- [20] PALIVODA, A. P.; POVALUK, M. Avaliação do estado de conservação de nascentes localizadas em áreas rurais do município de Itaiópolis, SC. Revista Interdisciplinar Saúde Meio Ambiente. Paraná, v. 4, n.1, p. 17-31, 2015.
- [21] POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. Balanço de Atividades de 2014. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/noticias/nacionais/prf-balanco-de-atividades-2014/>>. Acesso em: 02 de out. de 2016.

- [22] SILVA, J. P. S. Avaliação e recuperação ambiental de rodovias. Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, CEFET. Goiânia – GO, 2005.
- [23] SILVA, T. R.; SILVA, J.V. F.; MIYAZAKI, L.C.P. A utilização de maquetes didáticas nos estudos de conservação e degradação dos solos no ensino fundamental. Revista Fórum Ambiental, São Paulo, v.11, n. 4, p. 169-180, 2015.
- [24] SIMONETTI, H. Estudos de Impactos Ambientais Geradas Pelas Rodovias: Sistematização do Processo de Elaboração de EIA/RIMA. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- [25] SPERLING, E.V. Morfologia de lagos e represas. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999. 137 p.
- [26] VIANA, D. B. Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: uma proposta metodológica. 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2010.
- [27] VITTE, A. C.; MELLO, J. P.; Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. Revista Climatologia e Estudos da Paisagem, São Paulo, v.2, n.2, p. 107, 2007.

# Capítulo 14

## *Sintonia de controlador PID utilizando Algoritmo Enhanced Scatter Search para um rastreador solar*

*José Diogo Forte de Oliveira Luna*

*Georgios Joannis Ninos Neto*

*José Silvan Batista Mota Júnior*

*José Ricardo Pérez-Correa*

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema rastreador solar de único eixo otimizado para painéis solares. Um controlador PID foi sintonizado de forma ótima para maximizar a geração líquida de energia usando um solver de Enhanced Scatter Search, um algoritmo de meta-heurística populacional. Simulações realistas mostraram que o sistema otimizado consegue produzir 33% mais energia que um painel fixo, enquanto o sistema de rastreamento consome apenas 0,011% da energia gerada. Uma economia relevante foi alcançada uma vez que o controlador opera apenas quando desvios significativos na orientação são observados.

**Palavras-chave:** Rastreador Solar; Modelagem Dinâmica; Sintonia de PID; Enhanced Scatter Search; Energias Renováveis.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda da humanidade por energia está relacionada ao progresso econômico e aumento populacional do planeta, afetando diretamente o esgotamento das fontes de energia mais utilizadas na produção de eletricidade, como os combustíveis fósseis. A melhor solução para este problema é a utilização de fontes renováveis na produção de energia elétrica, como aquelas derivadas da energia solar, que é a principal fonte de energia do planeta Terra. Além de abundante, é inesgotável e com potencial para contribuir com o desenvolvimento econômico e humano sustentável.

Dentre as diversas alternativas, a que utiliza a energia do sol de forma mais direta, no que diz respeito a conversão em energia elétrica, é a tecnologia que aproveita a radiação solar por meio de células fotovoltaicas (Raag, 2012).

A conversão da energia solar irradiada muda de acordo com a posição relativa do sol com a Terra. Então, a radiação incidente sobre o painel solar fixo é alterada continuamente, alcançando o valor máximo de geração quando a radiação solar está perpendicular à superfície do painel. Neste contexto, para o aproveitamento máximo do painel fotovoltaico, faz-se necessário montá-lo em um sistema de rastreamento solar (Alboteanu et al., 2015).

O sistema de rastreamento pode ser classificado quanto ao tipo rastreamento: em malha aberta, baseado em modelos matemáticos do movimento do sol, ou como rastreamento em malha fechada, utilizando sensores associados a controladores realimentados Gangwar et al. (2017). Apenas o caso de malha fechada, utilizando LDRs (do inglês *Light Dependent Resistors*), é considerado neste trabalho.

A principal função do sensor é perceber o desvio de posição da orientação ortogonal ao sol, emitindo um sinal de erro ao sistema de controle, assegurando que o painel solar receba a maior quantidade de radiação (Wang e Lu, 2013; Dondon e Miron, 2014).

Muitos autores têm discutido sobre sistemas de rastreamento solar como solução para melhorar a produção de energia fotovoltaica. Al-Mohamad (2004), Juang e Radharamanan (2014), Dondon e Miron (2014), Srinivas Arun Tej et al. (2013), e Chin et al. (2011) implementaram rastreadores de único eixo. Wang e Lu (2013), Gangwar et al. (2017), Johnson-hoyte et al. (2013), Barsoum (2011), Sarker et al. (2010), Yao et al. (2014), Kaur et al. (2016) e Ahmad et al. (2012) construíram rastreadores solares de dois eixos. Guo et al. (2010) e Alexandru e Pozna (2008) modelaram rastreadores solares de único eixo. De Macedo et al. (2016), Frindt (2009), Ghassaei et al. (2011) e Stamatescu et al. (2014) modelaram e simularam rastreadores solares de dois eixos.

Para rastrear a posição do sol, é necessário utilizar um controlador de malha fechada. O controlador mais utilizado é o controlador PID, que é capaz de eliminar o erro em regime permanente além de estimar linearmente amostras futuras através da ação derivativa (Sabir e Ali, 2016).

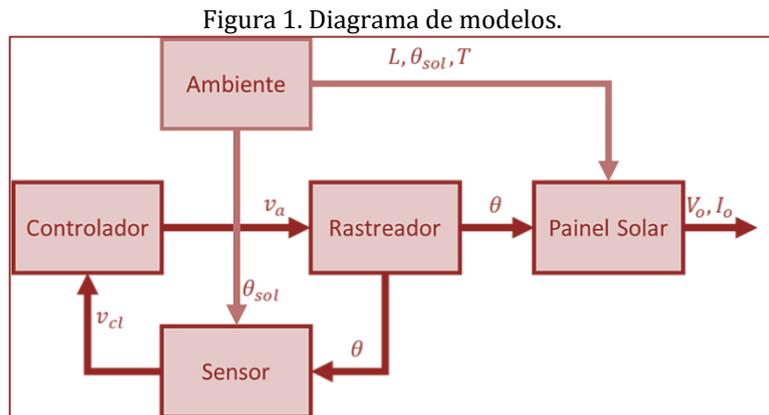
É de alta dificuldade determinar a melhor sintonia para o controlador por métodos tradicionais, como por Ziegler Nichols. Atualmente, algoritmos de otimização são aplicados para encontrar os parâmetros do controlador para melhorar a performance do mesmo (Gaing, 2004). Neste trabalho é utilizada a meta-heurística *Enhanced Scatter Search* (ESS) para otimizar a parametrização do controlador PI+D, um caso especial de controlador PID, onde somente a ação proporcional e integral são computadas com o erro e a ação derivativa é aplicada à saída do sistema.

O Scatter Search (SS), primeiramente proposto por Glover (1977), é uma meta-heurística baseada em população, que pode ser classificada como um método de otimização evolucionária, onde se emprega uma população pequena e as combinações entre os membros da população são realizadas de forma sistemática. O ESS, por sua vez, é um aprimoramento que utiliza características da Evolução Diferencial, restringindo que um membro da população somente possa ser substituído por um de seus descendentes (Martí et al., 2006; Egea et al., 2009).

Neste contexto, o presente trabalho visa apresentar um modelo de um sistema rastreador solar de um eixo, levando em consideração o conjunto de sensores, a estrutura eletromecânica e a conversão fotovoltaica. Adicionalmente, é descrito um controlador otimizado com o ESS com o intuito de maximizar a produção líquida de energia do rastreador solar, consistindo no saldo da energia gerada menos a energia consumida pelo dispositivo.

## 2. MODELAGEM DO RASTREADOR SOLAR

É proposto um modelo híbrido para descrever o comportamento do rastreador solar, compreendendo modelos experimentais e fenomenológicos. O sistema proposto apresenta um modelo de sensor composto por um par de LDRs para cada eixo, um modelo para a estrutura eletromecânica, um modelo para o painel fotovoltaico e um modelo das condições ambientais, ou seja, a posição do sol e a temperatura ambiente. Esses modelos interagem entre si, de acordo com a Figura 1.



Onde  $L$  é a iluminância,  $\theta_{sol}$  é o ângulo solar,  $v_{cl}$  é a tensão do sensor,  $v_a$  é a tensão de armadura do motor,  $\theta$  é o ângulo de *clock* do painel,  $V_o$  e  $I_o$  são a tensão e corrente de saída do painel e  $T$  é a temperatura ambiente.

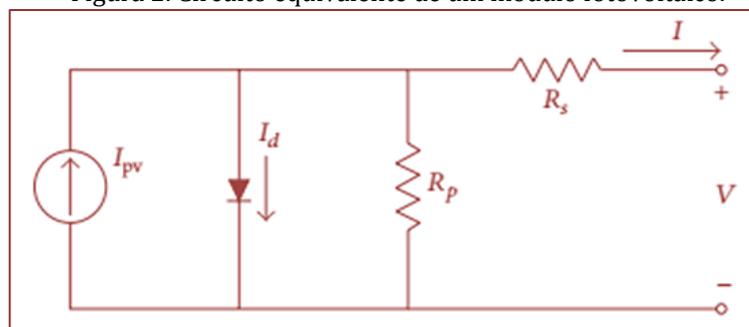
### 2.1 MODELAGEM DA GERAÇÃO SOLAR

O modelo proposto por Ma et al. (2013) será usado para descrever um sistema de geração de um painel fotovoltaico. Pode-se aproximar a operação de um módulo de forma similar à de um diodo Shockley, cuja corrente  $I_d$  pode ser descrita pela equação abaixo:

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{V_D}{n_d N_s V_t}} - 1 \right),$$

onde  $V_D$  é a tensão do diodo,  $I_0$  é a corrente de saturação do diodo,  $V_t$  é a tensão termal de máxima potência,  $N_s$  é número de células e  $n_d$  é uma constante de idealidade do diodo. O modelo básico do circuito equivalente é mostrado na Figura 2, onde o módulo fotovoltaico é considerado como uma fonte de corrente em paralelo com um diodo ideal.

Figura 2. Circuito equivalente de um módulo fotovoltaico.



Onde  $R_s$  representa uma resistência em série,  $R_p$  uma resistência em paralelo,  $V$  a tensão de saída do módulo e  $I$  a corrente de saída do módulo. A partir do circuito equivalente a corrente  $I$  pode ser dada por:

$$I = I_{pv} - I_0 \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_d V_t}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p},$$

sendo  $V_t$ :

$$V_t = \frac{N_s K T}{q},$$

onde  $k$  é a constante de Boltzmann,  $T$  é a temperatura ambiente e  $q$  é a carga do elétron. Assim, de acordo com Villalva et al. (2009), a corrente de saturação  $I_0$  pode ser escrita:

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_i \Delta T}{e^{\frac{V_{oc} + K_v \Delta T}{n_d V_t}} - 1},$$

onde  $I_{sc}$  é a corrente de curto circuito do painel,  $K_i$  é o coeficiente térmico da corrente,  $K_v$  é o coeficiente térmico de tensão e  $V_{oc}$  é a tensão de circuito aberto.

A fim de simular a geração do painel solar, foram escolhidas as especificações do módulo solar Kyocera KC200GT para serem aplicadas ao modelo equivalente do diodo simples discutido em Gangwar et al. (2017):

$$I_{k+1} = I_k - \frac{I_{pv} - I_k - I_0 e^{\frac{V+I_k R_s}{V_t n_d}} - I_0 - \frac{V + I_k R_s}{V_t a}}{-1 - \frac{R_s}{V_t n_d} I_0 e^{\frac{V+I_k R_s}{V_t n_d}} - \frac{R_s}{R_p}}.$$

A equação acima representa a solução numérica para o próximo valor de corrente instantânea  $I_{k+1}$  do sistema, onde  $I_k$  é o valor atual da iteração anterior.

## 2.2 MODELO DO AMBIENTE

A modelagem do ambiente considerou a temperatura, a irradiância incidente e a posição do sol, em relação ao seu azimute, altitude e o valor correspondentes nas coordenadas de *clock*. O valor da altitude foi aproximado como meio ciclo de uma senóide. Ambos os valores de altitude e azimute representam um dia de abril na latitude de Florianópolis/SC, Brasil. O ângulo de *clock*, que é medido com relação ao eixo leste-oeste, é dado por:

$$\theta_{clock} = \text{sen}^{-1}(\text{sen}(\psi) \cos(\phi)),$$

sendo  $\psi$  o ângulo de azimute e  $\phi$  o ângulo de altitude.

A temperatura ao longo de um dia foi simulada como sendo um valor constante somado ao semiciclo positivo de um sinal senoidal cujo período é 24 horas. A irradiância no plano horizontal foi modelada como em Frindt (2009), considerando um céu claro.

### 2.3 MODELO MATEMÁTICO DO SENSOR

O sensor é composto por um par de LDRs colocados no mesmo plano, recebendo a mesma iluminância do sol, que variará com o ângulo de incidência de acordo com:

$$L = L_0 \cos(-\theta_e),$$

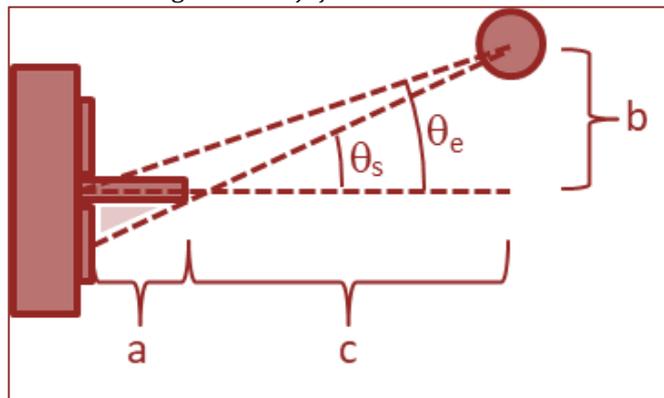
onde  $L_0$  é a iluminância no plano de referência horizontal e  $\theta_e$  é o desvio angular. Em Dondon e Miron (2014) obteve-se um modelo experimental da resposta estática para o modelo LDR VT90N2, cuja resistência  $R_{LDR}$  varia com uma potência não-inteira da iluminância recebida  $L$ :

$$R_{LDR}(L) = \frac{k}{L^n}.$$

Onde  $k$  representa o valor de resistência do LDR para 1 Lux de iluminância e a potência de  $n$  varia entre 0,50 e 0,75. Para o modelo VT90N2, o valor de  $k$  é de cerca de 400 k $\Omega$ .

Na intenção de obter o sinal de erro, é necessário inserir uma superfície opaca entre os LDRs, então, uma sombra será projetada em um dos LDRs quando o sensor não estiver perpendicular à posição do Sol, resultando na diferença de resistência entre os LDRs (Barsoum, 2011). Pode-se descrever o sombreamento a partir da Figura 3:

Figura 3. Projeção da sombra no sensor.



O ângulo da sombra incidente,  $\theta_s$ , é dado por:

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{b}{c+a},$$

Considerando que a distância do sol para o sensor é muito maior que o comprimento da superfície opaca, o ângulo pode ser aproximado pela diferença entre a orientação do painel e a posição do sol:

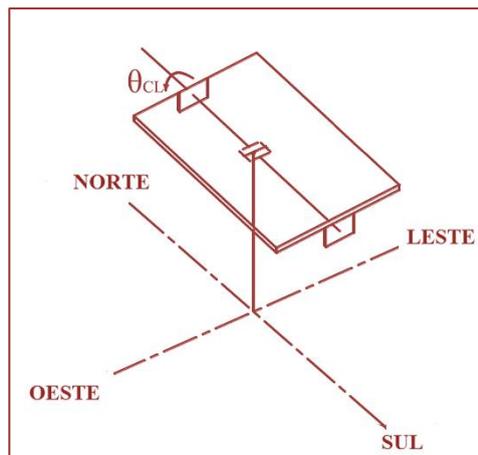
$$\theta_s \approx \tan^{-1} \frac{b}{c} = \theta_e.$$

Para calcular a iluminância incidente sobre um LDR parcialmente sombreado, assume-se que a área sensível do LDR é retangular e que a iluminância na região sombreada é muito menor que a iluminância na área iluminada. Sendo  $a$  a altura da superfície opaca e  $d$  o comprimento da região sensível do LDR, a região parcialmente sombreada será dada por:

$$L_1 = L_0 \cos(\theta_e) \frac{d - a \tan^{-1}\theta_e}{d}.$$

## 2.4 MODELO ELETROMECCÂNICO

Quanto à estrutura mecânica, há muitas possibilidades de estratégias para construir o rastreador solar (Yao et al., 2014). Neste trabalho é utilizado um rastreador de eixo simples com movimentação de *clock* ( $\theta_{cl}$ ), conforme Figura 4.



O modelo dinâmico do sistema eletromecânico, em espaço de estados, é representado por:

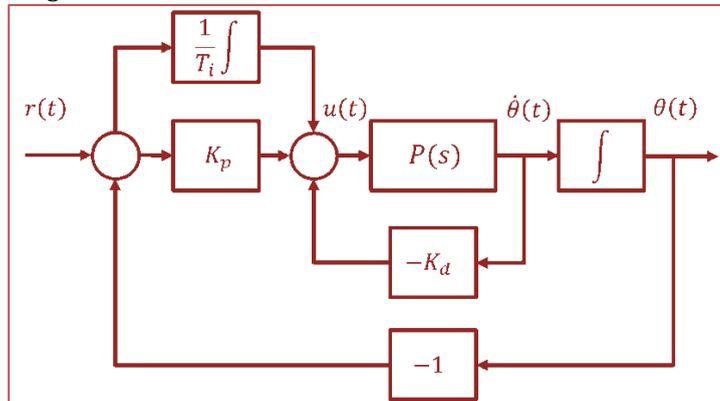
$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_m \\ \dot{\omega}_m \\ \dot{i}_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{b}{J} & \frac{K_t}{J} f(i_a) \\ 0 & -\frac{K_e}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_m \\ \omega_m \\ i_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} v_a,$$

onde  $\theta_m$  é a posição angular,  $\omega_m$  é a velocidade angular,  $i_a$  é a corrente de armadura,  $K_t$  é a constante de torque,  $K_e$  é a constante de força eletromotriz,  $J$  é o momento de inércia no eixo de *clock*,  $b$  é o atrito,  $R_a$  é a resistência de armadura do motor,  $L_a$  é a indutância de armadura do motor e  $f(i_a)$  é a banda morta do motor.

## 2.5 CONTROLADOR DE MALHA FECHADA

Em relação ao controle de malha fechada do rastreador, adotou-se um controlador utilizando a topologia PI+D, como mostrado na Figura 5, onde a dinâmica do sistema é representada por  $P(s)$ ,  $K_p$  é o ganho proporcional,  $K_i$  é o ganho integral,  $K_d$  é o ganho derivativo,  $u$  é a ação de controle,  $e$  é o erro de orientação do painel solar e  $\theta$  é a posição angular do módulo.

Figura 5. Diagrama de blocos do controle em malha fechada com um controlador PI+D.



Adicionalmente, o controlador não fica ativo durante toda a operação. Em cada período de amostragem é verificado se o desvio angular é maior que um limite pré-determinado,  $\delta$ . Em caso positivo, o comando para um novo movimento do painel será computado pelo controlador PI+D e o controlador atuará até que o erro de orientação do painel seja nulo. Quando isto acontecer, o controlador entra em espera até que o erro de orientação seja significativo, novamente.

## 2.6 SINTONIA DO CONTROLADOR

Para realizar a sintonia do controlador empregando o ESS, foi cunhada a função objetivo abaixo, que descreve a energia líquida gerada, isto é, a diferença entre a energia gerada,  $e_g$ , e a energia consumida pelo sistema para posicionar o painel,  $e_c$ , um dado conjunto de parâmetros  $\mathbf{K} = [K_p, K_i, K_d, \delta]^T$ , sendo  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  os ganhos do controlador e  $\delta$  o limiar de erro de posicionamento angular a partir do qual o controle PID é habilitado.

$$J(e_g, e_c) = e_g(\mathbf{K}) - e_c(\mathbf{K}).$$

## 3. ENHANCED SCATTER SEARCH

A ESS é uma meta-heurística baseada em populações que busca um equilíbrio entre robustez e eficiência em nível global e acopla um procedimento de busca local para acelerar a convergência para soluções ótimas (Glover et al., 1977; Egea et al., 2009; Martí et al., 2006). Em particular, é usado um tipo de método de combinações de soluções que não restringe a busca a direções definidas pelas soluções na população, mas permite movimentos para outras áreas, o que aumenta a diversidade de busca. Juntamente com isso e a fim de guiar a busca, há uma polarização, que favorece a aproximação de soluções de alta qualidade e a fuga de soluções de baixa qualidade dentro da população (Egea et al., 2009).

O código do ESS trabalha em cinco sub-algoritmos, cujos formatos de implementação consistem em (Martí et al., 2006):

1. Um método de diversificação de geração para gerar uma coleção diversa de tentativa de soluções, usando uma solução arbitrária (ou solução semente) como uma entrada.
2. Um método de aperfeiçoamento para transformar uma tentativa de solução em uma ou mais soluções aprimoradas.
3. Um método de atualização do conjunto de referência para construir e manter um conjunto de referência com as melhores soluções encontradas, organizadas para prover um acesso eficiente por outras partes do método.
4. Um método de geração de sub-conjuntos para operar no conjunto de referência, para produzir um sub-conjunto de suas soluções como uma base para criação de soluções combinadas.
5. Um método de combinação de soluções para transformar um sub-conjunto dado pelo método de geração de sub-conjunto em um ou mais vetores de soluções combinadas.

O procedimento termina depois que todos os sub-conjuntos são sujeitos ao método de combinação e nenhuma das tentativas de soluções aperfeiçoadas são admitidas pelas regras do método de atualização do conjunto de referência.

Para realizar a otimização do controlador PI+D, o algoritmo meta-heurístico ESS foi aplicado de forma recursiva, primeiramente iniciando de diferentes pontos, a fim de cobrir possíveis mínimos locais, e, depois iniciando pela vizinhança das regiões promissoras. Uma combinação do algoritmo do ESS, na fase global, e um método dos gradientes, na fase local, foi usada para maximizar a função objetivo cunhada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

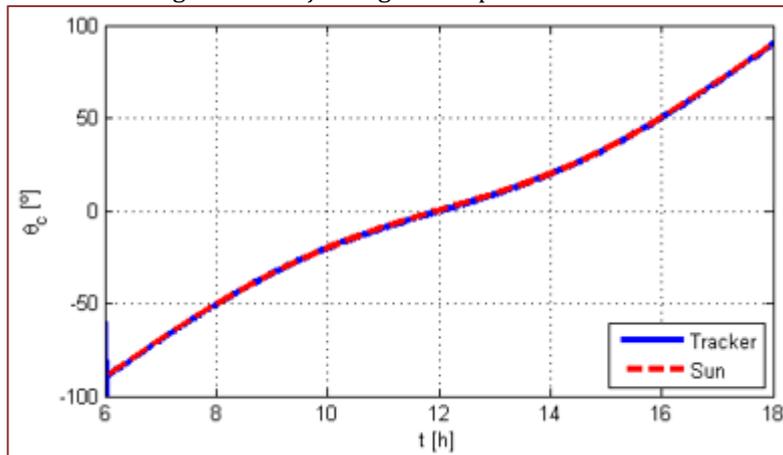
Tendo-se aplicado a ESS para maximizar a função objetivo que representa a energia líquida gerada, os parâmetros do controlador foram encontrados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do controlador.

$K_p$	$K_i$	$K_d$	$\delta$
14,974 V/V	2,682 1/s	1,127 s	0,010 V

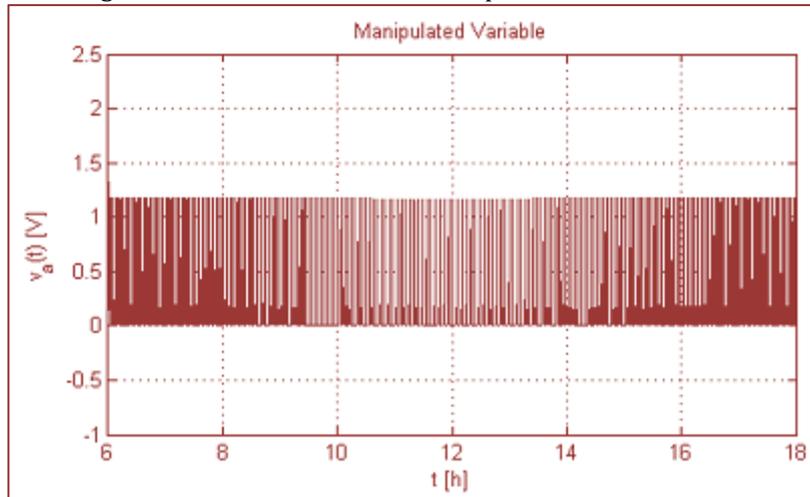
Definidos os parâmetros de sintonia, realizou-se simulação computacional para avaliar o desempenho do controlador encontrado. A Figura 6 apresenta a evolução da posição angular do rastreador durante um dia. Por conta da época do ano, o movimento não é linear no eixo de *clock*, assim, próximo de meio dia é requerida menor movimentação por parte do rastreador.

Figura 6. Posição angular do painel solar.



O sinal de tensão aplicado ao motor é apresentado na Figura 7. É digno de nota que pela densidade dos sinais, se percebe que o painel se movimenta menos no horário de meio dia e mais frequentemente no começo e no final do dia.

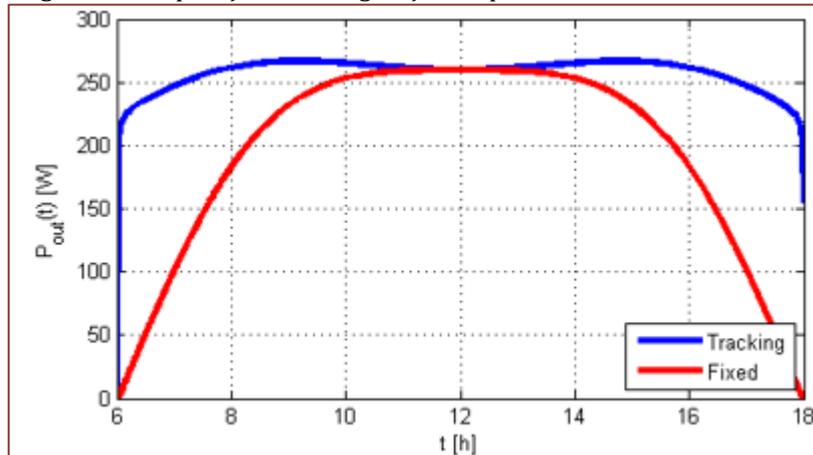
Figura 7. Sinal de controle enviado pelo controlador.



Para o cenário simulado, a placa solar fixa gerou 2,335 kWh, enquanto a placa montada no rastreador gerou 3,095 kWh, já descontado o consumo com o motor e a eletrônica do circuito de controle, representando um aumento de 32,58 % na geração de energia, valor em acordo com aqueles encontrados na literatura. O motor consumiu 0,318 Wh, representando menos de 0,011 % da energia gerada.

A Figura 8 apresenta o perfil de potência instantânea gerada ao longo do dia, para ambos os painéis fotovoltaicos.

Figura 8. Comparação entre a geração no painel fixo e do rastreador.



Como esperado, nas horas iniciais do dia e no final da tarde, a geração do rastreador solar foi superior à da placa fixa. No entorno do meio dia, a geração de ambos os painéis é a mesma, visto que a irradiância que incide sobre ambos é igual. Há, ainda, uma redução na potência gerada na metade do dia quando o perfil de temperatura atinge o pico e afeta negativamente a eficiência dos painéis.

As Figuras 9 e 10 apresentam, em detalhe, o comportamento da posição angular e do sinal de controle no horário entre 8h00 e 8h12. Por conta do critério de parada, o rastreador não se move continuamente. O controle PID é habilitado apenas quando o limiar de erro é atingido.

Figura 9. Posição angular do painel solar em detalhe.

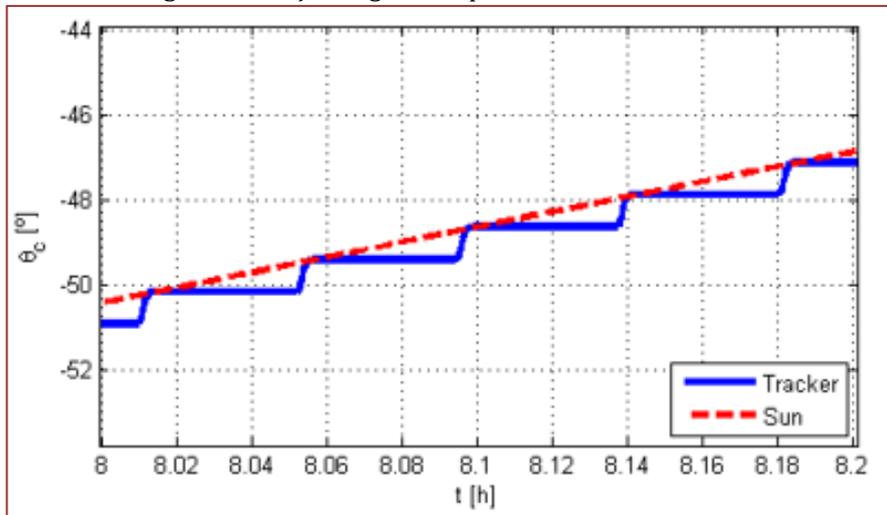
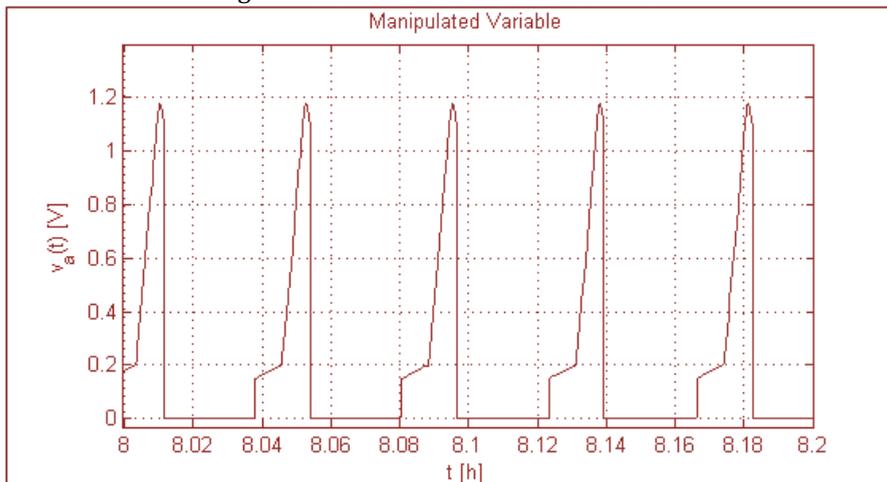


Figura 10. Sinal de controle em detalhe.



Nota-se que a resposta proporcionada pelo controlador sintonizado com o ESS foi conservadora, não apresentando sobressinal e cada reposicionamento tem um tempo de acomodação em torno de 21,6 segundos. Vê-se, ainda, que não há oscilações na variável manipulada.

## 5.CONCLUSÕES

O presente texto apresentou a modelagem de um rastreador solar de um eixo e a sintonia de seu controlador através de uma meta-heurística. O modelo utilizado para simular computacionalmente o sistema abrange o comportamento do painel solar, do sensor e do subsistema eletromecânico, com cada um destes componentes tendo sua modelagem particular apresentada. Para realizar o controle em malha fechada do rastreador, foi utilizado um controlador que, dada a existência de um erro superior a um limiar determinado, utiliza uma lei de controle PI+D para orientar o painel solar. A sintonia do controlador PI+D e a obtenção do limiar de erro foram realizadas por um algoritmo ESS, maximizando uma função objetivo que representa a energia líquida gerada, o qual promoveu uma sintonia com resposta conservadora para o sistema. O rastreador obteve um incremento de 32,58 % na geração, quando comparado com o painel fixo, consumindo menos de 0,011 % da energia gerada, para tanto.

Em trabalhos futuros pretende-se modelar um rastreador de eixo duplo, bem como construir um rastreador em escala, para validar o método de sintonia proposto. É possível, ainda, comparar os resultados obtidos por sintonias baseadas em outras meta-heurísticas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ahmad, S., Shafie, S., and Ab Kadir, M.Z.A. (2012). A high power generation, low power consumption solar tracker. 2012 IEEE Int. Conf. Power Energy, (December), 366–371. doi: 10.1109/PECon.2012.6450239.
- [2] Al-Mohamad, A. (2004). Efficiency improvements of photovoltaic panels using a Sun-tracking system. *Appl. Energy*, 79(3), 345–354.
- [3] Alboteanu, I.L., Bulucea, C.A., and Degeratu, S. (2015). Estimating solar irradiation absorbed by photovoltaic panels with low concentration located in Craiova, Ro-mania. *Sustain.*, 7(3), 2644–2661.
- [4] Alexandru, C. and Pozna, C. (2008). Different tracking strategies for optimizing the energetic efficiency of a photovoltaic system. 2008 IEEE Int. Conf. Autom. Qual. Testing, Robot. AQTR 2008 - THETA 16th Ed. -Proc., 3, 434–439.
- [5] Barsoum, N. (2011). Fabrication of Dual-Axis Solar Tracking Controller Project. *Intell. Control Autom.*, 02(02), 57–68.
- [6] Chin, C.S., Babu, A., and McBride, W. (2011). Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink. *Renew. Energy*, 36(11), 3075–3090.
- [7] De Macedo, M.M., Ponce Saldias, C.E., and Ando Junior, O.H. (2016). Mathematical Modeling of a Solar Tracker System Two Axes for Generation Photovoltaics. *IEEE Lat. Am. Trans.*, 14(9), 4054–4062.
- [8] Dondon, P. and Miron, L. (2014). Modelling and design of a small scale solar tracking system; Application to a green house model. *WSEAS Trans. CIRCUITS Syst.*, 13(1), 454–463.
- [9] Egea, J.A., Balsa-Canto, E., Garcia, M.S.G., and Banga, J.R. (2009). Dynamic Optimization of Nonlinear Processes with an Enhanced Scatter Search Method. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 48(9), 4388–4401.
- [10] Frindt, H. (2009). Analysis of Solar Tracking Systems for Photovoltaic Power Plants Considering Experimental and Computer Modeled Results for Munich, Germany. Analysis of Solar Tracking Systems Considering Experimental and Computer Modeled Results for Munich, Germany.
- [11] Gaing, Z.L. (2004). A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System. *IEEE Trans. Energy Convers.*, 19(2), 384–391.
- [12] Gangwar, S., Madnawat, A., and Bhulania, P. (2017). Prototype of household inverter using dual-axis solar tracker to overcome shortage of energy. 2016 Int. Conf. Inf. Technol. InCITe 2016 - Next Gener. IT Summit Theme - Internet Things Connect your Worlds, 160–165.
- [13] Ghassaei, A., Choi, P., and Whitaker, D. (2009). The Design and Optimization of a Crank-Based Leg Mechanism. *POWERENG*, 168. Glover, F. (1977). Heuristics for integer programming using surrogate constraints. *Decis. Sci.*, 8, 156–166.
- [14] Guo, Y., Cha, J., Liu, W., and Tian, Y. (2010). A system modeling method for optimization of a single axis solar tracker. *ICCCAS 2010 - 2010 Int. Conf. Comput. Appl. Syst. Model. Proc.*, 11(Iccasm), 30–34.
- [15] Johnson-hoyte, D., Rossi, D., Johnson-hoyte, D., and Rossi, D. (2013). Dual-Axis Solar Tracker: Functional Model Realization and Full-Scale Simulations. *Dual-Axis Sol. tracker*, 1–81.
- [16] Juang, J.N. and Radharamanan, R. (2014). Design of a solar tracking system for renewable energy. (ASEEZo. 1), 2014 Zo. 1 Conf. Am. Soc. Eng. Educ., 1–8.
- [17] Kaur, T., Mahajan, S., Verma, S., Priyanka, and Gambhir, J. (2016). Arduino based low cost active dual axis solar tracker. 1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016, 2–6.
- [18] Ma, J., Man, K.L., Ting, T.O., Zhang, N., Guan, S.U., and Wong, P.W. (2013). Approximate single-diode photovoltaic model for efficient I-V characteristics estimation. *Sci. World J.*, 2013.
- [19] Martí, R., Laguna, M., and Glover, F. (2006). Principles of scatter search. *Eur. J. Oper. Res.*, 169(2), 359–372.
- [20] Raag, R. (2012). Estimativa da Distribuição Espectral da Radiação Solar Sobre o Território Brasileiro Através de Análise Multi instrumental. PhD thesis in Mechanical Engineering, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRG.
- [21] Sabir, M.M. and Ali, T. (2016). Optimal PID controller design through swarm intelligence algorithms for sun tracking system. *Appl. Math. Comput.*, 274, 690–699.
- [22] Sarker, M.R.I., Pervez, M.R., and Beg, R.A. (2010). Design, fabrication and experimental study of a novel two-axis sun tracker. *Int. J. Mech. Mech. Eng.*, 10(1), 13–18.
- [23] Srinivas Arun Tej, P., Kalaiarasi, N., and Dash, S.S. (2013). Hardware modelling of automatic solar tracking system. *Int. J. Chem Tech Res.*, 5(2), 1030–1035.

- [24] Stamatescu, I., Stamatescu, G., Arghira, N., Fagarasan, I., and Iliescu, S.S. (2014). Fuzzy decision support system for solar tracking optimization. 2014 Int. Conf. Dev. Appl. Syst., 16–20.
- [25] Villalva, M., Gazoli, J., and Filho, E. (2009). Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. IEEE Trans. Power Electron., 24(5), 1198–1208.
- [26] Wang, J. M. and Lu, C. L. (2013). Design and implementation of a sun tracker with a dual-axis single motor for an optical sensor-based photovoltaic system. Sensors(Switzerland), 13(3), 3157–3168.
- [27] Yao, Y., Hu, Y., Gao, S., Yang, G., and Du, J. (2014). A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies. Renew. Energy, 72, 88–98.

Autores

**ANA CAROLINA DE ASSIS REIS**

Bacharel em Engenharia química pela UNIUBE ( Universidade de Uberaba ) 2017; Técnica em Química pela Escola Técnica Santa Edwiges em Araxá, MG 2008; Pós-Graduação em Engenharia de qualidade com ênfase em gestão pela IPF ( Instituto Brasileiro de formação EAD ) Joinville SC . Experiência de dois anos em laticínios.

**ANTONIO CARLOS BRACONI**

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade Federal de Espírito Santo, em 1965. Especialista em Cálculo Estrutural e Fundações e em Saneamento. Consultor para operações, projetos e execução das obras do sistema de Saneamento (água e esgoto), do Município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, no período de 2001 / 2019. Idem na SANEATINS, Tocantins de 2013/2015. Idem na SAMAE, Blumenau SC, 2011/2012. Idem na CESAN, ES em 2016 Responsável por Engenharia e Consultoria na Construção da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Ilha da Luz, em Cachoeiro de Itapemirim, ES. Capacidade de 4 MW.

**ARIANE SILVA CARDOSO**

Bióloga, Esp. em Gestão Ambiental e Recursos Hídricos, Mestre em Engenharia Ambiental (UFRPE) e em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPE) e, doutoranda em Engenharia Civil - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (UFPE). Desempenhando atividades nas áreas de monitoramento ambiental, qualidade da água e bioindicadores, ecotoxicologia aquática e impactos ambientais em rios e reservatórios.

**CARLA MARIA ABDO VALENTINI**

Graduação em Licenciatura em Ciências / Habilitação em Química pela Universidade Federal de Mato Grosso (1988), mestrado em Física e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Mato Grosso (2004) e doutorado em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso (2009). Professora Titular e orientadora de pesquisa no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), campus Cuiabá-Bela Vista nas áreas de Química e Ciências Ambientais nas modalidades presencial e EAD.

**CLÁUDIA RICARDO DE OLIVEIRA**

Mestre e Doutora em Engenharia Civil na área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco. Geógrafa pela mesma Universidade. Técnica em Saneamento e Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**DANIELE FERREIRA LOPES**

Possui Graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Pampa (2018). Mestranda em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Federal do Pampa (2019). Graduanda em Modelagem Computacional em Ensino, Experimentação e Simulação (MCEES) com ênfase em Análise e Modelagem de Dados Experimentais, Modelagem Computacional em Ciência dos Materiais e Modelagem e Simulação de Processos Tecnológicos pela Universidade Federal do Pampa (2019).

**EDER PAULUS MORAES GUERRA**

Engenheiro civil pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias pela Universidade de São Paulo, Mestre em Computação pela Universidade Estadual do Ceará – UECE, Doutorando em Ciências Empresariais pela Universidade de Ciências

Empresariais de Buenos Aires – UCES, Professor Efetivo e atualmente Coordenador do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú em Sobral-Ce.

### **ÉRIKA ALVES TAVARES MARQUES**

Pesquisadora do Grupo de Gestão Ambiental no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFPE. Tutora da Universidade Aberta do Brasil. Mestre em Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco. Especialista em Gestão e Controle Ambiental pela Universidade de Pernambuco. Bióloga pela Universidade Federal de Pernambuco.

### **FERNANDA SILVEIRA CARVALHO DE SOUZA**

Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Mato Grosso (2008), Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade de Cuiabá (2009), Bacharel em Direito pela Universidade Federal de Mato Grosso (2015) e Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso (2017). Atua como Professora Efetiva no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso no Campus Cuiabá - Bela Vista, atualmente, com exercício provisório no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília no Campus Estrutural. Tem experiência na área Ambiental, sendo esta sua principal área de atuação, lecionando disciplinas tais como: Recuperação de Áreas Degradadas, Educação Ambiental, Uso e Conservação do Solo, Gestão e Auditoria Ambiental, para o Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental e Curso Técnico de Meio Ambiente Integrado ao Ensino Médio.

### **GEORGIOS JOANNIS NINOS NETO**

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (PPGEAS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bacharel em Engenharia Física com ênfase em Automação e Controle pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Seu trabalho envolve Projetos em Energia Solar Fotovoltaica e Sistemas de Automação com Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA). Trabalha atualmente na pesquisa de Técnicas de Coordenação para Sistemas de Transporte Inteligentes.

### **GERSON FERREIRA DA SILVA**

Profissional da área de mineração, com sólida experiência na lavra e beneficiamento de Rocha Ornamental e Argila Bentonita. Acompanhamento de processos junto aos órgãos fiscalizadores (DNPM, CREA E SUDEMA). Tendo vivenciado nas empresas FUJI S/A MÁRMORE E GRANITO e BENTONIT UNIÃO NORDESTE S/A. Possui especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, Mestrado em Engenharia de Minas na área de Tratamentos de Minérios (Cominuição), e atualmente doutorando na UFRGS.

### **JANYEID KARLA CASTRO SOUSA**

Possui graduação em Química Bacharelado pela Universidade Federal do Maranhão (2002), graduação em Química Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (2002), mestrado em Química Analítica pela Universidade Federal do Maranhão (2005) e doutorado em Química pela Universidade Federal da Paraíba (2009). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Analítica, atuando principalmente nos seguintes temas: meio ambiente, metais pesados, absorção atômica, forno de grafite, combustíveis, planejamento experimental.

### **JOSÉ DIOGO FORTE DE OLIVEIRA LUNA**

Professor do Instituto Federal de Rondônia, na Coordenação de Engenharia de Controle e Automação do Campus Porto Velho Calama, é graduado em Engenharia Elétrica pela UNIR (2015),

especialista em Automação Industrial (UCAM, 2016) e em Sistemas de Telecomunicações (ESAB, 2017), mestre em Engenharia de Automação e Sistemas pela UFSC (2019). É revisor da Revista Principia e tem como interesses Controle Automático, Controle Preditivo Baseado em Modelo, Microrredes e Energias Renováveis.

### **JOSÉ RICARDO PÉREZ-CORREA**

received the BSc and MSc degrees in Chemical Engineering in 1982 from the Faculty of Mathematics and Physical Sciences of the University of Chile. In 1987 he was awarded the Diploma of the Imperial College and a PhD degree from the University of London, both in Chemical Engineering. In 1991, Prof. Pérez-Correa took an appointment as Assistant Professor at the Chemical and Bioprocess Engineering Department of the Catholic University of Chile. Then he was appointed Full Professor in 2011. Professor Pérez-Correa research interests include extraction and purification of natural products, as well as optimization of chemical processes and bioprocesses. He held visiting positions at Imperial College (1989) in London, Carnegie Mellon University (2001-2002) in Pittsburgh (USA), Universitat Rovira i Virgili (2009) in Tarragona (Spain) and Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis (Brazil). Prof Pérez-Correa received the Hutchison Medal from IChemE (UK) in 2015. He has published over 100 ISI papers and more than 30 book chapters. He has supervised 6 postdoc researchers, 10 PhD students and 22 MSc students.

### **JOSÉ ROBERTO DELALIBERA FINZER**

Possui graduação em Curso de Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (1973), mestrado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1984) e doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é professor do Curso de Graduação em Engenharia Química: Universidade de Uberaba-UNIUBE e Coordenador do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Química.

### **JOSÉ SILVAN BATISTA MOTA JÚNIOR**

Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bacharel em Engenharia Física com ênfase em Automação e Controle pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Apresenta interesses em projetos em Energia Solar Fotovoltaica, Controle Avançado, Controle Preditivo Baseado em Modelo (MPC) e Otimização em Tempo Real (RTO).

### **JUDITH FERREIRA CAMPOS**

Aluna da graduação em Engenharia de Produção na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

### **JÚLIO CÉSAR FURTADO FILHO**

Possui graduação em: Bacharelado Em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2010) e graduação em: Engenharia Civil pelo Centro Universitário Maurício de Nassau - UNINASSAU (2020). Pós-Graduado em: MBA em Gerenciamento De Obras, Qualidade E Desempenho Da Construção, pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG (2019) e Pós-Graduando em: Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia, pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG (2021). Atualmente é professor de Matemática do Instituto de Educação KUMON. Tem experiência com gestão e gerenciamento de obras residenciais de alto padrão e com obras públicas.

**KÁTIA SIMONE TEIXEIRA DA SILVA DE LA SALLES**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1998) e doutorado em Engenharia Química (sub-área: Engenharia de Processos e meio ambiente) pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT), France (2004). Fez estágio pós-doutoral na Universidade Federal de Alagoas e atualmente é professora Adjunto III do Departamento de Tecnologia Química da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Tensoativos, atuando principalmente nos seguintes temas: tensoativos não-iônicos, extração por ponto nuvem, microemulsões clássicas e estabilidade de sistemas coloidais.

**MADSON ALAN ROCHA DE SOUSA**

Professor Assistente I da Universidade do Estado do Pará – UEPA; Tecnologia Agroindustrial ênfase Madeira pela Universidade do Estado do Pará – UEPA; Mestre em Biodiversidade Tropical pela Universidade Federal do Amapá – UNIFAP;

**MAIRA SILVA FERREIRA**

Possui graduação em Química Licenciatura e Bacharelado pela Universidade Federal do Maranhão (2004), mestrado em Química (área de concentração - Analítica) pela Universidade Federal do Maranhão (2006) e doutorado em Química (área de concentração - Físico Química) pela Universidade Estadual de Campinas (2011). Atualmente é Professora Adjunta C do Curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Petróleo e Química de Interfaces, atuando principalmente nos seguintes temas: biodiesel, inibição e solubilização de frações pesadas em petróleo.

**MARCELO HEIDEMANN**

Professor no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina, onde coordena o Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2008), mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2011) e doutorado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2015). Supervisiona o Laboratório de Mecânica dos Solos do CTJ. Tem experiência na área de Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: comportamento de solos residuais, ensaios de laboratório e estabilidade de encostas e taludes.

**MARIA APARECIDA FERNANDES ALMEIDA**

Professora do Departamento de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

**MARIA DO CARMO MARTINS SOBRAL**

Graduação em Engenharia Civil na UFPE (1974). Especialização em Saneamento Ambiental na UFPE (1976). Especialização em Planejamento Urbano e Regional na Universidade Dortmund, Alemanha (1986). Mestrado em Engenharia Civil na Universidade de Waterloo, Canadá (1979). Doutorado em Planejamento Ambiental na Universidade Técnica de Berlin, Alemanha (1991) e Pós-Doutorado no Instituto de Tecnologia Ambiental da Universidade Técnica de Berlin (2007). Membro da Academia Pernambucana de Ciências (2018 - atual). Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 das Ciências Ambientais - CNPq. Pos-Doc, Estágio Sênior na Universidade Metropolitana de Oslo, Noruega (2018-2019). Pos-Doc, Estágio Sênior no Instituto de Educação para Água - UNESCO-IHE, Holanda (2015).

### **MARISTELA CASÉ COSTA CUNHA**

Graduação em Bacharelado em Ciências Biológicas pela UFRPE, Mestrado em Botânica pela UFRPE e Doutorado em Oceanografia pela UFPE. Atualmente é professora adjunta e pesquisadora na UNEB, no Departamento de Educação, Campus VIII, Paulo Afonso, lecionando e orientando alunos de graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas, Programas de Pós-Graduação em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental (mestrado e doutorado) e Biologia Vegetal (mestrado). Tem experiência em : 1- Taxonomia de Criptógamos; 2 - Ecologia de Ecossistemas; 3 - Limnologia; 4 - Bioindicadores da qualidade de ambientes aquáticos; 5 - Ecologia Humana e ambientes aquáticos. Atualmente lidera o grupo de pesquisas do Núcleo de Pesquisas em Ecossistemas Aquáticos (NUPEA).

### **MAURO LUIZ BEGNINI**

Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (1992) e em Farmácia Industrial pela Universidade de Uberaba (2008); Mestre em Química, área de concentração Química Orgânica, pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1994) e Doutor em Ciências, concentração em Química Orgânica, pela FFCLRP/USP, Universidade de São Paulo (1999).

### **MOZART ANTONIO RIBEIRO**

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (2016).

### **PAULO DANILO ALBUQUERQUE DE OLIVEIRA**

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará (2016). Pós-Graduando no curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade de Cândido Mendes - UCAM.

### **PAULO ROGÉRIO DE ALMEIDA RIBEIRO**

Professor Adjunto da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Professor do Curso de Graduação em Engenharia da Computação (UFMA). Doutor em Neurociência (Neuroinformática / Neurociência Computacional) pela Universidade de Tübingen (Alemanha) & International Max Planck Research School for Cognitive and Systems Neuroscience (International Max Planck Research School for Neural Information Processing), Mestre em Engenharia Mecatrônica pela Universidade do Minho (Portugal) e Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

### **RICARDO AUGUSTO MORAES ZAQUE**

Possui graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso(2011) e mestrado em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso(2018). Atualmente é Engenheiro do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Atuando principalmente nos seguintes temas: Controle de dosagem, Sulfato de alumínio, Arduino, Inteligência artificial.

### **SABRINA NEVES DA SILVA**

Graduada Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande, FURG (2003), Mestrado (2007) e Doutorado (2013) em Engenharia, pelo Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com período sanduíche no Departamento de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro (UA)-Portugal. Atualmente é Professora Adjunta IV, com vínculo desde 2011, da Universidade Federal do Pampa - Unipampa, Campus Bagé atuando no curso de Engenharia de Energia e no Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPCEM). Tem experiência na área de Engenharia com ênfase em 1) Processos eletroquímicos: Corrosão metálica em solos, concreto e

petróleo; desenvolvimentos de materiais (revestimentos) nanoestruturados anti corrosão; produção de hidrogênio; eletrodos para geração/armazenamento de energia. 2) Ciências térmicas, tecnologia de (bio)combustíveis e combustão.

### **SANDRA DE LIMA**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Lins (1991), especialização em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP (1997), mestrado (2006) e doutorado (2008) em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP, área de concentração Engenharia de Estruturas. Atuou como Professora de Ensino Básico Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT - campus Octayde Jorge da Silva, Cuiabá e, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Natal - Central. Leciona nos cursos: Técnico de Edificações subsequente ao ensino médio e integrado ao ensino médio e nos cursos superiores em Tecnologia de Controle de Obras e Construção de Edifícios. Ministra disciplinas nas áreas de materiais de construção, sistemas construtivos, planejamento e orçamento de obras e geotecnia. Tem 15 anos de experiência na área de Engenharia Civil, onde atuou na construção de obras de pequeno, médio e grande porte. Mantém-se em contato com a construção civil por meio de consultorias na área estrutural, patologia das construções, dosagem de concretos especiais e controle tecnológico de artefatos de cimento. Seu mestrado e doutorado foram desenvolvidos na área de concreto de alto desempenho, dando ênfase à durabilidade das estruturas e análises de manifestações patológicas na construção civil. Atuou como Chefe de Departamento da Área Educacional de Construção Civil do IFMT - campus Cuiabá, por 2 anos e como Diretora de Pesquisa da Pró-Reitoria de Pesquisa do IFMT. Entre os anos de 2011 e 2013 atuou no IFRN, como Professora nos Cursos da Diretoria Acadêmica de Construção Civil e como Coordenadora de Obras de Engenharia no Campus Natal - Central. Participou da implantação do campus Várzea Grande do IFMT, como Chefe de Ensino e desde março de 2015 é Diretora Geral deste campus.

### **THIAGO BOENO PATRICIO LUIZ**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental e mestre em Engenharia Civil, atualmente é discente do curso de Doutorado em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Desenvolve trabalhos de pesquisa na área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na linha de pesquisa de Monitoramento e Modelagem quali-quantitativa dos Recursos Hídricos. Áreas de interesse: Hidrologia, hidrogeologia, hidroquímica, geoestatística, séries temporais, machine learning, geoprocessamento.

### **WENDELL FERREIRA DE LA SALLES**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1998), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2000) e doutorado em Engenharia de Processos e meio ambiente pelo Institut National Polytechnique de Toulouse (2004). Atualmente é professor da Universidade Federal do Maranhão. Atua principalmente nas áreas de Processos Químicos, Tecnologia de Tensoativos e Combustíveis alternativos.

### **WILSON MARQUES SILVA**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás (2002) e mestrado em Engenharia dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Goiás (2007). Atualmente é professor do Instituto Federal de Goiás lecionando para o curso de Engenharia Civil. Professor de Pós Graduação no IPOG e coordenador do curso de Especialização Bim em Gerenciamento de Projetos e Qualidade de Obras da RTG Especialização. Tem experiência em gestão e execução de obras verticais.

