

**tricto
ensu**
Editora

ENGENHARIAS, CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA: PESQUISAS BÁSICAS E APLICADAS

978-65-86283-79-2

Organizadores:

José Genivaldo do Vale Moreira
Rodrigo Otávio Peréa Serrano

2022

José Genivaldo do Vale Moreira

Rodrigo Otávio Peréa Serrano

(Organizadores)

Engenharias, Ciências Exatas e da Terra Pesquisas Básicas e Aplicadas 2

Rio Branco, Acre

Stricto Sensu Editora

CNPJ: 32.249.055/001-26

Prefixos Editorial: ISBN: 80261 – 86283 / DOI: 10.35170

Editora Geral: Profa. Dra. Naila Fernanda Sbsczk Pereira Meneguetti

Editor Científico: Prof. Dr. Dionatas Ulises de Oliveira Meneguetti

Bibliotecária: Tábata Nunes Tavares Bonin – CRB 11/935

Capa: Elaborada por Led Camargo dos Santos (ledcamargo.s@gmail.com)

Avaliação: Foi realizada avaliação por pares, por pareceristas *ad hoc*

Revisão: Realizada pelos autores e organizador

Conselho Editorial

Prof^a. Dr^a. Ageane Mota da Silva (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Acre)

Prof. Dr. Amilton José Freire de Queiroz (Universidade Federal do Acre)

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto (Universidade Federal de Goiás – UFG)

Prof. Dr. Edson da Silva (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri)

Prof^a. Dr^a. Denise Jovê Cesar (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina)

Prof. Dr. Francisco Carlos da Silva (Centro Universitário São Lucas)

Prof. Dr. Humberto Hissashi Takeda (Universidade Federal de Rondônia)

Prof. Msc. Herley da Luz Brasil (Juiz Federal – Acre)

Prof. Dr. Jader de Oliveira (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Araraquara)

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos (Universidade Federal do Piauí – UFPI)

Prof. Dr. Leandro José Ramos (Universidade Federal do Acre – UFAC)

Prof. Dr. Luís Eduardo Maggi (Universidade Federal do Acre – UFAC)

Prof. Msc. Marco Aurélio de Jesus (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia)

Prof^a. Dr^a. Mariluce Paes de Souza (Universidade Federal de Rondônia)

Prof. Dr. Paulo Sérgio Bernarde (Universidade Federal do Acre)

Prof. Dr. Romeu Paulo Martins Silva (Universidade Federal de Goiás)

Prof. Dr. Renato Abreu Lima (Universidade Federal do Amazonas)

Prof. Dr. Rodrigo de Jesus Silva (Universidade Federal Rural da Amazônia)

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

Engenharias, ciências exatas e da terra : pesquisas básicas e aplicadas 2 / José Genivaldo do Vale Moreira, Rodrigo Otávio Peréa Serrano (org). – Rio Branco : Stricto Sensu, 2022.

105 p. : il.

ISBN: 978-65-86283-79-2

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792

1. Engenharia. 2. Ciências exatas. 3. Ciências da terra. I. Moreira, José Genivaldo do Vale. II. Serrano, Rodrigo Otávio Peréa. III. Título.

CDD 22. ed. 620

Bibliotecária Responsável: Tábata Nunes Tavares Bonin / CRB 11-935

O conteúdo dos capítulos do presente livro, correções e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

É permitido o download deste livro e o compartilhamento do mesmo, desde que sejam atribuídos créditos aos autores e a editora, não sendo permitido à alteração em nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.sseditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Composto de 6 capítulos, o livro apresenta uma interessante discussão acerca das Engenharias, Ciências Exatas e da Terra.

Fruto do conhecimento de vários pesquisadores, a obra apresenta temas de ampla abrangência, com contribuições que vão desde um modelo de distribuição de probabilidades até uma discussão sobre o efeito de óleo essencial de *Pinus ellittii*. Destaca-se, também, abordagem sobre bombas de estações elevatórias e diagnóstico da cobertura do sistema de tratamento de esgoto sanitário na cidade de Rio Branco. No mesmo ímpeto, uma comparação da mineração de areia do rio Acre com a do rio Tietê e, finalmente, uma discussão sobre as perdas de potência painéis fotovoltaicos, cujo tema está em voga.

Com isso, espera-se que o material impulse a formulação de novas conjecturas técnico-científicas, munindo diversos profissionais com material de apoio à tomada de decisões, produzindo impactos e benefícios coletivos.

Prof. Genivaldo Moreira

Prof. Rodrigo Peréa

SUMÁRIO

CAPÍTULO. 1.....7

DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DE ARRASTO EM PÁS DE ROTORES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA

Rodrigo Otávio Peréa Serrano (Universidade Federal do Acre)

Anderson Azevedo Mesquita (Universidade Federal de Rondônia)

Jessica Karine Barros Silva (Universidade Federal do Acre)

Carolina de Lima Accorsi Montefusco (Universidade Federal do Acre)

José Genivaldo do Vale Moreira (Universidade Federal do Acre)

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.01

CAPÍTULO. 2.....25

A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DE POISSON: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO O SOFTWARE GEOGEBRA

Emerson de Oliveira Dantas (Instituto Federal de Alagoas)

Ewaldo Eder Carvalho Santana (Universidade Estadual do Maranhão)

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.02

CAPÍTULO. 3.....38

DIAGNÓSTICO DA COBERTURA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DA CIDADE DE RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

Carolina de Lima Accorsi Montefusco (Universidade Federal do Acre)

Daniela Silva Tamwing (Universidade Federal do Acre)

Wilians Montefusco da Cruz (Instituto Federal do Acre)

Osmar José Accorsi (Universidade Federal do Acre)

José Genivaldo do Vale Moreira (Universidade Federal do Acre)

Rodrigo Otávio Peréa Serrano (Universidade Federal do Acre)

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.03

CAPÍTULO. 4.....57

MINERAÇÃO DE AREIA NO RIO ACRE: COMPARAÇÃO DA AREIA DO RIO ACRE COM A AREIA NORMAL DO RIO TIETÊ

Osmar José Accorsi (Universidade Federal do Acre)
Carolina de Lima Accorsi Montefusco (Universidade Federal do Acre)
Wilians Montefusco da Cruz (Instituto Federal do Acre)
Esperidião Fecury Pinheiro de Lima (Universidade Federal do Acre)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.04

CAPÍTULO. 5.....73

EFEITO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Pinus elliottii* E *Rosmarinus officinalis* SOBRE *Lasioderma serricorne* (FABRICIUS, 1792) (COLEOPTERA: ANOBIIDAE)

Eliane Mazorana de Campos (Instituto Federal de Rondônia)
Aline Fonseca Nascimento (Instituto Federal de Rondônia)
Nayara Fonseca do Nascimento (Universidade Federal de Santa Maria)
Lucas Henrique Machado Cardoso (Instituto Federal de Rondônia)
Carol Alves Lima (Instituto Federal de Rondônia)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.05

CAPÍTULO. 6.....83

SOBRE AS PERDAS DE POTÊNCIA EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: UMA ABORDAGEM À LUZ DAS TEORIAS FÍSICAS DOS SEMICONDUTORES

Oberlan da Silva (Instituto Federal de Pernambuco)
Veronica Alves Teixeira (Instituto Federal de Pernambuco)
Matheus Soares Limeira (Universidade Federal de Alagoas)
DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792.06

ORGANIZADORES.....103

ÍNDICE REMISSIVO104

DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS DE ARRASTO EM PÁS DE ROTORES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA

Rodrigo Otávio Peréa Serrano^{1,2}, Anderson Azevedo Mesquita³, Jessica Karine Barros Silva⁴, Carolina de Lima Accorsi Montefusco¹, José Genivaldo do Vale Moreira¹

1. Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Programa Pós-Graduação em Geografia, Porto Velho, Rondônia, Brasil;
4. Universidade Federal do Acre (UFAC), Curso de Graduação em Engenharia Civil, Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

A água, ao passar pelo rotor de um sistema de bombeamento centrifugo, recebe parte da energia cinética gerada pela rotação do mesmo, transformando-a em energia de pressão, fazendo com que ocorra uma elevação da velocidade do fluido, de forma a conseguir superar a pressão que se opõe ao seu deslocamento. Dessa forma, a quantidade de energia a ser fornecida ao fluido que passa por uma bomba é função do trabalho necessário para deslocar o peso do fluido entre duas posições quaisquer. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um conjunto de equações usadas para a determinação das características construtivas de um rotor, bem como as rotinas para estimar as forças de arrasto atuantes nas pás. Para essa análise, foi considerado um sistema com vazão de 1.080 m³/h, rotações de 1.180 rpm e uma altura de elevação de 25 mca, em um rotor de projeto com diâmetro de entrada e saída de 312mm e 408mm, ângulo de entrada e saída de 17,45° e 23° e 7 pás de 6mm de espessura. Verificou-se que as forças em função da velocidade relativa (w) são maiores nas seções 1 e 2, com tendência de diminuição em direção a saída da pá, demonstrando maior importância dessas seções na transferência da energia cinética em energia de pressão a água bombeada.

Palavras-chave: Força de arrasto, Sistema de bombeamento e Deslocamento de fluido.

ABSTRACT

The water, when passing through the impeller of a centrifugal pumping system, receives part of the kinetic energy generated by its rotation, transforming it into pressure energy, causing an increase in the speed of the water, to overcome the pressure that opposes its displacement. Thus, the amount of energy to be supplied to water when passing through a pump is a function of the work required to move the weight of water between any two positions. In this sense, the present work presents a set of equations used to determine the constructive characteristics of an impeller, as well as the routines to estimate the drag forces acting on its blades. For this analysis, a system with a flow rate of 1080 m³/h, a rotation of 1.180 rpm and a lifting height of 25 mca was considered, in a design impeller with an inlet and outlet diameter of 312 mm and 408 mm, inlet and outlet angles. 17.45° and 23° outlet and 7 blades of 6 mm thickness. It was found that the forces as a function of relative speed (w) are higher in sections 1 and 2, with a tendency to decrease towards the blade outlet, showing greater importance of these sections in the transfer of kinetic energy into pressure energy to pumped water.

Keywords: Drag force, Pumping system and Fluid displacement.

1. INTRODUÇÃO

De modo geral, atribui-se o termo bomba a todo equipamento capaz de transferir para um fluido a energia de uma determinada fonte, de modo que esse fluido possa realizar determinado trabalho. Já a estação elevatória é um conjunto de bombas e acessórios, responsáveis pelo trabalho de deslocar um volume de água, por tubulações, de um ponto mais baixo para outro mais alto (SERRANO, 2017).

Um sistema de bombeamento de água apresenta vários componentes, com arranjos direcionados a cada necessidade, mas, em sua maioria, são constituídos de captação, elevatória e adutoras de recalque.

Os sistemas de bombeamento de grandes volumes de água, são normalmente realizados por impulsores centrífugos, dotados de grandes rotores. Esses rotores (Figura 1), descritos de forma simplificada, são um disco giratório dotado de pás, cuja geometria depende do tipo de bomba e do desempenho hidráulico requerido para impulsionar o fluido, podendo ser classificados como rotor fechado, aberto ou semiaberto (BRASIL, 2010; SERRANO, 2017).



Figura 1. Classificação de rotores de bombas centrífugas
Fonte: (BRASIL, 2010).

A água, ao passar pelo rotor, recebe parte da energia cinética gerada pela rotação do mesmo, transformando-a em energia de pressão, fazendo com que ocorra uma elevação da velocidade do fluido, de forma a conseguir superar a pressão que se opõe ao seu deslocamento. Desse modo, ao atingir a boca de saída da bomba, o líquido é capaz de escoar com velocidade razoável, equilibrando a pressão que se opõe ao seu escoamento, conforme o teorema de Bernoulli (BRASIL, 2010; RESENDE, 2014).

Assim que se inicia o movimento rotativo do rotor e do líquido contido em sua voluta, a força centrífuga decorrente desse movimento cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e outra de baixa pressão em sua entrada, induzindo o deslocamento do fluido em direção à saída dos canais formados pelas pás, forçando a saída da água pelo coletor e difusores de fluxo, onde é feita a transformação da maior parte da elevada energia cinética do líquido, em energia de pressão na saída da bomba, em direção à coluna de recalque (Figura 2). Em virtude desse diferencial de pressões no interior da bomba, cria-se um gradiente hidráulico entre a entrada e a saída da bomba, cuja magnitude é função de sua rotação, da geometria do rotor e da carcaça da bomba (BRASIL, 2010; RESENDE, 2014).

Dessa forma, a quantidade de energia a ser fornecida ao fluido ao passar por uma bomba é função do trabalho necessário para deslocar o peso do fluido entre duas posições quaisquer, acrescido das resistências ao longo do percurso a ser percorrido desde sua origem até seu destino (RESENDE, 2104).

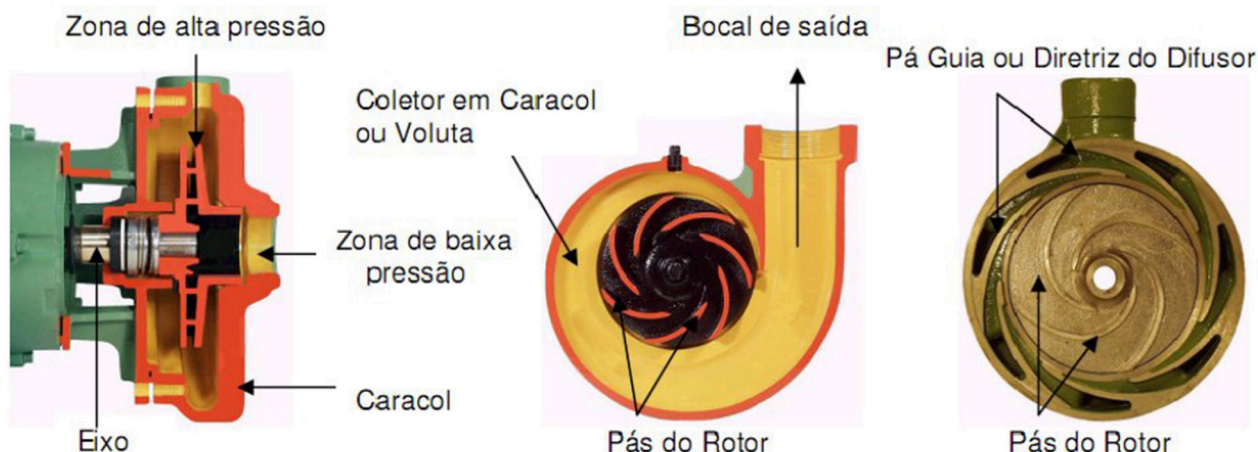


Figura 2. Vista em corte: Bomba centrífuga em voluta caracol.

Fonte: (BRASIL, 2010).

Para trabalhar a melhor eficiência do sistema de bombeamento é fundamental entender as forças atuantes sobre as pás do rotor. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um conjunto de equações usadas para a determinação das características construtivas de um rotor, bem como as rotinas para estimar as forças que irão atuar sobre esse rotor de projeto.

2. MÉTODOS

2.1. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO ROTOR

A determinação das características construtivas do rotor segue a proposta descrita por Palomino (2017), que desenvolveu um algoritmo computacional que correlaciona as principais características de dimensionamento de um rotor de bomba centrífuga, em função da vazão (Q), altura manométrica (H) e a rotação do sistema motobomba (n), ou seja, em função da rotação específica (n_q), dada pela Equação (1).

$$n_q = 3,65 \times \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

O algoritmo desenvolvido por Palomino (2017), leva em consideração a sequência proposta nos capítulos 4; 5; 6; 8; 10; 11 e 12 do livro de Macintyre (2013), permitindo uma rápida determinação de um rotor de projetos conforme sequência apresentada na figura 3 e utilizando as equações de 2 a 28.

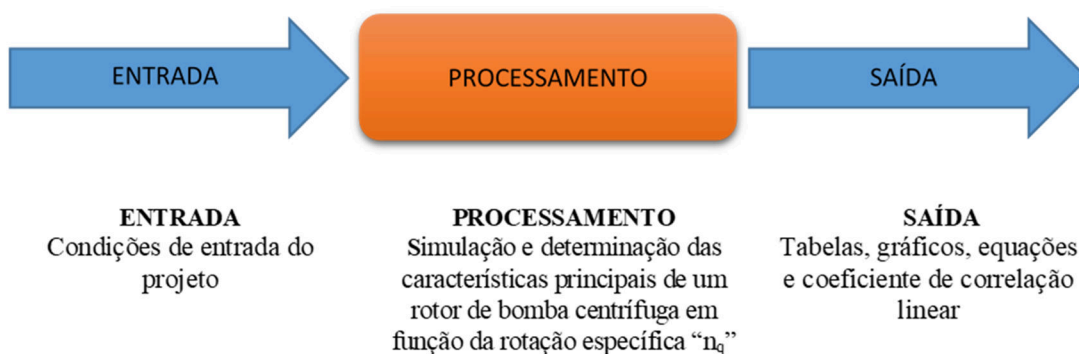


Figura 3. Sequência de processamento do algoritmo.
Fonte: (PALOMINO, 2017)

As equações aplicadas no algoritmo desenvolvido por Palomino (2017), que serão usadas para determinação das características do rotor, podem ser observadas a seguir:

Rendimento hidráulico (ε) [%] $\varepsilon = 1 - \frac{0,8}{\sqrt[4]{Q_{gpm}}} \quad (2)$

Potência motriz (N_{cv}) [CV] $N_{cv} = \frac{1000 Q H}{75 \eta} \quad (3)$

Diâmetro do eixo (dei) [m] $dei = 12 \sqrt[3]{\frac{N_{cv}}{n}} \quad (4)$

Diâmetro do eixo Corrigido (dei_{corr}) [m] $dei_{corr} = 1,15(dei) \quad (5)$

Diâmetro do núcleo (dn) [m] $dn = dei_{corr} + (2 (5 \text{ a } 15 \text{ mm})) \quad (6)$

Velocidade média ($v'1$) na entrada do rotor [m/s] $v'1 = kv'1\sqrt{2gH} \quad (7)$

Diâmetro da boca de entrada do rotor ($d'1$) [m]

$$d'1 = \sqrt{\frac{4Q'}{\pi v'1} + (dn)^2} \quad (8)$$

Velocidade meridional na entrada do rotor (v_{m1}) [m/s]

$$v_{m1} = k_{vm1} \sqrt{2gH} \quad (9)$$

Velocidade periférica no bordo de entrada ($u1$) [m/s]

$$u1 = \frac{\pi d_{m1} n}{60} \quad (10)$$

Ângulo $\beta1$ de inclinação da pá na entrada do rotor [°]

$$\tan \beta1 = \frac{v_{m1}}{u1} \quad (11)$$

Número de pás (Z)

$$Z = 6,5 \left(\frac{d_2 + d_{m1}}{d_2 - d_{m1}} \right) \text{sen} \left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \right) \quad (12)$$

Passo circunferencial entre as pás (t_1) na entrada do rotor [m]

$$t_1 = \frac{\pi d_{m1}}{Z} \quad (13)$$

Obstrução devida à espessura da pá (σ) na entrada do rotor [m]

$$\sigma_1 = \frac{S_1}{\text{sen} \beta_1} \quad (14)$$

Coefficiente de contração ($\gamma1$) [m]

$$\frac{1}{\gamma_1} = \frac{t_1}{t_1 - \sigma_1} \quad (15)$$

Largura (b_1) na entrada da pá considerando σ_1 [m]

$$b_1 = \frac{Q'}{v_{m1} (\pi d_{m1} - Z \sigma_1)} \quad (16)$$

Velocidade periférica na saída (u_2) [m]

$$u_2 = k_{u2} \sqrt{2gH} \quad (17)$$

Diâmetro de saída do rotor (d_2) [m]

$$d_2 = \frac{60 u_2}{\pi n} \quad (18)$$

Altura desejada (H_e) para $\varepsilon = 0,87$

$$H_e = \frac{H}{\varepsilon} \quad (19)$$

Altura de elevação (H'_e), adotando: ψ de 1,1 a 1,2 [m]

$$H'_e = H_e \left(1 + \frac{8}{3} \times \frac{\psi}{Z} \right) \quad (20)$$

Velocidade meridional na saída do rotor (v_{m2}) [m/s]

$$v_{m2} = k_{vm2} \sqrt{2gH} \quad (21)$$

Velocidade periférica na saída do rotor ($u_{2(corr)}$) [m/s]

$$u_{2(corr)} = \frac{v_{m2}}{2 \tan \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{v_{m2}}{2 \tan \beta_2} \right)^2 + gH'_e} \quad (22)$$

Diâmetro retificado de saída do rotor ($d_{2(ret)}$) [m]

$$d_{2(ret)} = \frac{60 u_{2(corr)}}{\pi n} \quad (23)$$

Passo circunferencial entre as pás
(t_2) [m]

$$t_2 = \frac{\pi d_{2(ret)}}{Z} \quad (24)$$

Espessura da pá entrada (S1) e
saída (S2) sendo: $S1 = S2$ [m]

$$\begin{aligned} & 3 \text{ a } 4 \text{ mm se: } d_2 < 30\text{cm}; \text{ ou;} \\ & 5 \text{ a } 7\text{mm se: } 30\text{cm} > d_2 > 50\text{cm} \end{aligned} \quad (25)$$

Obstrução devida à espessura da
pá na saída (σ_2) [m]

$$\sigma_2 = \frac{S_2}{\text{Sen } \beta_2} \quad (26)$$

Coeficiente de contração (γ_2) [m]

$$\gamma_2 = \frac{t_2 - \sigma_2}{t_2} \quad (27)$$

Largura da pá retificada ($b_{2(ret)}$) [m]

$$b_{2(ret)} = \frac{Q'}{\pi d_{2(ret)} v_{m2} \gamma_2} \quad (28)$$

Sendo:

d_{m1} - Diâmetro médio da aresta de entrada do rotor [m];

g - Constante gravitacional [m/s^2];

H - Altura manométrica [m];

H_e - Altura desejada [m];

ku_2 - Coeficiente da velocidade periférica de saída do rotor;

kv'_1 - Coeficiente de velocidade na boca de entrada do rotor;

kv_{m1} - Coeficiente de velocidade da componente meridiana de entrada do rotor;

kv_{m2} - Coeficiente de velocidade de saída do rotor;

n - Rotação do sistema [rpm];

nq - Rotação específica [rpm];

Q - Vazão [m^3/s];

Q' - Vazão de recalque corrigida devido à recirculação [m^3/s];

Q_{gpm} - Vazão em gpm (galões por minuto) [gl/min];

sem - Seno;

tan - Tangente;

t - Tempo de funcionamento da bomba [s];

β_2 - Ângulo de inclinação da pá de saída [$^\circ$];

η - Rendimento;

ψ - coeficiente de correção prático.

Para compreender a dinâmica de movimento de uma bomba centrífuga, se faz necessário compreender os triângulos de velocidade considerados no processo de bombeamento. Carvalho (2010) relata que conhecer essas velocidades é fundamental para qualquer projeto de máquina de fluxo (turbinas hidráulicas, turbinas a gás, ventiladores, compressores rotativos, bombas hidráulicas, entre outros). Já Macintyre (2013) cita que o vetor velocidade “V” do movimento absoluto resulta da composição geométrica dos vetores “U” e “W” representativos das velocidades “u” – de arrastamento (chamada de velocidade periférica ou circunferencial), e “w” – relativa. Observando a figura 4 e adotando letras maiúsculas para os vetores, letras minúsculas para os módulos, notação “1” para entrada e “2” para saída do rotor, tem-se:

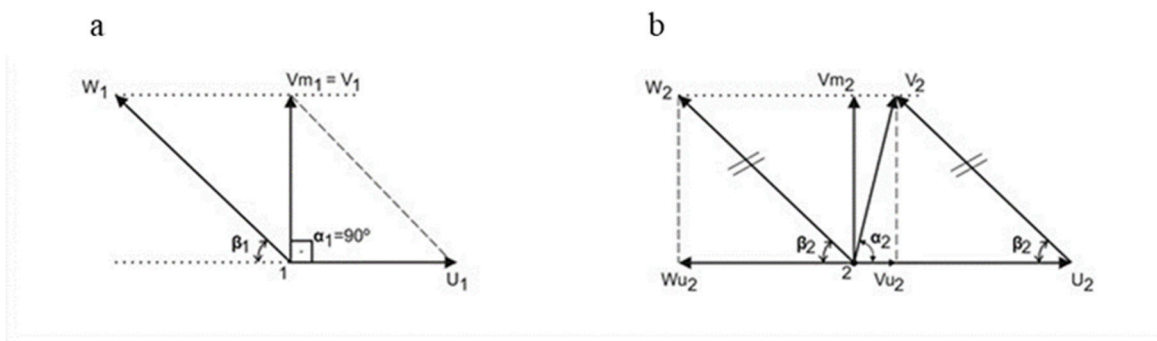


Figura 4. Triângulos de velocidade na entrada (a) e saída (b) da pá de um rotor.
Fonte: (MACINTYRE, 2013)

Sendo:

w - Velocidade relativa (componente de “V” na direção tangente ao perfil da pá);

u - Velocidade tangencial a circunferência do rotor (componente de “U” em uma direção tangente às circunferências de entrada e saída);

α - Ângulo formado pelo vetor velocidade absoluta “V” com o vetor velocidade circunferencial “U”;

β - Ângulo formado pelo vetor velocidade relativa “W” com o prolongamento em sentido oposto ao vetor (“U1”). Os ângulos “ β_1 ” e “ β_2 ” determinam as inclinações da pá na cabeça (entrada) e cauda (saída) respectivamente.

As velocidades “V1” e “V2” poderão ser decompostas segundo duas direções: uma na direção de “U” na entrada e na saída (“vu”) e outra na direção ortogonal de “U” na entrada e na saída (“vm”), conforme observado na figura 5.

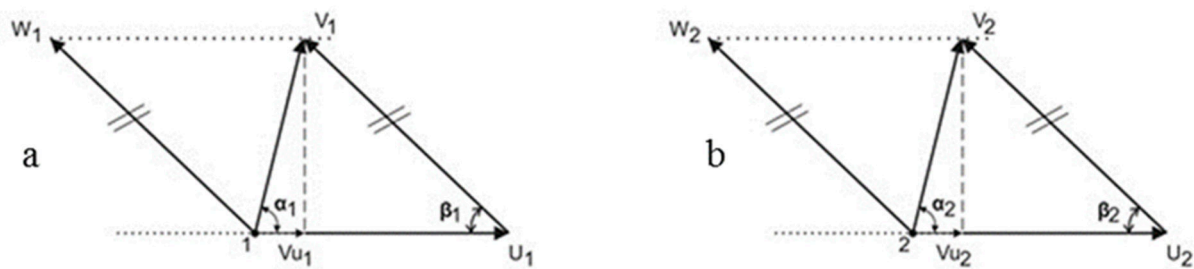


Figura 5. Triângulos de velocidade na entrada (a) e saída (b) da pá de um rotor decomposto.

Fonte: (MACINTYRE, 2013)

Sendo:

vu_1 - Velocidade periférica na entrada da pá. É a projeção de “ v_1 ” segundo a direção de “ u_1 ”. Sendo definida pela expressão: “ $vu_1 = v_1 \cos \alpha_1$ ”, se for considerado que “ $\alpha_1 = 90^\circ$ ”, “ $\cos \alpha_1 = 0$ ”, então, tem-se “ $vu_1 = 0$ ”. A componente periférica “ vu ”, aparece nas expressões da energia cedida pelo rotor ao líquido, se for considerado o “ $\alpha_1 = 90^\circ$ ” o “ vu_1 ” será nulo, isto é, o fluido está entrando no rotor, portanto, ainda não cedeu energia;

vu_2 - Velocidade periférica na saída da pá. É a projeção de “ v_2 ” segundo a direção de “ u_2 ”. Esta velocidade é definida pela expressão: $vu_2 = v_2 \times \cos \alpha_2$. O valor “ α_2 ” é determinado ou arbitrado, isto é, o fluido está saindo do rotor, portanto, está cedendo energia ao fluido que está saindo;

vm_1 - Velocidade meridiana na entrada da pá é a projeção de “ v_1 ” segundo a direção ortogonal a “ u_1 ”;

vm_2 - Velocidade meridiana na saída da pá é a projeção de “ v_2 ” segundo a direção ortogonal a “ u_2 ”. Sendo definida pela expressão: “ $vm_2 = v_2 \sin \alpha_2$ ”. O valor “ α_2 ” é determinado ou arbitrado.

Para uma melhor visualização dos triângulos de velocidade em um rotor a figura 6 ilustra um diagrama de velocidade de uma partícula líquida. Tal visualização é importante para entender a dinâmica das forças atuantes sobre a pá durante o processo de bombeamento.

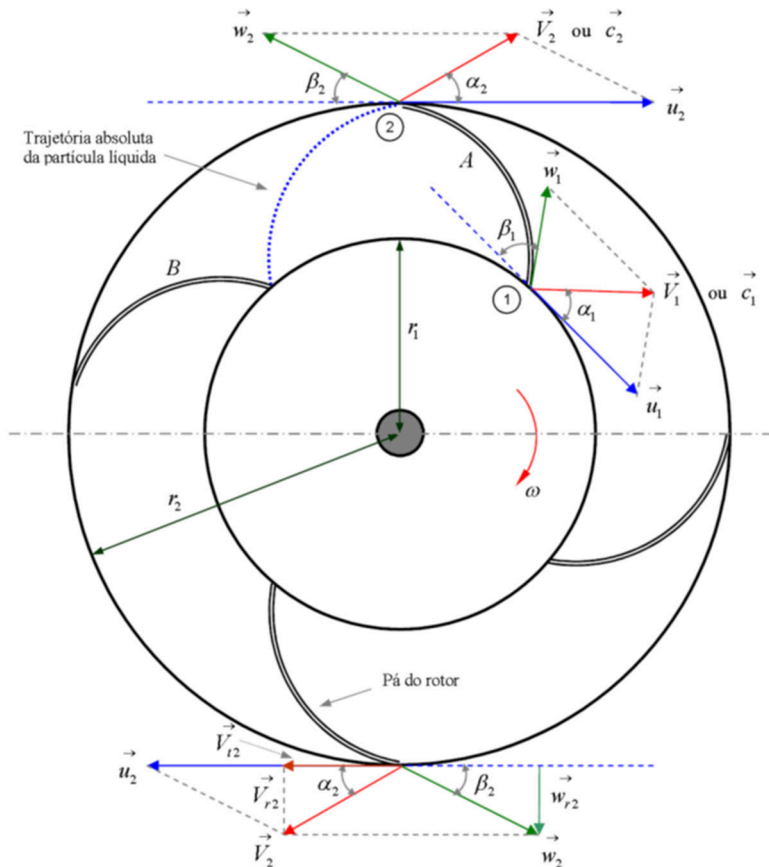


Figura 6. Diagrama de velocidade de uma partícula líquida.
 Fonte: (BRASIL, 2010).

Por fim, esse algoritmo fornecerá as seguintes características construtivas de um rotor (PALOMINO, 2017), cujos dados serão utilizados para o cálculo das forças atuantes nas pás do rotor:

- Rotação da bomba (n), para cada condição de H , na rotação específica (nq) e vazão (Q) constante.
- Velocidade média da boca de entrada do rotor (v_1);
- Diâmetro da boca de entrada do rotor (d_1);
- Diâmetro de saída do rotor (d_2);
- Velocidade meridiana de entrada do rotor (vm_1);
- Velocidade periférica no bordo de entrada do rotor (u_1);
- Velocidade meridiana de saída do rotor (vm_2);
- Velocidade periférica à saída do rotor (u_2);
- Largura de entrada rotor (b_1);
- Largura de saída do rotor (b_2)

2.2. DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS NAS PÁS DO ROTOR

Com base nas características construtivas do rotor, foi determinado o comprimento da pá que, por sua vez, foi dividida em 5 seções para determinação das forças atuantes, que variam da entrada para saída do rotor (Figura 7).

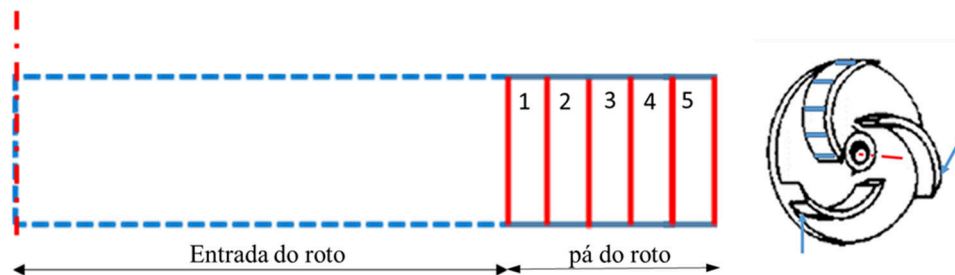


Figura 7. Esquema de divisão das seções estudadas do rotor.

Com base nos campos de velocidade que ocorrem em cada seção do rotor, foram determinadas as forças de arrasto abrasivo que ocorrem na superfície das pás. Segundo Fox (2006), o arrasto é a componente da força sobre um corpo que atua paralelamente à direção do movimento relativo, podendo ser escrita como apresentado na Equação (29).

$$F_D = \frac{Cd \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A}{2} \quad (29)$$

Sendo:

F_D – Força de arrasto

Cd – Coeficiente de arrasto

A – Área [m²]

ρ – Densidade do fluido

V – Velocidade

O coeficiente de arrasto para fluxos paralelos à superfície pode ser obtido pela equação de Schiller de 1933 (Equação 30):

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0,15 (Re^{0,687})) \quad (30)$$

Já o número de Reynolds (Re) é uma relação entre forças de inercia e força viscosa, que pode ser expressa de acordo com a equação (31):

$$Re = \frac{xV\rho}{\mu} \text{ ou } Re = \frac{xV}{\nu} \quad (31)$$

Entretanto, Fox (2006) relata que, se o escoamento for laminar ($Re < 5 \times 10^5$), pode-se usar a Equação (32) para o cálculo do Coeficiente de arrasto:

$$C_D = \frac{1,33}{\sqrt{Re}} \quad (32)$$

Se considerarmos o escoamento turbulento desde o bordo de ataque ($5 \times 10^5 < Re < 10^7$), a Equação (33) é a mais recomendada:

$$C_D = \frac{0,0742}{Re^{(0,2)}} \quad (33)$$

Caso o escoamento seja inicialmente laminar e no decorrer da área de escoamento, passe a ser turbulento, o coeficiente de arrasto turbulento deve ser ajustado para levar em consideração o escoamento laminar no comprimento inicial. Para um “ Re ” na transição de 5×10^5 , o coeficiente de arrasto pode ser calculado fazendo o ajuste na Equação (5.33), ficando como na Equação (34):

$$C_D = \frac{0,0742}{Re^{(0,2)}} - \frac{1740}{Re} \quad (34)$$

Fox (2006), relata também que, em caso de “ $5 \times 10^5 < Re < 10^9$ ”, o mesmo ajuste realizado na Equação (34), poder ser aplicado à Equação (35) empírica dada por Schlichting em 1979, obtendo-se a Equação (36):

$$C_D = \frac{0,455}{(\log Re)^{2,58}} \quad (35)$$

Ficando assim:

$$C_D = \frac{0,455}{(\log Re)^{2,58}} - \frac{1740}{Re} \quad (36)$$

3. RESULTADOS E DISCURSÃO

3.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO ROTOR

Para determinar as características do rotor, foi considerada a necessidade da EEAB da ETA II, que trabalham com bombas com vazão de 1.080 m³/h (300 l/s) impulsionados por um motor elétrico com rotação de 1.180 rpm e uma altura de elevação de 18,11 m. Considerando as perdas decorrente das peças hidráulicas na ordem de 6,54m, optou-se por adotar uma elevação de 25 mca de elevação equivalente. Os resultados podem ser observados na tabela 1 e na figura 8.

Tabela 1. Características construtivas calculadas a partir do algoritmo de Palomino (2017).

Características construtivas do rotor.	
Diâmetro de entrada do rotor (d1)	312 mm
Diâmetro de saída do rotor (d2)	408 mm
Ângulo da pá na entrada do rotor (β_1)	17,45°
Ângulo da pá na saída do rotor (β_2)	23°
Largura da pá na entrada do rotor (b1)	99 mm
Largura da pá na saída do rotor (b2)	63 mm
Espessura das pás	6 mm
Número de pás	7
Velocidade meridional na entrada do rotor (vm1)	4,89 m/s
Velocidade meridional na saída do rotor (vm2)	4,27 m/s
Velocidade periférica na entrada do rotor (u1)	15,57 m/s
Velocidade periférica na saída do roto (u2)	25,18 m/s
Velocidade relativa na entrada do rotor (w1)	16,31 m/s
Velocidade relativa na saída do roto (w2)	10.94 m/s

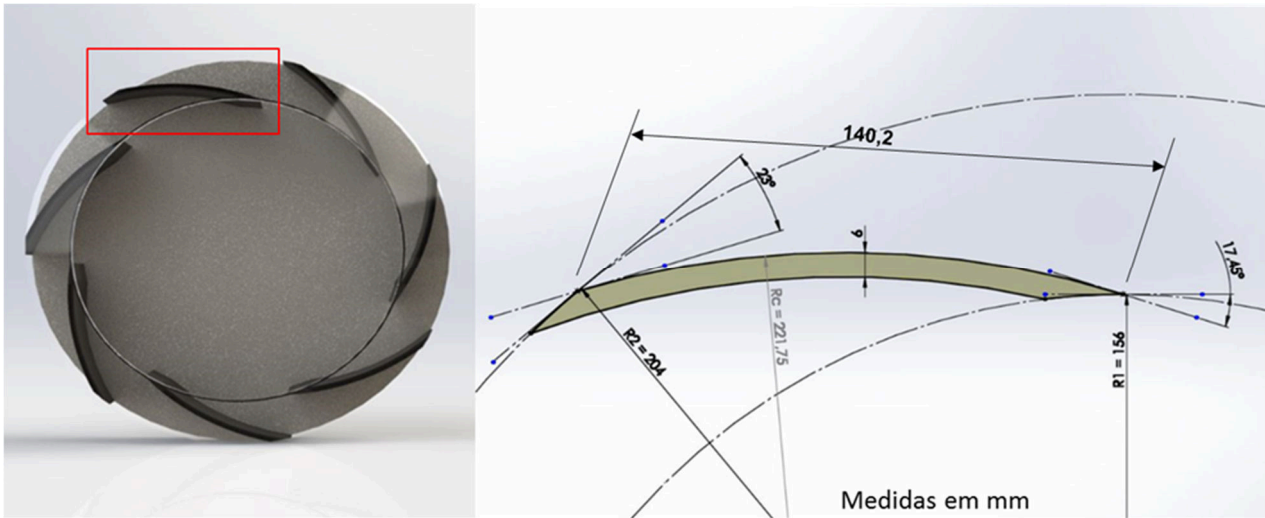


Figura 8. Projeto do rotor com base nas características construtivas geradas pelo algoritmo.

Na figura 9, pode-se observar os vetores de velocidade na entrada e na saída do rotor, de forma ilustrativa, demonstrado como foram determinadas as velocidades relativas na entrada e na saída do rotor.

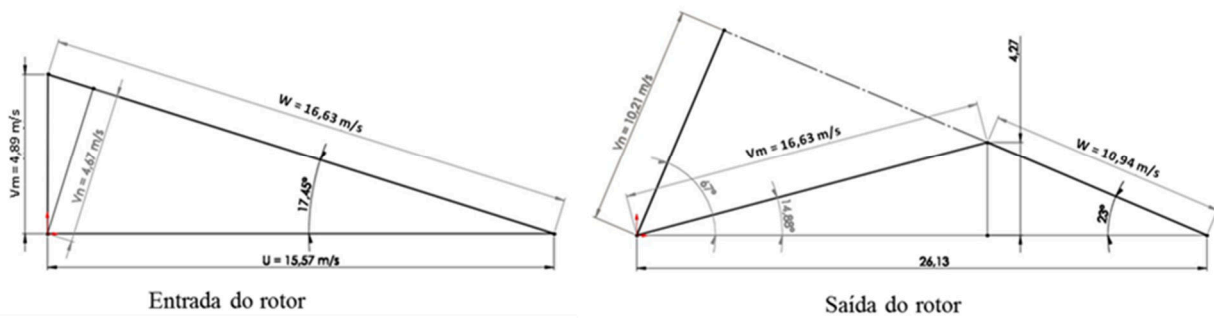


Figura 9. Vetores de velocidade na entrada e na saída do rotor de projeto.

Pode-se observar que a velocidade relativa na saída do rotor é menor que na entrada, o que diminui as perdas por atrito. Isso é possível em razão da área do perfil saída pá do rotor ser maior que o perfil da entrada.

3.2. CAMPOS DE VELOCIDADE DO ROTOR DE REFERÊNCIA

Com as características apresentadas na tabela 1 e do triângulo de velocidade (Figura 9), foram determinadas as velocidades relativas do fluido em relação às pás do rotor. Em seguida foram simuladas 5 condições, onde se manteve a vazão (Q), a rotação específica (nq), para relacionar a rotação (n) da bomba em função da variação da altura elevação (H), mantendo o volume de água bombeado, onde foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 2):

Tabela 2. Variação das velocidades do fluido em função da diminuição da rotação da bomba.

	100%	95%	90%	85%	80%
	1180rpm	1121rpm	1062rpm	1003rpm	944rpm
	25mca	23,60mca	21,10mca	18,10mca	16,60mca
vm1 [m/s]	4,89	4,73	4,56	4,39	4,22
vm2 [m/s]	4,27	4,13	3,98	3,84	3,68
u1 [m/s]	15,57	14,79	14,01	13,23	12,46
u2 [m/s]	25,18	24,34	23,49	22,61	21,72
w1 [m/s]	16,32	15,77	15,21	14,65	14,07
w2 [m/s]	10,94	10,57	10,20	9,82	9,43

Considerando que as velocidades que influenciam a força de arrasto (FD) aplicada sobre uma seção da pá, o gráfico apresentado na figura 10, mostra a variação dessas velocidades em função da variação da rotação (rpm) do rotor da bomba.

Neste caso, pode-se observar que quanto menor for a rotação, menor será a velocidade relativa da água bombeada em relação às pás do rotor, tanto na entrada, quanto na saída.

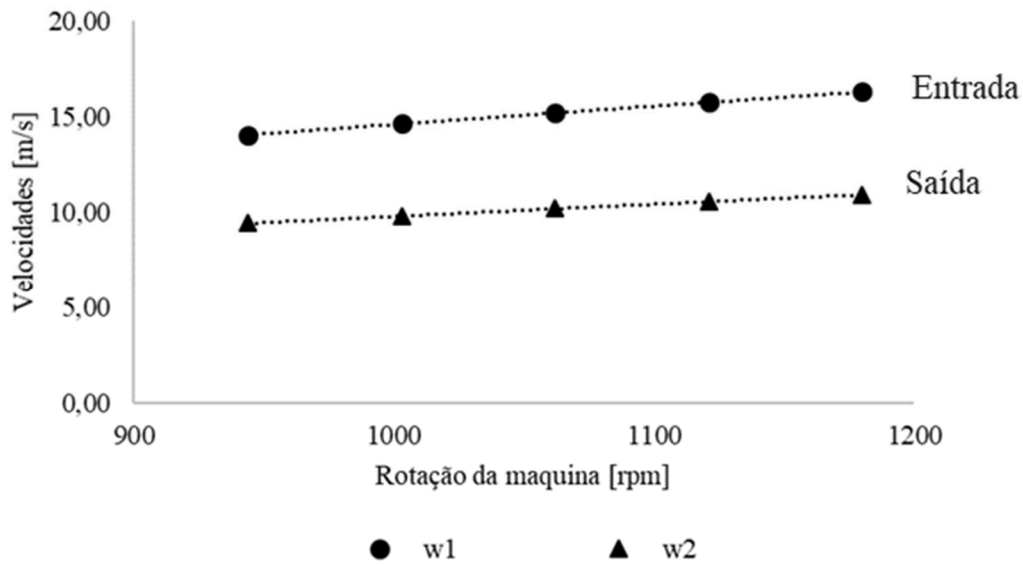


Figura 10. Variação da velocidade relativa (w) em função da variação da rotação da bomba: w_1 entrada e w_2 saída.

3.3. DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS APLICADAS NA PÁ

Considerando as informações encontradas pelo algoritmo de Palomino (2017), apresentados na tabela 2 e na figura 10, determinou-se um perfil de pá de projeto, para determinação da área de atuação das forças de arrasto, responsáveis pela resistência ao movimento centrífugo da bomba (Figura 11).

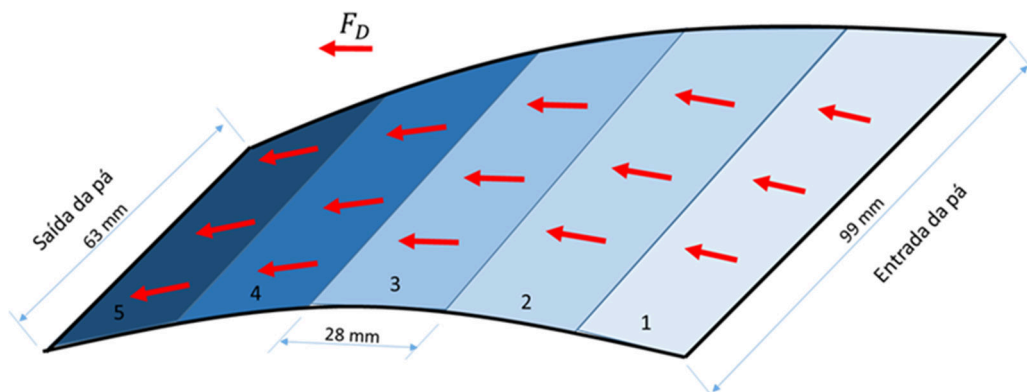


Figura 11. Representação das 5 seções, para estimativa das forças de arrasto.

Conforme ilustrado na figura 12, a F_D varia em função do raio do rotor e de cada seção da pá. Dessa forma, pode-se observar que as forças em função da velocidade relativa (w) são maiores na seção 2, com tendência de diminuição em direção a saída da pá, para as 5 variações de rotação e altura manométrica do sistema, mantendo o volume de água bombeado.

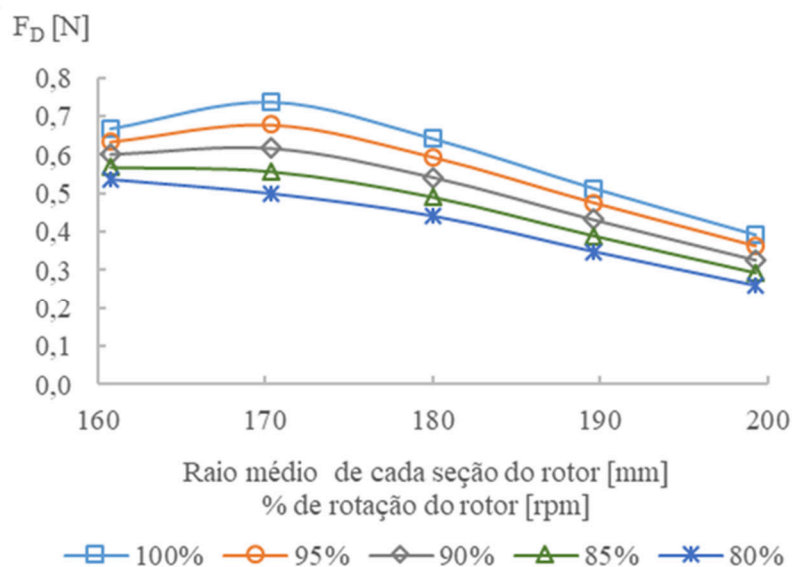


Figura 12. Variação da F_D em função do raio de cada seção do rotor e da variação da rotação de 80% a 100%.

4. CONCLUSÃO

Considerando que o consumo de energia de um sistema de bombeamento de água pode variar em função da rotação do sistema e que, essa rotação pode ser reduzida em função da redução do desnível da elevatória, entende-se que pode ser vantajoso a aplicação de rotações menores, mantendo o volume de água bombeada.

Observou-se que a maior resistência ao movimento do rotor, localiza-se na 1ª e 2ª segunda seção, por serem as regiões responsáveis pela aceleração inicial da água bombeada.

Considerando que a força de atrito está diretamente relacionada com perda de carga, já era esperado que o perfil da pá de projeto levasse em consideração a redução da F_D na

direção do bordo de saída da curvatura da pá, favorecendo o escoamento da água para coletor caracol da saída da bomba.

5. REFERÊNCIAS

BRASIL, A. N. **Teoria Geral das Máquinas de Fluxo**. In: Máquinas Termo hidráulicas de Fluxo, 2010.

CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias – Bombas**. Editora FUMARC – Fundação Mariana Resende Costa, 2010.

FOX, R. W.; MCDONALD, ALAN T.; PRITCHARD, PHILIP J. **Introdução à mecânica de fluidos**. Tradução de Ricardo Nicolau Nassar Koury, Geraldo Augusto Campolina. França. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2006

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2ª Edição. Rio de Janeiro - RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2013.

PALOMINO, A. E. C. **Desenvolvimento de Metodologia para Determinação Dimensional de uma Bomba Centrífuga Utilizando Velocidades Específica**. (Dissertação) Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2017.

RESENDE, M. F. de. **Interferência Provocada pela Infestação de Mexilhões – Dourados (*Limnoperna fortunei*) Sobre Bombas Centrífugas e Seus Impacto em Sistemas de Bombeamento de Água**. (Tese) Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2014.

SERRANO, R. O. P. **Metodologia para avaliação de desgaste abrasivo em pás de rotor de bombas centrífugas de estação elevatória**. (Tese) Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2017.

A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DE POISSON: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO O SOFTWARE GEOGEBRA

Emerson de Oliveira Dantas¹ e Ewaldo Eder Carvalho Santana²

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), Penedo, Alagoas, Brasil;
2. Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), DEMATI – UEMA, São Luís, MA, Brasil.

RESUMO

No tocante ao ensino da Estatística, existem diversas dificuldades no que concerne à aprendizagem de seus conhecimentos, tão logo, a utilização de softwares em sala de aula age como uma ferramenta facilitadora de tal aprendizado, auxiliando o estudante na visualização gráfica da resolução de problemas e até mesmo agilizando cálculos matemáticos complexos, tornando assim mais efetivo o processo de ensino-aprendizagem. Objetivando investigar a eficiência de ferramentas matemáticas no ensino da Estatística, foi escolhido o software GeoGebra em sua versão 6.0.541.0, sendo utilizado no estudo da Distribuição de Probabilidade de Poisson a partir de uma revisão bibliográfica e resolução de problemas propostos pelos autores dos livros: A) Estatística Básica de Wilton de O. Bussab, Pedro A. Morenttin, 8ed, Ano 2013; B) Estatística Aplicada de Ron Larson, Betsy Farber, 6ed, Ano 2015; C) Estatística Aplicada A Todos Os Níveis de Nelson Pereira Castanheira, 5ed, Ano 2010 D) Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências de Jay L. Devore, 9ed, Ano 2018.

Palavras-chave: Aprendizagem, Distribuição de Poisson e GeoGebra.

ABSTRACT

Regarding the teaching of statistics, there are several difficulties regarding the learning of their knowledge, so the use of software in the classroom acts as a facilitating tool for such learning, helping the student in the graphic visualization of problem solving and even speeding up complex mathematical calculations, thus making the teaching-learning process more effective. In order to investigate the efficiency of mathematical tools in the teaching of statistics, the GeoGebra software version 6.0.541.0 was chosen, being used in the study of Poisson Probability Distribution from a literature review and problem solving proposed by the authors of the books: A) Basic Statistics by Wilton de O. Bussab, Pedro A. Morenttin, 8th ed, Year 2013; B) Applied Statistics by Ron Larson, Betsy Farber, 6th ed, Year 2015; C) Statistics Applied To All Levels by Nelson Pereira Castanheira, 5th Ed, Year 2010 D) Probability And Statistics For Engineering And Sciences Jay L. Devore, 9ed, Year 2018.

Keywords: Learning, Poisson Distribution and GeoGebra.

1. INTRODUÇÃO

Uma das habilidades fundamentais para a construção da competência Estatística é a probabilidade. Em 1980, o National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), dos Estados Unidos, apresentou a “Agenda de Ação”, citando a importância do Ensino da Matemática a partir da resolução de problemas. Para Mendoza e Swift (1981), a ideia do Ensino da Estatística e da probabilidade eleva o nível de entendimento da vida em sociedade. Nos dias atuais, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) da Matemática, no Brasil, enfatiza a importância da inclusão já no Ensino Fundamental de elementos de estatística, probabilidade e combinatória, seguindo a mesma ideia de uma demanda social.

No Ensino Médio, espera-se que o aluno consiga consolidar os fundamentos da Matemática construídos no Ensino Fundamental e adquirir uma visão mais ampla da ideia de Probabilidade e Estatística. Já no Ensino Superior, é notória a necessidade da utilização de softwares no processo de ensino-aprendizagem da Estatística. De acordo com Belfort (2002), o software quando manipulado de forma adequada contribui para compreensão de definições, para resolução de problemas e desenvolve o raciocínio lógico dedutivo do aluno. Além do ponto de vista do ensino, pode-se citar a utilização do software nas empresas e nas pesquisas científicas como uma ferramenta facilitadora para extensos cálculos matemáticos, propiciando assim agilidade na tomada de decisões.

No estudo das distribuições de probabilidade, é possível observar o comportamento de tais distribuições a partir de gráficos lineares, parabólicos, exponenciais, trigonométricos, entre outros. Tais gráficos podem ser modelados e visualizados a partir da utilização de softwares matemáticos. Existem distribuições em que seu comportamento contribui com a solução inúmeros casos observados de fenômenos probabilísticos. O presente artigo objetiva descrever um estudo sobre a Distribuição de Probabilidade de Poisson, apresentando a sua definição e caracterização a partir de uma revisão bibliográfica e em seguida, fazendo uma proposta de análise comparativa de suas aplicações na resolução de problemas com a utilização do software matemático geogebra.

2. MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa está dividido em duas partes, sendo a primeira com a perspectiva bibliográfica, estando definido como parâmetro a metodologia qualitativa-

quantitativa com o objetivo de alicerçar este trabalho. O objeto inicial da pesquisa é executar uma revisão sobre a distribuição de probabilidade de Poisson, fundamentada a partir da compreensão e desenvolvimento de autores de livros da área da Estatística. Para efetuar o desenvolvimento de tal estudo, será selecionado os livros didáticos apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Livros didáticos de Estatística utilizados no levantamento

Título da obra	Autor	Editora	Ano	Edição
Estatística Aplicada	Ron Larson, Betsy Farber	Pearson	2015	6º
Estatística Aplicada a todos os níveis	Nelson Pereira Castanheira	IBPEX	2010	5º
Estatística Básica	Wilton de O. Bussab, Pedro A. Morentin	Saraiva	2013	8º
Probabilidade: Aplicações à Estatística	Paul L. Meyer	LTC	2013	2º
Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências	Jay L. Devore	CENGAGE	2018	5º

Após a apresentação dos livros, expõe-se o desenvolvimento do estudo da distribuição de Poisson a partir do ponto de vista dos autores. Em seguida, inicia-se a segunda etapa, quando apresenta-se o software geogebra evidenciando a sua ferramenta chamada calculadora de probabilidades. Por meio desta ferramenta, tem-se uma exposição da análise e resoluções de problemas propostos pelos autores sobre tal distribuição, com o objetivo de propor a sua utilização no estudo do referido tema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DISTRIBUIÇÃO DE POISSON: DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES

A distribuição de probabilidade de Poisson não tem esse nome por acaso. Surgiu a partir de uma investigação e publicação em 1837 sobre a probabilidade de sentenças em

matéria penal e civil, pelo matemático Siméon - Denis Poisson, sendo um importante estudo exploratório sobre probabilidade. A distribuição de Poisson descreve a probabilidade de que um evento aleatório ocorra em um intervalo de tempo ou espaço sob as condições em que a probabilidade de ocorrência do evento é muito pequena, mas o número de tentativas é muito grande para que o evento realmente ocorra algumas vezes. Nesta seção, discorre-se um estudo sobre a distribuição de Poisson a partir dos livros já citados na metodologia.

3.1.1 Definição e Caracterização da Distribuição de Poisson

Buscando apresentar a variável aleatória X com comportamento associado a uma distribuição de Poisson, baseia-se a sua definição estruturada na exposição por Devore (2018, p.124).

Definição. Uma variável aleatória X tem distribuição de Poisson com parâmetro μ , com $\mu > 0$, se a função massa de probabilidade (f.m.p) de X for:

$$f(x) = P(X = x) = p(x; \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}, x = 1, 2, 3, \dots$$

Larson e Faber (2015, p.179) caracterizam uma distribuição discreta de probabilidade como uma lista de valores possíveis que a variável aleatória pode assumir, com sua respectiva probabilidade. Uma distribuição de probabilidade discreta deve satisfazer às seguintes condições:

- 1) A probabilidade de cada valor da variável aleatória discreta está entre 0 e 1, inclusive;
- 2) A soma de todas as probabilidades é 1. A partir das condições de caracterização, verifica-se Poisson como uma distribuição de probabilidade: Se $p(x; \mu)$ é uma f.m.p, então:

$$\sum_{x=0}^{\infty} P(X = x) = 1, \text{ ou seja, } \sum_{x=0}^{\infty} \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = e^{-\mu} \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \frac{\mu^x}{x!} = e^{-\mu} \cdot \mu^x = 1$$

3.1.2 Distribuição de Poisson e Suas Propriedades

Após verificada a distribuição de Poisson como uma f.m.p, é de fundamental importância analisar as suas propriedades fundamentais, uma vez que em sua função e é a base do logaritmo neperiano e que μ ($\mu \neq 0$) é o parâmetro de Poisson, o qual corresponde ao valor esperado de X , como descrito por Devore (2018,p.127) no teorema e demonstrado abaixo.

Teorema 3.1.2.1 Se X tiver distribuição de Poisson com parâmetro μ , então $E[x] = V(X) = \mu$.

Demonstração:

$$E[x] = \sum_{x=0}^{\infty} x \cdot \frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!} = e^{-\mu} \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \frac{x \cdot \mu^x}{x!} = \mu \cdot e^{-\mu} \cdot \sum_{x=1}^{\infty} \frac{\mu^{x-1}}{(x-1)!} = \mu$$

Tem-se ainda que o parâmetro da distribuição de Poisson é igual a sua variância, ou seja, $V(X) = \mu$, como demonstrado por Meyer (2017, p.187):

Seja $E(x^2) = \sum_{x=0}^{\infty} \frac{x^2 \cdot e^{-\mu} \cdot \mu^x}{x!} = \sum_{x=0}^{\infty} \frac{x \cdot e^{-\mu} \cdot \mu^x}{(x-1)!}$, fazendo $s = k - 1$, obtém-se:

$$E(x^2) = \sum_{x=0}^{\infty} (s+1) \cdot \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^{s+1}}{s!} = \mu \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \frac{s \cdot e^{-\mu} \cdot \mu^s}{s!} + \mu \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^s}{s!} = \mu^2 + \mu$$

Consequentemente,

$V(X) = E(X^2) - [E(X)]^2 = \mu^2 + \mu - \mu^2 = \mu$, como queríamos demonstrar. Em suma, numa distribuição de probabilidade de Poisson, tem-se $V(X) = E(X) = \mu$.

Aplicando a distribuição, pode-se resolver problemas estatísticos que envolvem uma série de situações, como a de eventos ocorrerem num certo período de tempo, sendo que estes eventos ocorrem independentemente de quando ocorreu o último evento. De acordo com Bussab e Morettin (2013, p.153), há uma larga empregabilidade da distribuição de

Poisson quando se deseja contar o número de eventos de certo tipo que ocorrem num intervalo de tempo, ou superfície ou volume.

3.1.3 Distribuição de Poisson como uma Aproximação Binomial

Para representar a variável aleatória de Poisson, toma-se como ponto de partida e referência a variável aleatória binomial com parâmetros (n, p) , e observa-se o comportamento da probabilidade binomial $\binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$, no caso em que $n \rightarrow \infty$ e $p \rightarrow 0$ fazendo $n \cdot p$ constante, e denotando $n \cdot p = \mu$. Para tal, tem-se que:

$$\begin{aligned}
 P(X = k) &= \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} = \\
 &= \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

Como foi dito, consideraremos $n \cdot p = \mu$, ou seja, $p = \frac{\mu}{n}$, e $1-p = 1 - \frac{\mu}{n} = \frac{n-\mu}{n}$,

Substituindo em (I), tem-se que:

$$\begin{aligned}
 P(X = k) &= \left[\frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!} \right] \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k} = \\
 &= \left[\frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!} \right] \cdot \left(\frac{\mu}{n}\right)^k \cdot \left(\frac{n-\mu}{n}\right)^{n-k} = \\
 &= \left(\frac{\mu}{n}\right)^k \cdot \left[\frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!} \right] \cdot \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} = \\
 &= \frac{\mu^k}{k!} \cdot \left[\frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-(k-1))}{n^k} \right] \cdot \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} = \\
 &= \frac{\mu^k}{k!} \cdot \left[\binom{n}{k} \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \cdot \left(\frac{n-2}{n}\right) \cdot \dots \cdot \left(\frac{n-(k-1)}{n}\right) \right] \cdot \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} = \\
 &= \frac{\mu^k}{k!} \cdot \left[1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 - \frac{(k-1)}{n}\right) \right] \cdot \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} =
 \end{aligned}$$

Agora faça $n \rightarrow \infty$ de tal modo que $n \cdot p = \mu$ permaneça constante, sendo assim, tem-se que $p \rightarrow 0$, enquanto $n \rightarrow \infty$. Ou seja,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\mu^k}{k!} \cdot \left[1 \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 - \frac{(k-1)}{n}\right) \right] \cdot \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} = \frac{\mu^k}{k!} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k}$$

Sabe-se que da definição do número e ,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^n = e^{-\mu}$$

Com isso,

$$P(X = k) = \frac{\mu^k}{k!} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\mu}{n}\right)^{n-k} = \frac{\mu^k}{k!} \cdot e^{-\mu}$$

Ou seja,

$$P(X = k) = \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^k}{k!}$$

Note que obtém-se a distribuição de Poisson com parâmetro μ , e conclui-se que é uma aproximação da distribuição binomial. Desta forma, pode-se resumir tal resultado a partir do seguinte teorema:

Teorema 3.1.3.1 Seja X uma variável aleatória distribuída binomialmente com parâmetro p (baseado em n repetições de um experimento). Isto é,

$$P(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$$

Admite-se que quando $n \rightarrow \infty$, que $n \cdot p = \mu$ (constante), ou seja, quando $n \rightarrow \infty$, $n \rightarrow 0$ de modo que $n \cdot p \rightarrow \mu$. Nessas condições,

$$P(X = k) = \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^k}{k!}$$

que é a distribuição de Poisson com parâmetro μ .

Após a descrição bibliográfica alicerçada por produções de autores conceituados na área da Estatística e da probabilidade, apresenta-se o software geogebra como uma proposta de recurso tecnológico auxiliar ao estudo da referida distribuição de probabilidade.

3.2. O SOFTWARE GEOGEBRA: A CALCULADORA DE PROBABILIDADE

O geogebra é um software livre matemático com funcionalidades nas áreas da Geometria, Álgebra e Estatística. Desenvolvido como um aplicativo para desktop por Markus Hohenwarter em 2001, na Universidade de Salzburg, alcançou o mundo através dos seus parceiros de desenvolvimento. O aplicativo pode ser utilizado na forma off-line a partir do App store, Google play e Microsoft Store ou online pelo endereço <https://www.geogebra.org/>, além da opção de download para desktop. A versão do geogebra classic utilizada nessa pesquisa foi a 6.0.541.0, atualizada em 31/05/2019, sua visualização foi por meio do desktop e com único interesse na aplicação da distribuição de Poisson a partir da calculadora de probabilidade.

3.2.1. A Calculadora de Probabilidade do GeoGebra como Facilitadora da Aprendizagem da Distribuição de Poisson

O GeoGebra é um software utilizado por diversos professores como suporte tecnológico para visualização geométrica nas aulas de Matemática, pois oferece uma variedade de ferramentas de álgebra e geometria, por meio das suas janelas algébrica(CAS) e geométrica (3D), além de sua planilha de cálculos. A seguir a figura 1 apresenta a interface do software geogebra classic.

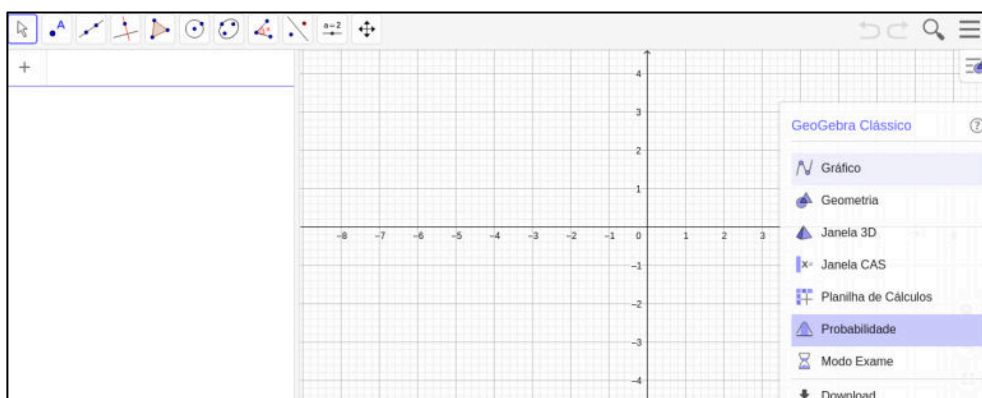


Figura 1. Interface do GeoGebra classic 6.0.541.0.

É possível observar na figura 1 a seguir que além das ferramentas já supracitadas, o geogebra tem uma ferramenta denominada Probabilidade, sendo algumas de suas

funcionalidades os testes t, z, de adequação e qui-quadrado. Ainda é importante citar, que o geogebra também pode ser utilizado para análises estatísticas uni, bi e multivariadas, além de calcular o comportamento e a probabilidade de várias distribuições, como é o caso da de Poisson que é a diretriz deste trabalho.

Com o objetivo de fazer uma análise comparativa com as resoluções utilizando o software geogebra, a seguir expõe-se resoluções de questões propostas pelos autores dos livros didáticos citados na metodologia, além de um problema proposto pelo Instituto de Matemática da UFRJ.

Exercício 1: Uma contagem populacional mostra que o número médio de coelhos, por acre, vivendo em um campo é 3,6. Use uma tabela para encontrar a probabilidade de que sete coelhos sejam encontrados em qualquer acre do campo.

Análise e resolução: Note que a relação populacional do número de coelhos por acre expõe o parâmetro da distribuição de Poisson $\mu = 3,6$ e que a finalidade do exercício 1, proposto por Larson e Faber (2015, p.204-205), é fazer com que o leitor construa a habilidade de analisar a tabela da distribuição de Poisson apresentada na figura 2.

x	μ						
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
0	.0450	.0408	.0369	.0334	.0302	.0273	.0247
1	.1397	.1304	.1217	.1135	.1057	.0984	.0915
2	.2165	.2087	.2008	.1929	.1850	.1771	.1692
3	.2237	.2226	.2209	.2186	.2158	.2125	.2087
4	.1734	.1781	.1823	.1858	.1888	.1912	.1931
5	.1075	.1140	.1203	.1264	.1322	.1377	.1429
6	.0555	.0608	.0662	.0716	.0771	.0826	.0881
7	.0246	.0278	.0312	.0348	.0385	.0425	.0466
8	.0095	.0111	.0129	.0148	.0169	.0191	.0215
9	.0033	.0040	.0047	.0056	.0066	.0076	.0089
10	.0010	.0013	.0016	.0019	.0023	.0028	.0033

Figura 2. Tabela com probabilidades de Poisson
 Fonte: Larson e Faber, 2015

Durante a resolução do Exercício 1, observa-se que este é uma aplicação da distribuição de Poisson e que enunciar a probabilidade de encontrar sete coelhos em qualquer acre do campo, significa analisar $x = 7$, tem-se que para $\mu = 3,6$ a $P(X = 7) = 0,0425$. Então, a probabilidade de que sete coelhos sejam encontrados em qualquer acre é

0,0425. Como 0,0425 é menor que 0,05, o evento pode ser considerado incomum. Na figura 3, está expressada uma proposta de resolução com o recurso computacional geogebra:

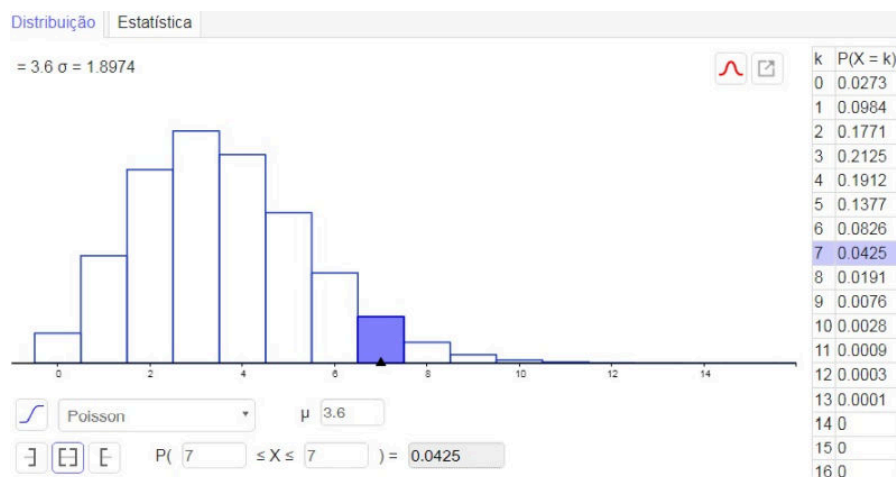


Figura 3. Resolução do Exercício 1 no GeoGebra.

A resolução do exercício 1 no geogebra é obtido selecionando a ferramenta probabilidade apresentada na figura 1 e optando pela distribuição de Poisson como observado na figura 3. É importante citar que a tabela da figura 2 é visualizada no software, tendo as informações preenchendo os espaços reservados para $\mu = 3, 6$ e $X = 7$, resultando em $P(X = 7) = 0, 0425$ como citado na resolução anterior.

Exercício 2: Uma companhia de seguros está considerando a inclusão da cobertura de uma doença relativamente rara na área geral de seguros médicos. A probabilidade de que um indivíduo, selecionado aleatoriamente, venha a contrair a doença é 0,001, sendo que 3000 pessoas estão incluídas no grupo segurado. Sendo assim, qual o número esperado de pessoas, no grupo, que terão a doença? Qual a probabilidade de que nenhuma das 3000 pessoas do grupo contraia a doença?

Resolução: De acordo com Castanheira (2010, p.160-161), a média esperada (número esperado de pessoas que terão a doença) é obtida fazendo $\mu = N \cdot p$. Sabendo disso e aplicando os dados do problema, em que a probabilidade de que um indivíduo selecionado aleatoriamente no grupo de 3000 pessoas seguradas venha a contrair a doença é 0,001, segue que:

$$\mu = 3000 \cdot 0,001 = 3$$

Substituindo $\mu = 3$ na f.m.p que dene a distribuição de Poisson, para efetuar a análise do caso em que $x = 0$, tem-se que

$$P(X = 0 | \mu = 3) = \frac{e^{-3} \cdot 3^0}{0!} = \frac{0,04979 \cdot 1}{1} = 0,04979$$

Determina-se assim que a probabilidade de que nenhuma das 3000 pessoas do grupo contraia a doença é igual a 0, 04979. Fazendo $\mu = 3$ e $x = 0$, verifica-se a seguinte resolução via geogebra:

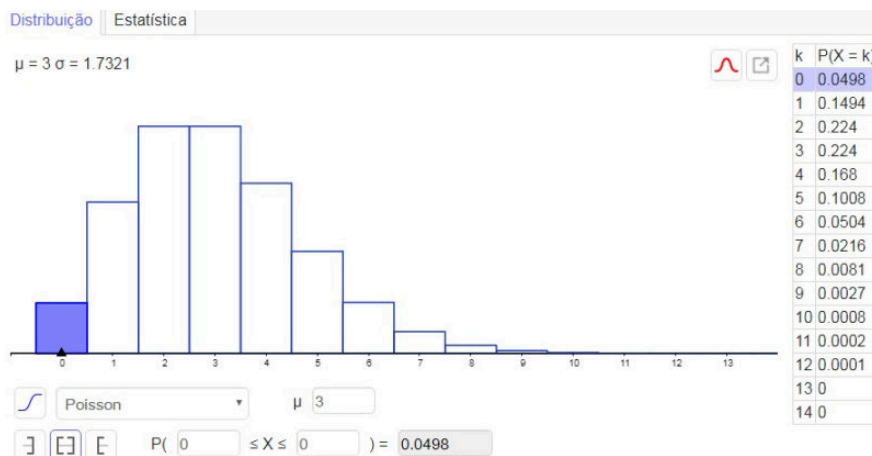


Figura 4. Resolução do Exercício 2 no GeoGebra.

A próxima resolução é de uma aplicação da distribuição de Poisson proposta em um problema elaborado pelo Instituto de Matemática da UFRJ.

Exercício 3: Uma loja de equipamentos de hardware vende em média 2,7 impressoras por dia. Certo dia, ao encerrar o expediente, verifica-se existirem 4 impressoras em estoque, e sabe-se que a nova remessa só chegará depois de 2 dias. Qual a probabilidade de que, no fim desses 2 dias, a loja não tenha deixado de atender, por falta de estoque, às pessoas que vierem comprar? Admita que a demanda por impressoras segue uma distribuição de Poisson.

Resolução: Observe que é dada uma média de venda de 2,7 impressoras por dia, em 2 dias, essa demanda média será de 5,4 impressoras. Então, se X é demanda por

impressoras em 2 dias, pode-se dizer que X segue uma distribuição de Poisson com média $\mu = 5,4$. Então, para que essa demanda seja totalmente atendida é necessário que ela não supere a quantidade de impressoras atualmente em estoque, ou seja, devemos ter $X \leq 4$. Logo,

$$\begin{aligned}
 P(X \leq 4) &= P(X = 0) + P(X = 1) + P(X = 2) + P(X = 3) + P(X = 4) = \\
 &= \frac{e^{-5,4} \cdot 5,4^0}{0!} + \frac{e^{-5,4} \cdot 5,4^1}{1!} + \frac{e^{-5,4} \cdot 5,4^2}{2!} + \frac{e^{-5,4} \cdot 5,4^3}{3!} + \frac{e^{-5,4} \cdot 5,4^4}{4!} = \\
 &= e^{-5,4} \cdot \left(1 + 5,4 + \frac{5,4^2}{2!} + \frac{5,4^3}{3!} + \frac{5,4^4}{4!} \right) = 0,3733
 \end{aligned}$$

Note que tomando $\mu = 5,4$, e calculando via geogebra $P(x \leq 4)$, visualiza-se no gráfico a união das probabilidades com eventos disjuntos e conclui-se que $P(x \leq 4) = 0,3733$, como expresso na figura 5.

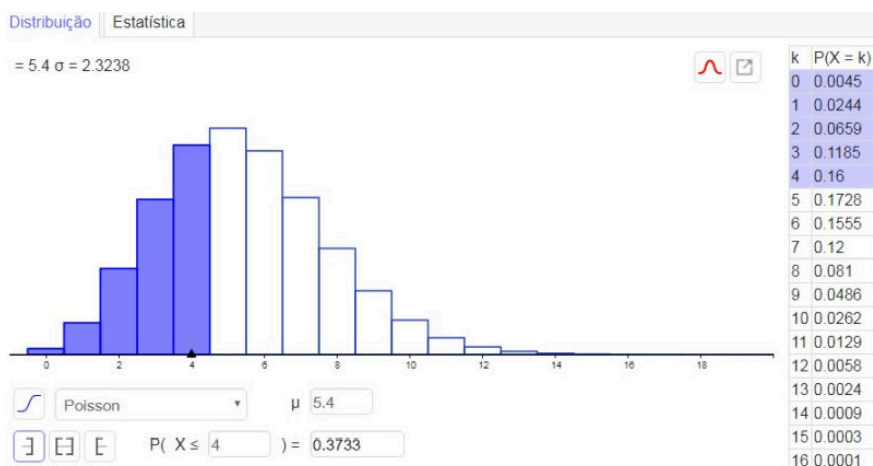


Figura 5. Resolução do Exercício 3 no geogebra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da distribuição de probabilidade de Poisson por meio de uma pesquisa bibliográfica é relevante por valorizar os autores de livros didáticos. Com este artigo evidenciou-se que há uma necessidade de um estudo probabilístico a partir da utilização de

softwares estatísticos matemáticos, com o intuito de contribuir com uma proposta para prática docente e facilitar a visualização do complexo pelo educando. Verificou-se ainda, que os problemas que foram analisados e resolvidos por meio da utilização da calculadora de probabilidade do software geogebra trouxeram agilidade na resolução, além de uma riqueza de informações através da tabela com probabilidades de Poisson e dos gráficos expostos pelo programa. Neste sentido, a utilização softwares em sala de aula é fundamental no processo de ensino-aprendizagem.

5. REFERÊNCIAS

BELFORT, E. **Utilizando o Computador na Capacitação de Professores**. In: CARVALHO, L. M.; GUIMARÃES, L.C. (Org.). História e Tecnologia no Ensino da Matemática. Rio de Janeiro: IME-UERJ, 2002.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares nacionais: Ensino Médio**. Brasília - DF: MEC/SEMTEC, 2006.

BUSSAB, W.O; MORETTIN, P.A. **Estatística Básica**. 8ª ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

CASTANHEIRA, N.P. **Estatística aplicada a todos os níveis**. 4ª ed. Curitiba: IBPEX, 2008.

DEVORE, J.L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**, 5ª ed. Editora Cengage, 2018.

DUARTE, L. R. **A utilização do Software Geogebra no ensino da distribuição normal: Uma aproximação entre a Geometria Dinâmica e a Educação Estatística**. (Dissertação) Mestrado - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FERREIRA, R. C. **Ensinando Matemática com o Geogebra**. Enciclopédia Biosfera. Goiânia. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010b/ensinando.pdf>>. Acesso em: 18/09/2019.

GONÇALVES, P.H.R. **Uma Abordagem Da Distribuição Normal Através Da Resolução De Uma Situação Problema Com A Utilização Do Software Geogebra**. (Dissertação) Mestrado em Matemática - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2014.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 6ª ed. São Paulo: Pearson, 2015.

MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de Probabilidade e Estatística**. 6ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

MENDOZA, L.P.; SWIFT, J. **Why teach statistics and probability: a rationale**. In: SHULTE, A.P.; SMART, J.R. (Ed.). Teaching statistics and probability. Reston: Yearbook National Council of Teachers of Mathematics, 1981.

MEYER, P.M. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

DIAGNÓSTICO DA COBERTURA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DA CIDADE DE RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

Carolina de Lima Accorsi Montefusco¹, Daniela Silva Tamwing¹, Wilians Montefusco da Cruz², Osmar José Accorsi³, José Genivaldo do Vale Moreira¹ e Rodrigo Otávio Peréa Serrano¹

1. Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Universidade Federal do Acre (UFAC), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET), Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

Os investimentos em saneamento básico promovem efeitos na saúde pública, preservação do meio ambiente e geram economia em uma cidade. O objetivo dessa pesquisa foi verificar a cobertura do tratamento de esgoto sanitário na área urbana da capital acreana afim de subsidiar a administração pública para gestão neste âmbito. Para tal, foi consultado o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário de Rio Branco-Acre (PDES), bem como o órgão responsável pela gestão do saneamento local. Além disso, foram realizadas visitas às unidades de tratamento de esgoto da cidade para observações e registros fotográficos. Atualmente, em Rio Branco, há quatro estações de tratamento de esgoto (ETE), sendo elas: São Francisco, Conquista, Cidade do Povo e Redenção. Os resultados permitiram constatar que, atualmente, a capacidade total de tratamento de esgoto das quatro ETEs é de 53,21%, no entanto, apenas 4% está sendo efetivamente tratado, em virtude de apenas a ETE São Francisco encontrar-se parcialmente em operação.

Palavras-chaves: Esgotamento Sanitário, Estação de Tratamento de Esgoto e Saneamento Básico.

ABSTRACT

Investments in basic sanitation promote effects on public health, preservation of the environment and generate savings in a city. The objective of this research was to verify the coverage of sanitary sewage treatment in the urban area of the capital of Acre in order to subsidize the public administration for management in this area. To this end, the Rio Branco-Acre Sanitary Sewage Master Plan (PDES) was consulted, as well as the body responsible for managing local sanitation. In addition, visits were made to the city's sewage treatment units for observations and photographic records. Currently, in Rio Branco, there are four

sewage treatment plants (ETE), namely: São Francisco, Conquista, Cidade do Povo and Redenção. The results showed that, currently, the total sewage treatment capacity of the four ETEs is 53.21%, however, only 4% is being effectively treated, because only the São Francisco ETE is partially in operation.

Keywords: Sanitary Sewage, Sewage Treatment Station and Sanitation.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso necessário em todos os aspectos da vida e ao desenvolvimento das atividades humanas. Os despejos provenientes das diversas modalidades de uso da água dão-se o nome de esgoto, podendo ser ele de origem doméstica, industrial, hospitalar, dentre outros (BRASIL, 2019).

Conforme o Instituto TrataBrasil (2015), entende-se como saneamento básico um conjunto de ações com o intuito de preservar o meio ambiente e com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorando a qualidade de vida da população. No Brasil, é um constitucional, composto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (2020) enfatiza que investimentos em saneamento, principalmente no tratamento de esgotos, diminui a incidência de doenças e internações hospitalares e evita o comprometimento dos recursos hídricos de determinada cidade. Ela ainda assegura que, para cada R\$ 1,00 investido em saneamento, economiza-se R\$ 9,00 em saúde (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2019).

O Brasil, em 2020, possuía índices médios de atendimento da população total, identificados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), de 84,1% para rede pública de abastecimento de água e 55% para coleta de esgotos. Considerando somente a população urbana, os dados evidenciam elevado atendimento pelos serviços de água, com índice médio nacional igual a 93,4%, enquanto que na coleta de esgotos esse índice foi de 63,2%. Já com relação a capacidade de tratamento de esgoto, dos 55,0% que são coletados, apenas 79,8% são tratados (SNIS, 2020).

Por outro lado, conforme SNIS (2020) na região norte tem-se o menor índice de atendimento das populações total e urbana com redes públicas de abastecimento de água de 58,9% e 72,0%, respectivamente. O mesmo ocorre para redes de esgoto, onde registram-se valores de 13,1% para população total e 17,2% para urbana.

Frente a esses índices, o país tem o desafio de aumentar os investimentos para sistema de esgotamento sanitário, através de programas e políticas públicas que visam a implantação de rede coletora de esgoto e unidades de tratamento de esgoto doméstico, a fim de cumprir o que é estabelecido pelo Marco Legal do Saneamento Básico (IPEA, 2020).

No município de Rio Branco, capital do estado do Acre, a situação não é diferente, existe um déficit nos serviços de coleta e tratamento do esgoto, visto que a cidade possui apenas 21,29% de atendimento urbano com rede coletora de esgoto (SNIS, 2020).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo um diagnóstico do tratamento de esgoto na cidade de Rio Branco, a partir de consulta do Plano Diretor e Projeto Básico do Sistema de Esgotamento Sanitário de Rio Branco. O documento é datado do ano 2000, com um horizonte de 20 anos e, por isso, foi possível comparar com as ações executadas. Adicionalmente, serviram de base os processos envolvidos em cada ETE para o tratamento do esgoto gerado na zona urbana da cidade, bem como apresentadas as áreas de abrangência de atendimento desse serviço e sua capacidade de tratamento.

2. MÉTODOS

2.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio Branco, capital do Estado do Acre, está localizado na região Norte do Brasil e possui uma área urbana estimada em 116,81 km², sendo a 63.^a maior cidade do país entre os 5.570 municípios (GEOINFO, 2018). Rio Branco se localiza nas coordenadas 9°58'29" latitude sul e a 67°48'36" longitude oeste, numa altitude de 152,5 metros (HID, 2000). Optou-se por definir a área urbana do município de Rio Branco dada a ausência de informações consolidadas sobre tratamento de esgoto na área rural do município (Figura 1).

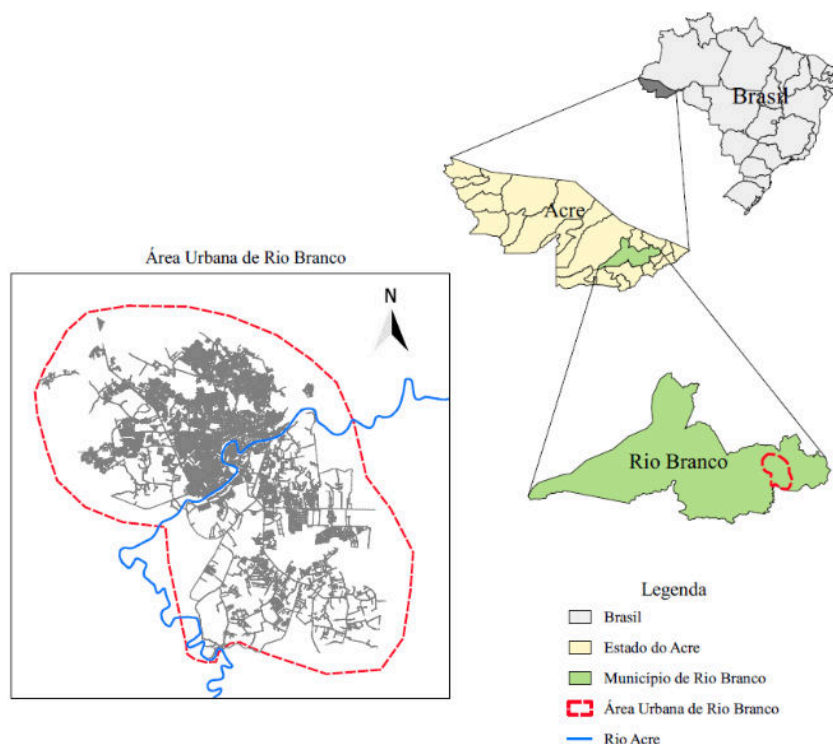


Figura 1. Delimitação da área de estudo no município de Rio Branco (em verde) e a demarcação da área urbana (tracejado em vermelho), de acordo com o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário de Rio Branco (PDES).

2.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento do trabalho foram necessárias ações e procedimentos que podem ser identificados em quatro etapas:

- 1) pesquisas documentais junto ao antigo Departamento Estadual de Água e Saneamento (DEPASA), hoje denominado SANEACRE (Serviço de Água e Esgoto do Acre);
- 2) visitas ao sistema de esgotamento sanitário da cidade de Rio Branco, especialmente nas estações de tratamento de esgoto. A consulta à base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) foi incluída nesta etapa;
- 3) sistematização dos dados;
- 4) análise sob égide de técnicas descritivas.

Para análise da cobertura de tratamento de esgoto, realizada pelas Estações de Tratamento de Esgoto convencionais que a cidade dispõe, foi elaborada uma tabela

compilando os dados de projetos (capacidade da população atendida e vazão) e vazões de entrada de cada ETE disponibilizados e informados pelo DEPASA, bem como a quantidade de habitantes da capital Rio Branco de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), a fim de obter a porcentagem da capacidade de cobertura de tratamento de esgoto e porcentagem efetivamente tratada com ano de referência de 2020.

Referente a avaliação do avanço da implantação do sistema de esgotamento sanitário em Rio Branco-Acre, entre os anos 2001 e 2020, foi elaborado um gráfico com base nos dados da série histórica do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) comparando a informação ES004 – Extensão de rede de esgoto (km) e a ES026 - População urbana atendida com esgotamento sanitário (habitante), no qual pode ser verificado os anos que ocorreram uma crescente do atendimento com esgotamento sanitário e a relação desses indicadores com os investimentos do Estado nesse setor, no período analisado.

Em virtude da configuração topográfica da região, o PDES dividiu a área urbana de Rio Branco em cinco bacias, sendo quatro delas no primeiro distrito: Bacia Redenção (SI–RD), Bacia São Francisco (SI–SF), Bacia Maternidade (SI–MT) e Bacia da Margem esquerda do Rio Acre (SI–AC); e uma no segundo distrito: a Bacia da Margem Direita do Rio Acre (SII–AC). A localização destas bacias está apresentada na figura 2, na qual pode ser observada que a área urbana representa uma pequena parcela do território do município.

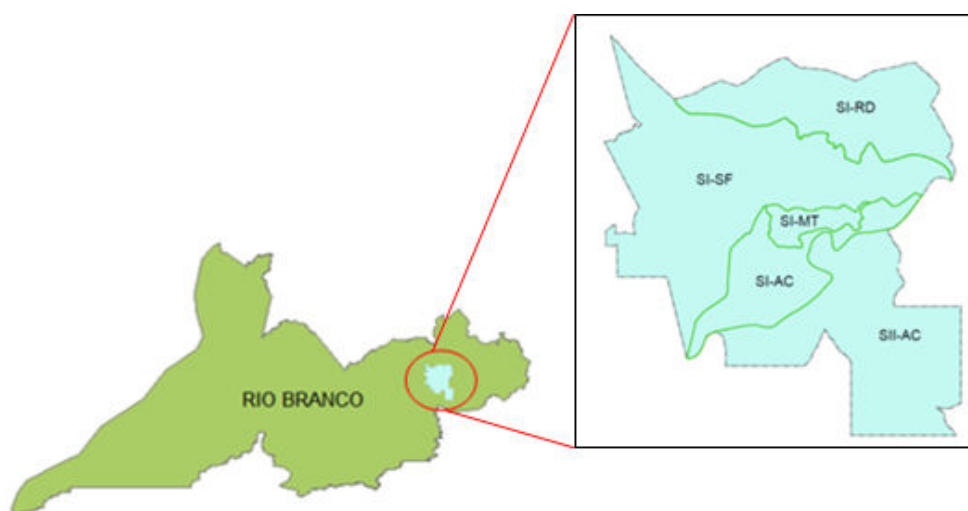


Figura 2. Divisão da área urbana de Rio Branco, Acre, em bacias para cobertura do esgotamento sanitário. Bacia Redenção (SI–RD), Bacia São Francisco (SI–SF), Bacia Maternidade (SI–MT), Bacia da Margem esquerda do Rio Acre (SI–AC) e Bacia da Margem Direita do Rio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às estações de tratamento de esgoto existentes em Rio Branco e que devem atender a zona urbana da cidade, tem-se: ETE São Francisco, ETE Conquista, ETE Cidade do Povo, ETE Redenção e várias ETEs Compactas (Figura 3). As ETEs compactas são unidades de pequeno porte, enquanto as demais constituem unidades de tratamento de médio e grande porte. A seguir é apresentado um diagnóstico atinente às referidas estações.

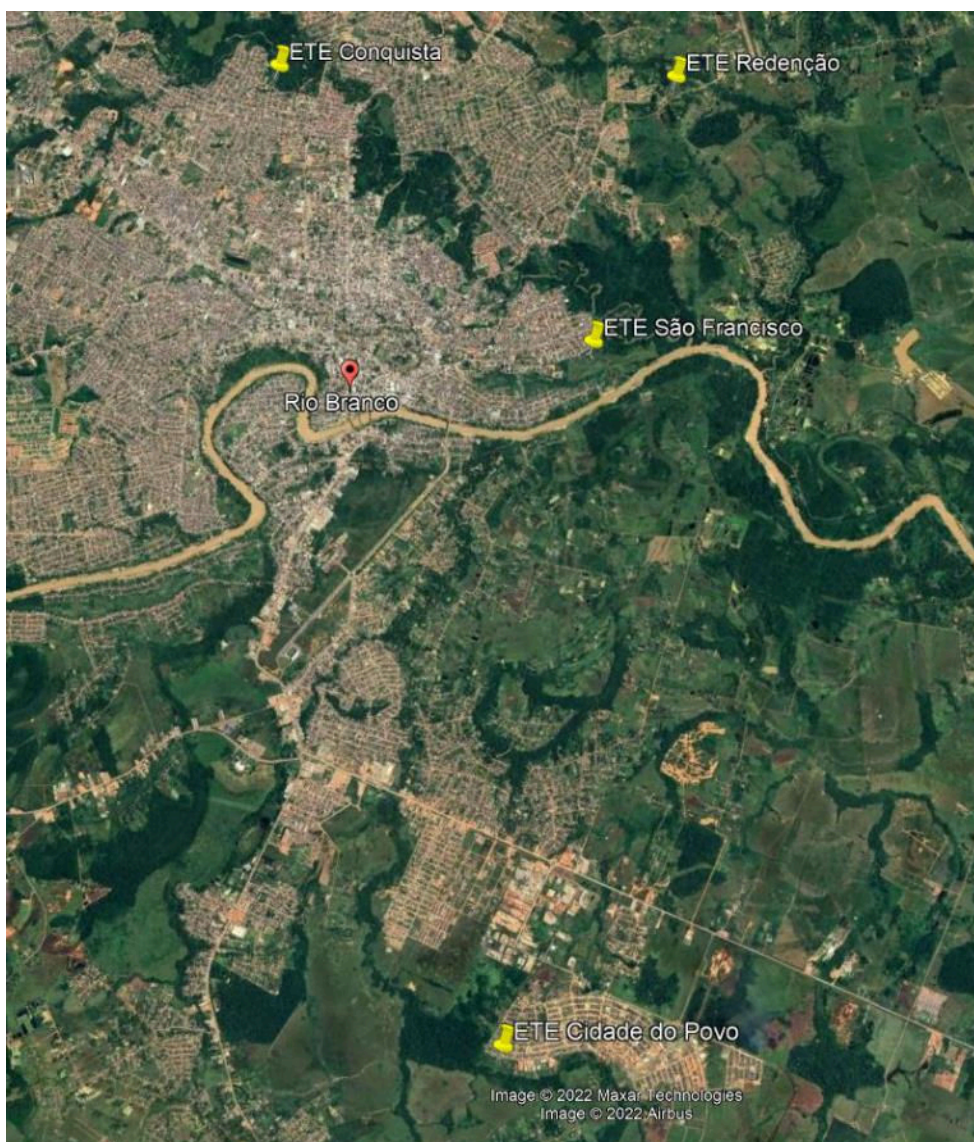


Figura 3. Identificação das quatro Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Rio Branco, Acre.

Fonte: Google Earth (2022) – Adaptado pelos autores (2022).

3.1. ETE SÃO FRANCISCO

A ETE São Francisco ocupa uma área de 20.542,91m² e está localizado na margem esquerda do Rio Acre, no bairro Adalberto Aragão, incluído no primeiro distrito da cidade de Rio Branco. A estação fica próximo da área de preservação permanente do Igarapé Usina, que recebe o efluente tratado.

Os níveis de tratamento presentes nesta estação são: o preliminar, que é realizado pelo gradeamento e caixa de areia; o secundário, constituídos pelo tratamento biológico que ocorre no RAFA, nos biodiscos e no decantador secundário e o nível terciário, que se dá através da desinfecção do esgoto (Figura 4).

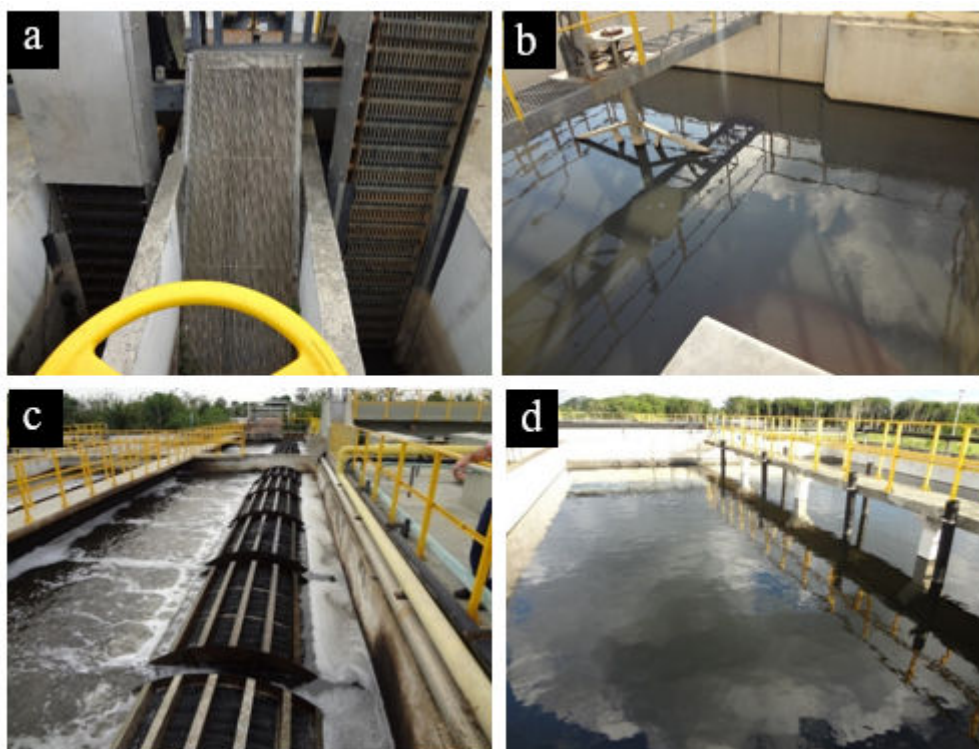


Figura 4. Etapas de funcionamento da ETE-São Francisco em Rio Branco, Acre. (a) Gradeamento fino; (b) Caixa de areia mecanizada; (c) Biodiscos e (d) Decantador secundário.

A concepção do projeto da ETE São Francisco propunha um sistema misto, composto por um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) e um Digestor Aeróbio do tipo Biodisco, denominado Biodrum, conforme indicado na figura 5.

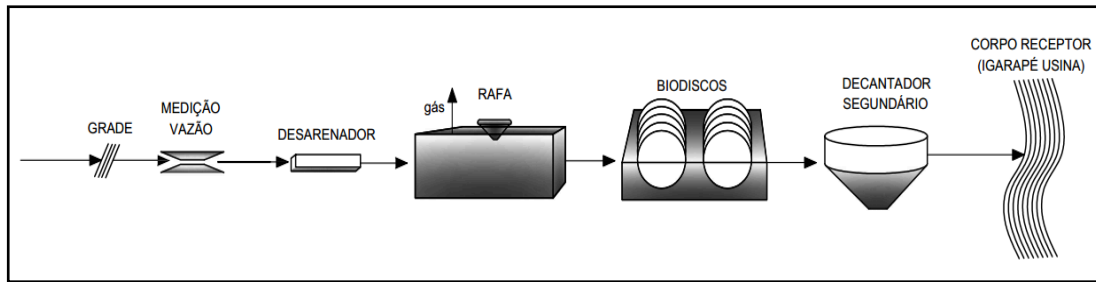


Figura 5. Desenho esquemático da ETE-São Francisco em Rio Branco, Acre.

3.2. ETE CONQUISTA

A ETE Conquista está localizada na Rua José Magalhães, no bairro Conquista, ao lado do Horto Florestal de Rio Branco.

A ETE Conquista é do tipo Lodo Ativo com Aeração Prolongada, o que representa um processo aeróbio de alto rendimento. Em sua estrutura destacam-se o gradeamento, a caixa de areia, a aeração, a decantação, a recirculação de lodo, a digestão do lodo e o leito de secagem (Figura 6).



Figura 6. Etapas de funcionamento da ETE Conquista em Rio Branco, Acre.
 (a) Gradeamento; (b) Caixa de areia; (c) Tanque de aeração; (d) Decantador; (e) Digestor de lodo e (f) Leito de secagem.

A figura 7 apresenta o desenho esquemático do funcionamento da ETE Conquista.

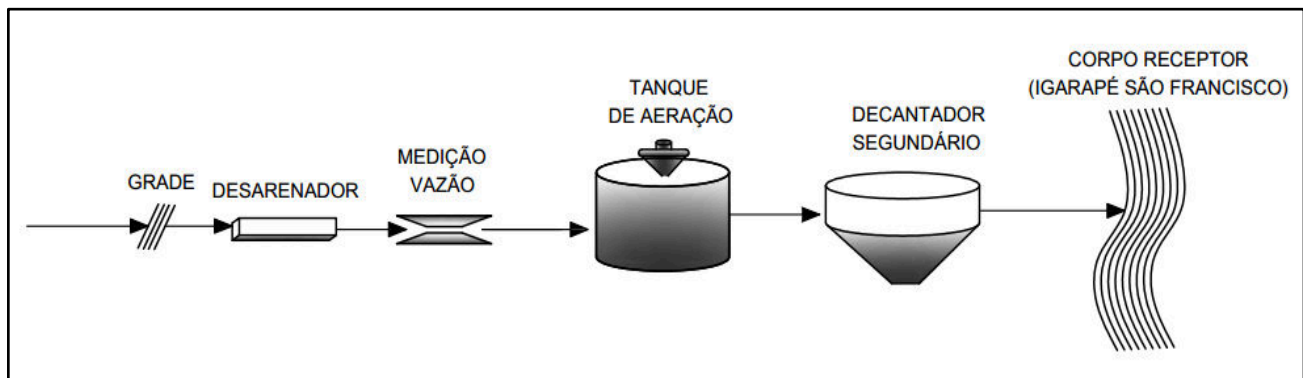


Figura 7. Desenho esquemático da ETE Conquista em Rio Branco, Acre.

É importante destacar que, desde julho de 2020, a ETE Conquista não está em operação, pois o esgoto que deveria ser coletado e transportado para o tratamento não está chegando na ETE, uma vez que as estações elevatórias de esgoto estão depredadas e sem funcionamento.

3.3. ETE CIDADE DO POVO

A ETE Cidade do Povo foi projetada para suprir o esgotamento do bairro inteiro, e encontra-se implantada no bairro que leva o mesmo nome. A primeira fase da ETE Cidade do Povo (CDP), foi implantada para atender 4.000 domicílios, equivalente a uma vazão média de esgotos em torno de 35,91 l/s, mas vale ressaltar que em projeto a mesma tem capacidade de tratamento de 50,0 l/s.

O processo de tratamento utilizado na ETE Cidade do Povo é do tipo anaeróbio, combinado com o tratamento biológico aeróbio, constando das seguintes unidades principais: grade de barras e desarenador, medidor de vazão, RALF e filtro biológico, decantador secundário e dispositivo de lançamento final. As figuras 8 e 9 apresentam as unidades desta ETE.

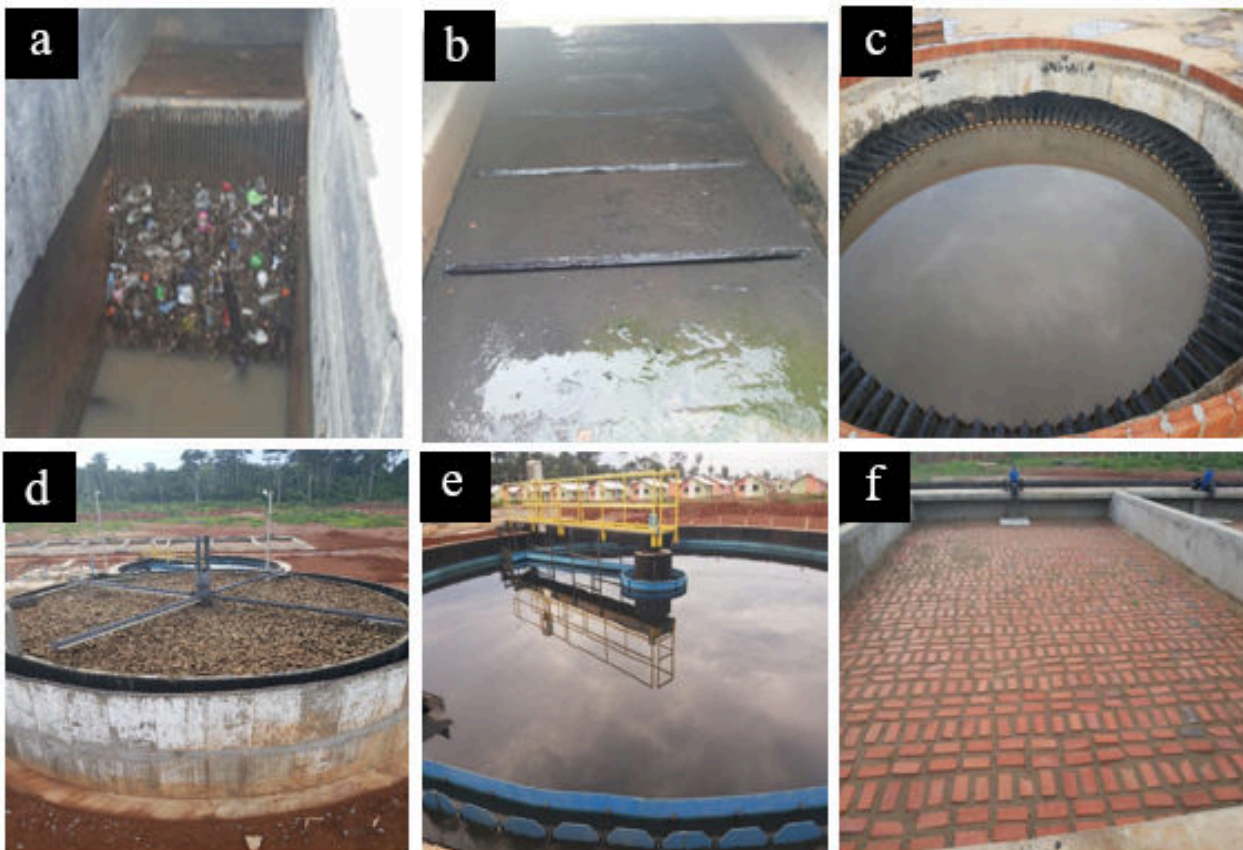


Figura 8. Etapas de funcionamento da ETE Cidade do Povo em Rio Branco, Acre. (a) Gradeamento; (b) Caixa de areia; (c) Câmara divisora de vazão no topo do RALF; (d) Filtro biológico aeróbio de alta taxa; (e) Decantador secundário e (f) Leito de secagem.

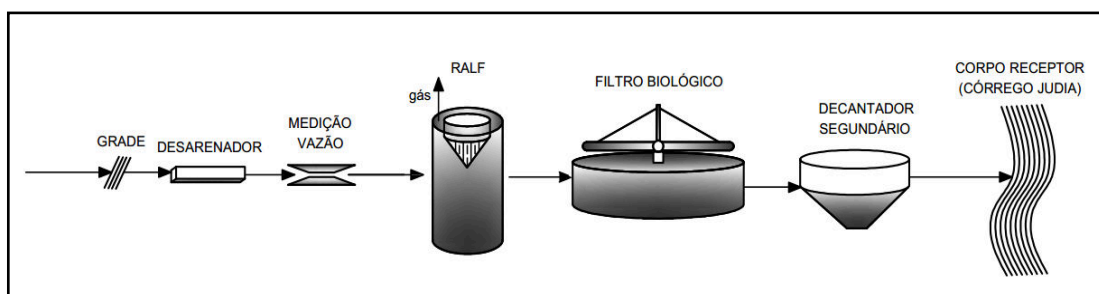


Figura 9. Desenho esquemático da ETE Cidade do Povo em Rio Branco, Acre.

3.4. ETE REDENÇÃO

A ETE Redenção está situada na estrada do Quixadá, no km 01, entrada do Ramal do Limoeiro. Essa ETE recebe os efluentes sanitários da bacia do Igarapé Redenção e parte norte da bacia do Igarapé São Francisco. Tem capacidade de tratamento de 80 l/s e atendimento a aproximadamente 40.000 habitantes. O processo de tratamento da ETE

Redenção é do tipo Anaeróbio, com a utilização do RALF, combinado com o tratamento Biológico Aeróbio, constando das seguintes unidades: grades, desarenador, medidor de vazão, RALF, filtro biológico, decantador secundário e dispositivo de lançamento final. As figuras 10 e 11 apresentam as etapas de funcionamento da ETE Redenção.

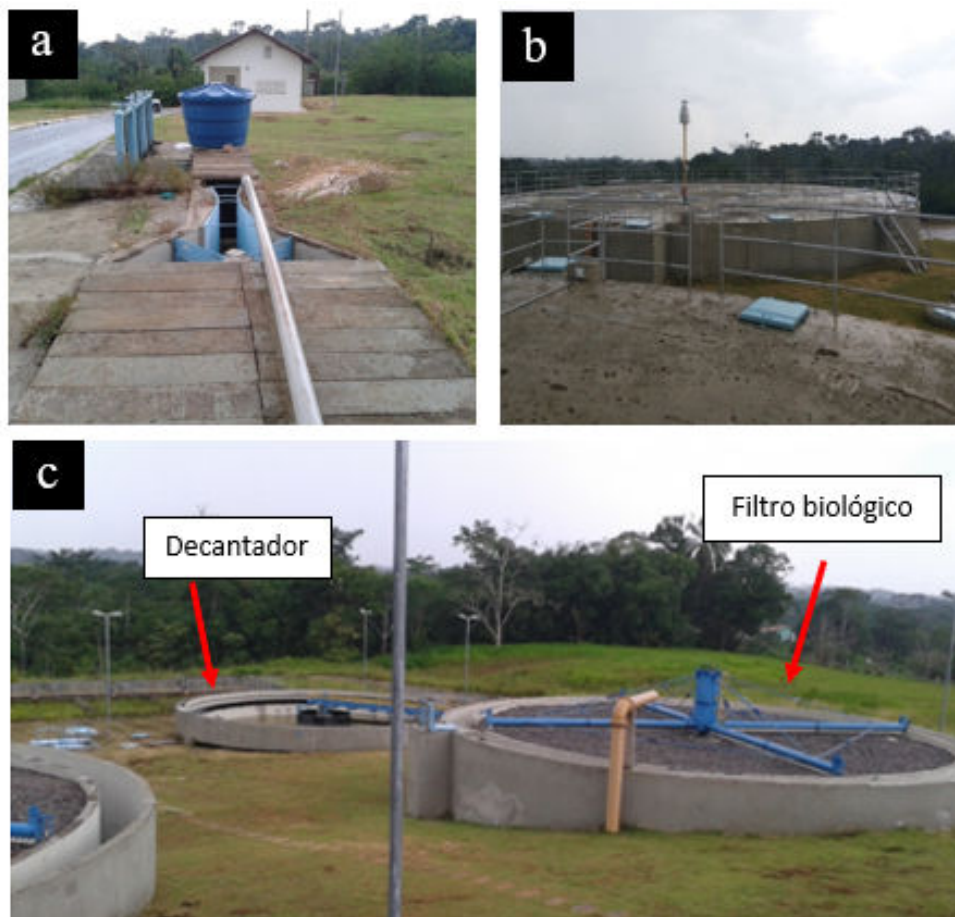


Figura 10. Etapas de funcionamento da ETE-Redenção em Rio Branco, Acre. (a) Gradeamento e desarenador; (b) Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) e (c) Filtro biológico e Decantador secundário.

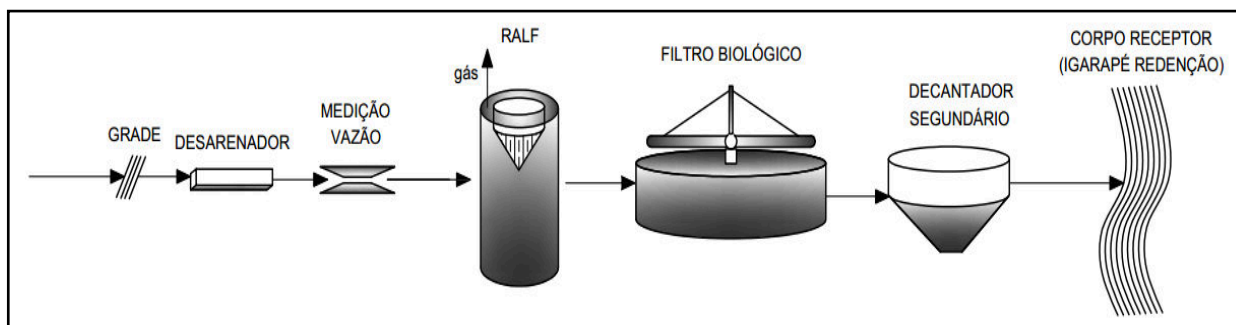


Figura 11. Desenho esquemático da ETE Redenção em Rio Branco, Acre.

3.5. ETES COMPACTAS

Além das quatro ETES principais, responsáveis pelo tratamento do esgoto coletado em Rio Branco, são utilizadas, de maneira auxiliar, as ETES denominadas compactas, que realizam o tratamento *in situ* e em menor escala (Figura 12), no entanto são estações de tratamento com tecnologia semelhante as utilizadas nas de maior escala, através de tanques lacrados e de menores dimensões.

A cidade de Rio Branco dispõe de uma grande quantidade de ETES compactas (Figura 13), em razão do sistema de esgotamento sanitário ainda não estar interligado (Rede → EEE → ETE). Sendo assim muitos bairros e conjuntos habitacionais precisam dar encaminhamento e tratamento ao esgoto produzido, bem como aquele de condomínios particulares instalados no município.



Figura 12. ETE Compacta do Vale do Carandá em Rio Branco, Acre. Sistema que utiliza tratamento biológico: RAFA + Filtro Biológico + Decantador secundário, através de unidades construídas em poliéster reforçado com fibra de vidro.

Em relação a utilização das ETES compactas, existem alguns pontos que precisam ter uma maior atenção para que as mesmas não causem problemas. Para isso deve-se estar claro, que a ETE compacta é uma solução provisória, e que foi projetada nesse propósito, dessa maneira, o ideal é não utilizá-la como uma forma de tratamento permanente. Além disso é um sistema que precisa de manutenção, afim de tratar o esgoto com a eficiência projetada, caso contrário, não funcionará da maneira desejada. Vale ressaltar que exige uma fiscalização, tanto na questão da eficiência, quanto das condições físicas da mesma, visto que tem sido grande o número de roubos e vandalismos nesse tipo de sistema.

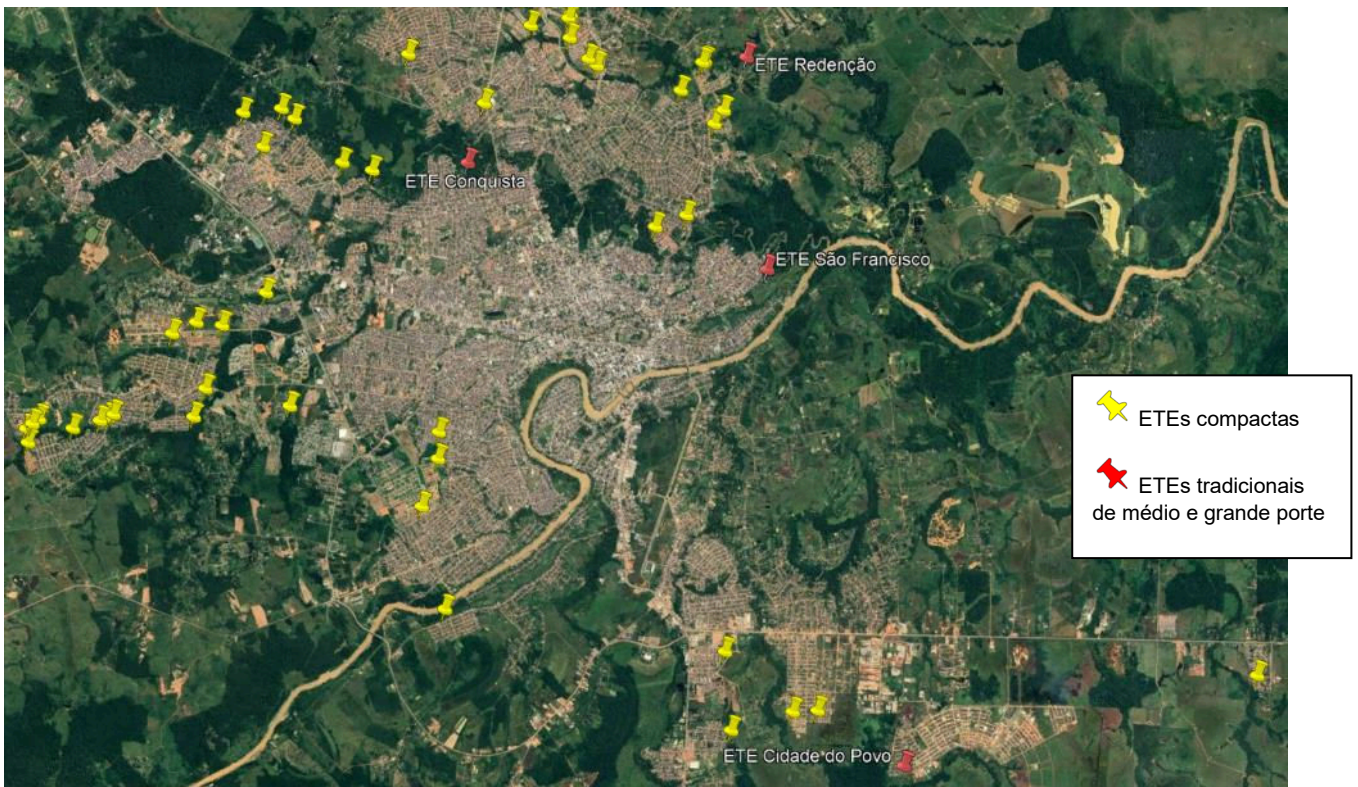


Figura 13. Identificação, em marcadores amarelos, das ETEs compactas presentes em Rio Branco, Acre.

Fonte: Google Earth (2021) - Adaptado pelos autores (2022).

3.6. CAPACIDADE DE ATENDIMENTO COM TRATAMENTO DE ESGOTO

A partir das etapas metodológicas sistematizadas, foi possível obter informações preliminares importantes a respeito do sistema de tratamento de esgoto na Cidade de Rio Branco. Observa-se que não foram contabilizadas as vazões de esgoto referente as estações compactadas pela ausência de informações consolidadas por parte dos entes públicos responsáveis pela operação e manutenção. Além disso, fica evidente que as ETEs Conquista, Cidade do Povo e Redenção não estão em operação e, por isso, apresentam valor nulo para a vazão de entrada média (l/s) (Tabela 1).

O plano diretor de esgotamento sanitário da cidade de Rio Branco (2020) previa uma população, para o ano de 2020, de 488.325 habitantes. Sendo que, de acordo com o plano, seria tratado o esgoto de 70% dessa população, ou seja, 341.828 habitantes. No entanto, conforme dados do IBGE, a população de 2020 foi de 413.418 habitantes, 15,3% menor que a previsão realizada no plano diretor.

As 4 ETEs têm capacidade máxima para tratar 440 l/s de esgoto, o que corresponde ao tratamento para uma população de 220.000 habitantes, cerca de 53,21% da população prevista pelo IBGE. O que foi executado é inferior ao planejado pelo PDES, que era de 70%. A real situação do sistema de tratamento é ainda pior, pois apenas uma ETE está em funcionamento, tratando 17,6 l/s, o que corresponde ao atendimento de, aproximadamente, 8.800 habitantes, refletindo apenas 4,0% de cobertura de tratamento de esgoto (Tabela 1).

Tabela 3. Capacidade das Estações de Tratamento de Esgoto na cidade de Rio Branco, Acre.

Estação de Tratamento de Esgoto	Diretrizes do PDES (projetado para 2020) - Previsão - População Atendida	População de Rio Branco (2020) - IBGE	Capacidade de Tratamento (2021)			Vazão de Entrada Média da ETE (l/s) 2021 (***)	Atual Cobertura de Tratamento (2021)	Corpo Receptor dos Efluentes Tratados
			Habitantes	% de pop.	Vazão (l/s)			
ETE São Francisco (*)	341.828	413.418	125.000	30,2%	250,0	17,6	4,00%	Igarapé Usina
ETE Conquista			30.000	7,3%	60,0	0,0	0,00%	Igarapé São Francisco
ETE Cidade do Povo			25.000	6,0%	50,0	0,0	0,00%	Igarapé Judia
ETE Redenção (**)			40.000	9,7%	80,0	0,0	0,00%	Igarapé Redenção
Total			220.000	53,21%	440,0	17,6	4,00%	

ETE São Francisco (*) - Construídos 4 módulos com capacidade de tratamento de 62,5 l/s cada, no entanto apenas 2 (dois) módulos estão em operação.

ETE Redenção (**) - Encontra-se em fase de pré-operação.

Vazão de Entrada Média da ETE (***) - Dados obtidos no DEPASA.

Nota-se que a vazão média de entrada nas estações de tratamentos de esgoto é pequena em relação à capacidade de tratamento. Isso mostra que o índice de tratamento de esgoto na cidade de Rio Branco tende a crescer conforme ampliação das redes coletoras de esgoto e feitos os devidos encaminhamentos as ETEs.

Relacionando a capacidade de vazão das ETEs com a vazão de entrada, verifica-se que essas estão com uma cobertura de tratamento real de apenas 4% da capacidade, evidenciando a necessidade de investimentos para a implantação das unidades de coleta e transporte do esgoto para o tratamento, uma vez que as ETEs estão subutilizadas.

3.7. INVESTIMENTOS EM SANEAMENTO

De acordo com o Ranking de Saneamento 2022, ano referência 2020, do Instituto Trata Brasil, a capital Rio Branco ocupa a 96ª posição em relação as cidades brasileiras.

Quando comparado com a capital que lidera o ranking, Curitiba, que tem cobertura de 99,98% de atendimento urbano de esgoto, verifica-se que essa cidade apresentou investimento médio anual em saneamento, por habitante, de aproximadamente R\$ 68,68, no ano de 2020, enquanto Rio Branco teve investimento 53% menor, estimado de R\$ 32,30. Isso demonstra a necessidade de maior interesse por parte dos agentes públicos para o saneamento na capital acreana com o intuito de elevar os indicadores de saneamento (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022).

A figura 14 a seguir apresenta um resumo descritivo que, a partir de dados da base do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, confronta a população atendida e a extensão da rede esgoto existente na cidade de Rio Branco.

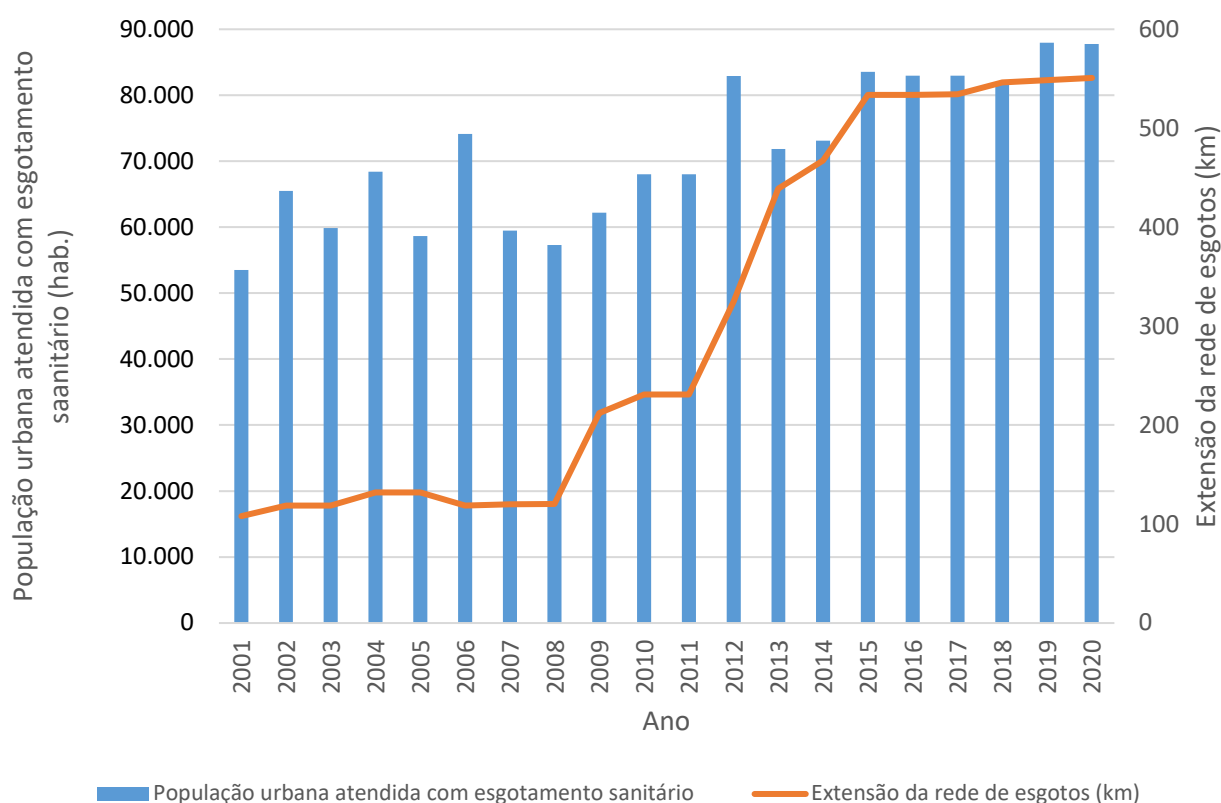


Figura 14. Comparação entre os valores referentes à população urbana com acesso a esgotamento sanitário e extensão da rede de esgotos na cidade de Rio Branco, no período de 2001 a 2020.

O instrumento estatístico permite concluir que a população urbana atendida com esgotamento sanitário aumenta de acordo com o aumento da extensão da rede de esgoto implantada. Pode-se verificar que entre os anos de 2011 e 2015 houve maior inclinação ascendente aos registros no que diz respeito a extensão de rede coletora de esgoto, que pode ter sido motivada pela viabilização de investimentos no âmbito do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), proposto pelo Governo brasileiro (SOUZA; GOMES, 2019).

Neste sentido, Cunha e Borja (2018) também verificaram tendência semelhante em relação ao PAC e os investimentos em saneamento básico quando observados os mesmos dados referentes ao estado da Bahia.

3.8. ASPECTOS PONTUAIS DO PLANO DIRETOR

O PDES do município de Rio Branco, elaborado no ano de 2000, foi projetado para atender um horizonte de 20 anos, sendo a primeira etapa até o ano de 2010 e segunda etapa até o ano de 2020.

No decorrer dos 20 anos após a elaboração do referido plano ocorreram mudanças no cenário da política de esgotamento sanitário da cidade de Rio Branco. Por exemplo, o sistema de tratamento por lagoa facultativa do Conjunto Universitário, bastante conhecido na cidade de Rio Branco, foi desabilitado enquanto o bairro Cidade do Povo possui sua própria estação de tratamento de esgoto, entre outros.

O PDES para Rio Branco não previa a implantação de ETEs compactas, visto que o planejamento para tratamento de esgoto de Rio Branco foi feito com base nas ETEs de maior dimensão. No entanto, nos últimos anos, em virtude do crescimento da cidade e surgimento de muitos loteamentos particulares, foi necessário optar por uma solução provisória para o tratamento do esgoto gerado.

Por outro lado, o PDES previa que os sistemas de tratamento dos esgotos de Rio Branco contariam com quatro polos de tratamento, sendo três para tratar o esgoto do primeiro distrito, constituído pelas ETEs Conquista, Redenção e São Francisco, e uma para tratar o esgoto do segundo distrito, que seria a ETE Judia. O projeto desta última foi extinto em virtude da área onde seria sua implantação ter sido cedida para construção da chamada quarta ponte.

As implantações das ETEs previstas no Plano Diretor deviam alcançar, até o ano de 2020, um índice de atendimento do sistema de esgotamento sanitário de 70% da população

urbana da cidade de Rio Branco. No entanto, ao término desse período planejado, tem-se que apenas uma encontra-se em operação, a ETE São Francisco.

Ressalta-se ainda que a ETE Cidade do Povo, apesar de ter entrado em operação, devido à falta de manutenção, vandalismo e furtos, encontra-se totalmente sucateada e inoperante, causando problemas de poluição do córrego Judia e transtornos sociais.

4. CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi possível constatar inúmeros problemas, desde a gestão do sistema até a interrupção de operação de estações por sucateamento.

Considerando a população da cidade de Rio Branco em 2020, com 413.418 habitantes e, relacionando-se com a capacidade prevista pelas ETES convencionais destacadas neste estudo, verifica-se a capacidade de cobertura de tratamento de aproximadamente 53,21% da população total, inferior aos 70% planejado pelo PDES.

Concluiu-se, ainda, que no ano de 2000, foi elaborado PDES, com vistas ao atendimento num horizonte de 20 anos. Entretanto, das quatro ETES de referência incluídas no referido plano, apenas uma delas encontra-se em operação com capacidade limitada. Com isso, a cobertura de tratamento de esgoto sanitário realizada na atual conjuntura na cidade de Rio Branco são de míseros 4%, representando uma vazão de apenas 17,6 l/s.

Quanto ao PDES para a cidade de Rio Banco, é evidente a necessidade de revisão diante das mudanças ocorridas tanto em relação ao quantitativo populacional quanto nas alterações estruturais da área urbana, a exemplo do amplo conjunto habitacional popular chamado de Cidade do Povo.

Finalmente, em relação às ETES compactas, espera-se que com a interligação do sistema de esgotamento sanitário, composto pelas redes coletoras, estações elevatórias e estações de tratamento, finalmente os esgotos sanitários sejam encaminhados as estações de grande porte e essas compactas se tornem inoperantes, uma vez que são alternativas não definitivas e, portanto, podem ser desativadas, tendo em vista que não atenderam à demanda. Além disso, caminhando para a universalização do saneamento básico, proposto pelo Marco Legal do Saneamento, supõe-se que locais que não possuem rede coletora sejam contemplados e também possam ser tratados nas ETES.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Departamento Estadual de Água e Saneamento do Acre – DEPASA, pela atenção dada nas visitas técnicas e fornecimentos dos dados, que passou a ser denominado de SANEACRE – Serviço de Água e Esgoto do Acre.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** 5ª ed. Brasília: Funasa, 2019.

CUNHA, M. A.; BORJA, P. C. O programa de aceleração do crescimento no estado da Bahia e os desafios da universalização do saneamento básico. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, p. 173-185, 2018.

GEOINFO. **Áreas Urbanas no Brasil. 2018.** Disponível em: <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15>. Acesso em: 16/02/2021.

HID, A. R. **Monitoramento da expansão urbana e ocupação predial às margens do igarapé São Francisco em Rio Branco – Acre.** (Dissertação) Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Rio Branco (AC).** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>>. Acesso em: 20/06/2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ociosidade das Redes de Esgotamento Sanitário no Brasil.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ociosidade/relatorio-completo.pdf/>>. Acesso em: 19/11/2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2022 (SNIS 2020) – 100 maiores cidades do Brasil, 2022.**

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=36559>. Acesso em: 19/11/2020].

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; MARGULIES, B. N. **Ranking do saneamento instituto Trata Brasil 2020.** Instituto Trata Brasil. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2018/realatorio-completo.pdf/>. Acesso em: 25/01/2021.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Agenda 2030 para abastecimento de água, esgotamento sanitário e higiene na América Latina e Caribe: Um olhar a partir dos direitos humanos**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/documents/64971>>. Acesso em: 19/11/2020.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Guías para el saneamiento y la salud** (Guidelines on sanitation and health). Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330097/9789243514703-spa.pdf>>. Acesso em: 19/11/2020.

RIO BRANCO. Prefeitura Municipal de Rio Branco – PRMB. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário: relatórios de acompanhamento RE1 e RE7**. Rio Branco: SAERB, 2000.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgotos (Visão Geral – Ano Referência 2020)**. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 20/06/2022.

SOUZA, A. C. A.; GOMES, J. P. Desafios para o investimento público em saneamento no Brasil. **Saúde Debate**, v. 43, n. 7, p. 36-49, 2019.

MINERAÇÃO DE AREIA NO RIO ACRE: COMPARAÇÃO DA AREIA DO RIO ACRE COM A AREIA NORMAL DO RIO TIETÊ

Osmar José Accorsi¹, Carolina de Lima Accorsi Montefusco², Wilians Montefusco da Cruz³ e Esperidião Fecury Pinheiro de Lima¹

1. Universidade Federal do Acre (UFAC), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET), Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-graduação em Ciências, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, Acre, Brasil;
3. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

A utilização da areia na construção civil vem se intensificando e à medida que a população cresce, aumentando o consumo. O processo de produção no estado do Acre, realizado através da extração direta do leito dos rios pelo processo de dragagem é a única maneira de obtenção de agregado miúdo para uso na construção civil. Nos últimos 30 anos, só em Rio Branco, ocorreu um aumento de mais de 200% no número de dragas para a extração de areia passando de 5 para 15. Os órgãos ambientais e licenciadores locais, não dispõem de um zoneamento que discipline esta atividade mineradora, bem como de áreas de estocagem dos materiais extraídos, portanto, realizadas sem nenhum acompanhamento técnico-profissional. Este trabalho foi realizado ao longo do rio Acre em uma distância de aproximadamente 20 km, no município de Rio Branco, onde foram coletadas amostras de areia, as quais foram caracterizadas em seus parâmetros físicos, principalmente com relação à análise granulométrica das areias, tanto por peneiramento como por sedimentação. Como o material extraído é direcionado imediatamente para uso na construção civil realizou-se uma comparação granulométrica entre as areias do rio Acre com a areia normal do rio Tietê, para sabermos da qualidade do material que é utilizado nas obras de engenharia de Rio Branco. Constatou-se que as areias do rio Acre se apresentavam com granulometrias muito finas, em comparação a areia normal do rio Tietê, sendo necessárias adaptações às normas técnicas de construção civil, para a utilização adequada das areias do rio Acre.

Palavras-Chave: Extração de areia, Análise granulométrica e Areia normal.

ABSTRACT

The use of sand in civil construction has been intensifying and as the population grows, consumption has increased. The production process in the state of Acre, carried out through the direct extraction of the riverbed by the dredging process, is the only way to obtain fine aggregate for use in civil construction. In the last 30 years, in Rio Branco alone, there has been an increase of more than 200% in the number of dredgers for the extraction of sand, from 5 to 15. Environmental agencies and local licensors do not have a zoning that governs

this mining activity, as well as storage areas for the extracted materials, therefore, carried out without any technical-professional monitoring. This work was carried out along the Acre River in a distance of approximately 20 km, in the municipality of Rio Branco, where sand samples were collected, which were characterized in their physical parameters, mainly in relation to the granulometric analysis of the sands, both by sieving as by sedimentation. As the extracted material is immediately directed to use in civil construction, a granulometric comparison was made between the sands of the Acre River with the normal sand of the Tietê River, in order to know the quality of the material that is used in the engineering works of Rio Branco. It was found that the sands of the Acre river presented very fine granulometries, in comparison to the normal sand of the Tietê river, being necessary adaptations to the technical norms of civil construction, for the adequate use of the sands of the Acre river.

Keywords: Extraction of sand; particle size analysis; normal sand.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento das principais cidades da Amazônia, inclusive do Estado do Acre se deu às margens dos rios. As construções, antes tipicamente em madeira, a partir da década de 1950 foram sendo substituídas, em grande parte, por edificações em alvenaria, necessitando então de materiais para a construção civil, dentre eles a areia. Na região, a areia utilizada nessas construções era e continua sendo, até os dias atuais, retirada diretamente dos leitos fluviais, a partir do processo de dragagem, sem nenhum controle, tanto dos locais de retirada quanto dos locais de depósitos de areia e muito menos com a qualidade da areia.

No município de Rio Branco, associado a um crescente aumento da população urbana, ocorreu também um acréscimo da demanda pela areia, fazendo com que o número de dragas que exploram areia no rio Acre aumentasse consideravelmente ao longo dos últimos vinte anos.

Geralmente os locais de retirada de areia ocorrem próximos aos centros mais habitados, estando localizados praticamente dentro dos limites do perímetro urbano. Isto atende uma meta que é a redução do preço do transporte do produto. Ao longo das margens do rio Acre vários são os locais relacionados às atividades de extração de areia.

Assim, esta pesquisa objetivou estudar o processo de extração e armazenamento da areia, para uso imediato como agregado miúdo na construção civil a partir do processo de dragagem, que consiste na retirada do material do fundo do rio a partir de motores de sucção instalados em balsas e fazer uma comparação entre a granulometria das amostras de areia coletadas no rio Acre com a granulometria da Areia Normal do rio Tietê, ao mesmo tempo em que se propôs uma mistura com outros tipos de agregados para a melhoria da qualidade

granulométrica das areias do rio Acre para uso na construção civil. Para estas misturas foram utilizadas a areia coletada no rio Madeira, localizado no Estado de Rondônia, a aproximadamente 240 quilômetros de Rio Branco.

Na definição da área escolhida para a realização da pesquisa levou-se em consideração a proximidade da área urbana onde existe a maior concentração de dragas, em função de apresentar maior proximidade do consumidor final.

2. MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área da pesquisa está localizada, numa extensão de aproximadamente 20 km, ao longo do rio Acre, no município de Rio Branco, estado do Acre. Situa-se entre as latitudes $9^{\circ}57'22''$ a $10^{\circ}03'18''$ S e longitudes $67^{\circ}46'31''$ W a $67^{\circ}52'40''$ W (Figura 1).

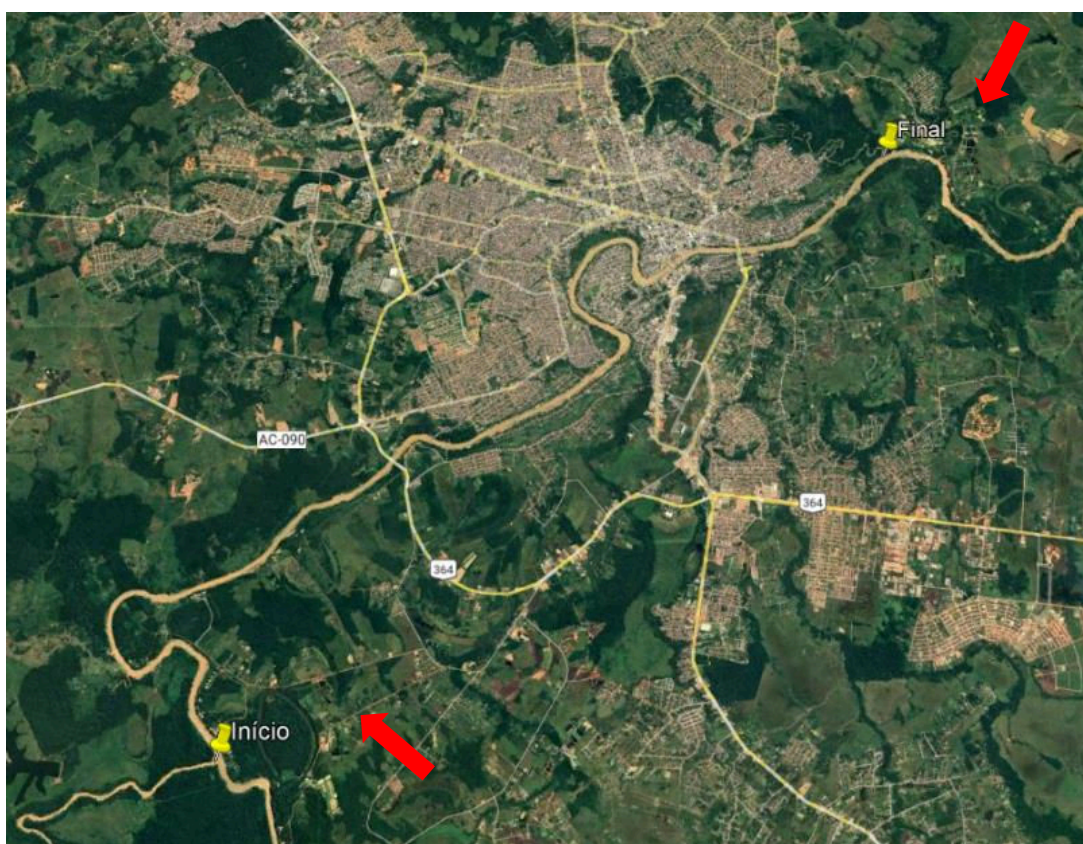


Figura 1. Mapa de localização da área da pesquisa.
Fonte: Google Earth (2021) – Adaptado pelos autores (2022).

O rio Acre é um curso de água que possui extensão total de cerca de 1.190 km, tem sua nascente no Peru na cota na ordem entre 300 a 400 m de altitude e deságua no Brasil, na margem direita do rio Purus, junto à cidade amazonense de Boca do Acre, aproximadamente na cota de 130 m. É um dos rios mais famosos da região Norte do Brasil, pois atravessa e deu o nome ao estado do Acre, banhando municípios como Assis Brasil, Brasiléia, Epitaciolândia, Xapuri e Porto Acre (BESER DE DEUS, 2013; ACCORSI, 2014; SILVA, 2015; NETO et al., 2017).

Na cidade de Rio Branco, o rio Acre, dentro do perímetro urbano, tem extensão de 15,83 km de comprimento, perpassa na parte central da cidade, dividindo-a em dois distritos, referentes ao lado esquerdo, conhecido como primeiro distrito, e o lado direito, como segundo distrito (BONFANTI et al., 2020).

2.2. MÉTODO DE TRABALHO

A metodologia do trabalho consistiu inicialmente de revisão bibliográfica dos assuntos relacionados à exploração de areia em leitos fluviais.

O trabalho de campo foi executado a partir da coleta de amostras dos locais onde a polpa (mistura de água, areia, silte e argila) retirada do rio é armazenada para passar pelo processo de decantação e, posteriormente, ser comercializada. Esses locais de decantação são denominados tecnicamente de pátios de estocagem, “poços de decantação” ou “caixas de decantação”.

Todas as 15 amostragens foram realizadas no rio Acre entre os meses de julho a setembro, na época do ano na qual o rio apresenta seus menores volumes de água. Foram coletadas amostras tanto da margem direita, quanto da margem esquerda, desde a foz do Riozinho do Rola até a foz do Igarapé São Francisco, abrangendo toda a área da pesquisa, num total de aproximadamente 20 km (Tabela 1).

A localização dos pontos de coleta foi realizada a partir de coordenadas geográficas (latitude e longitude), obtidas por GPS (Figura 2).

Tabela 1. Informações acerca das 15 amostra de areia coletadas.

Amostra	Local de Coleta (margem)	Profundidade (m)	Ponto de Coleta	Coordenadas	
				Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
1	esquerda	3,9	Draga Aquiri	9° 57' 50"	67° 47' 02"
2	esquerda	2,7	Draga Abud	9° 57' 56"	67° 47' 06"
3	esquerda	2,4	AREACRE	10° 00' 22"	67° 49' 54"
4	esquerda	3,4	Draga do Lói	10° 00' 22"	67° 49' 22"
5	direita	3,9	Draga Santo Antonio	10° 01' 07"	67° 50' 58"
6	direita	3,2	Draga Quintela	10° 02' 37"	67° 52' 22"
7	direita	3,4	Próximo a Draga Quintela	10° 02' 29"	67° 51' 52"
8	direita	3,1	TRANSDRAGA	10° 02' 38"	67° 51' 47"
9	direita	3	Draga São Miguel	10° 02' 59"	67° 51' 49"
10	direita	3,8	Areial Só Areia	9° 58' 54"	67° 49' 14"
11	direita	3,3	Draga Tucunaré	9° 59' 02"	67° 49' 14"
12	esquerda	3,7	Areial Amapá	10° 01' 29"	67° 51' 30"
13	esquerda	3,5	Areial Amapá	10° 01' 04"	67° 51' 05"
14	esquerda	3	ACREBOR	9° 59' 34"	67° 48' 53"
15	esquerda	3	Flutuante da Eletronorte	9° 58' 08"	67° 47' 14"

Fonte: Accorsi (2001).

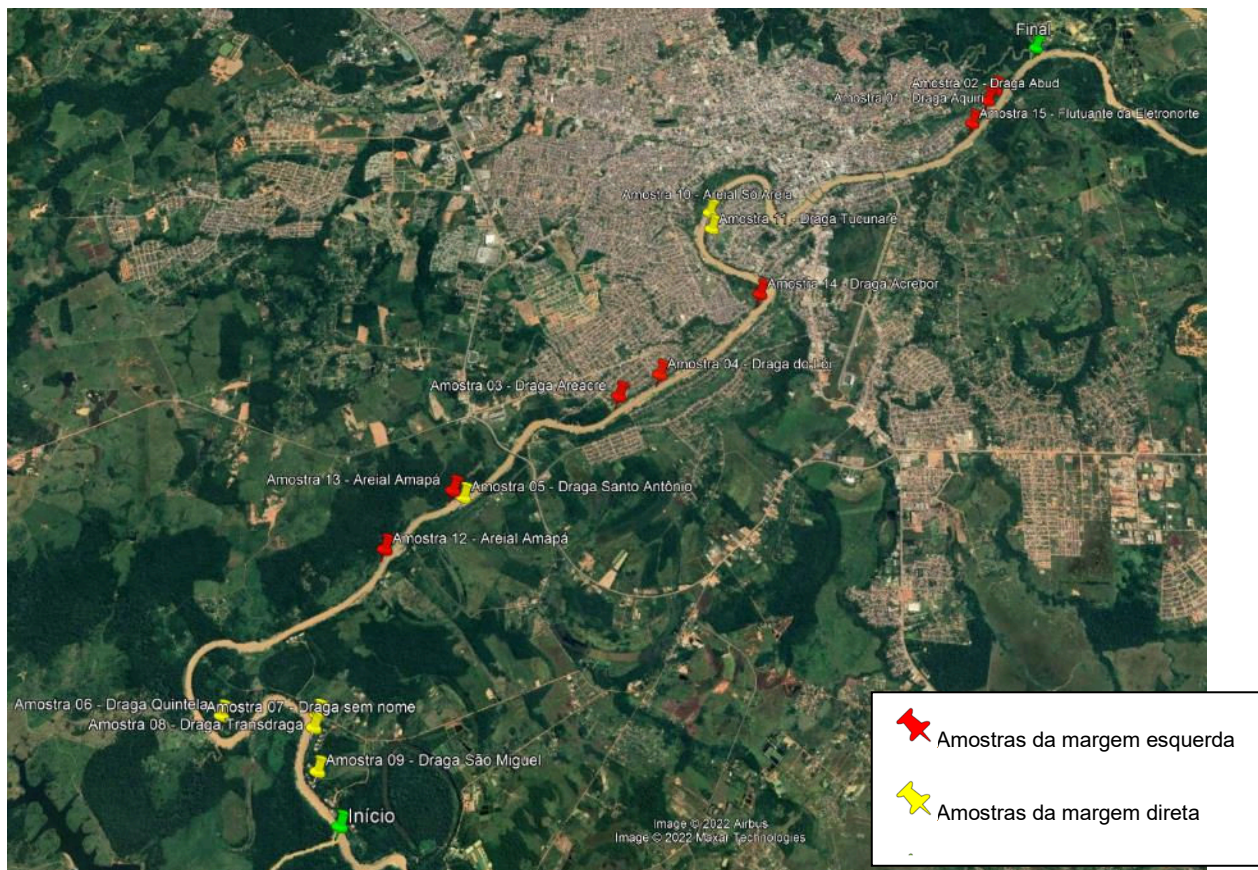


Figura 2. Identificação/Marcação dos pontos de coleta de amostra de areia.

Fonte: Google Earth (2021) – Adaptado pelos autores (2022).

Foram coletadas 15 amostras. Sendo um grupo de amostras de profundidade e outro grupo de superfície, assim distribuídos: 12 amostras em locais de depósito de areia (pátios de estocagem) que se encontravam vazios e 3 amostras em locais que não estão associados a depósitos de areia. As amostras de profundidade foram coletadas a trado manual na profundidade em que foi encontrado o nível hidrostático. Já as amostras de superfície foram coletadas diretamente na parte superficial dos barrancos.

As amostras após coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Ensaios Tecnológicos (LET) do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET) da Universidade Federal do Acre (UFAC), onde além de outros ensaios de caracterização foi realizada uma Análise Granulométrica completa, tanto por Peneiramento como por Sedimentação.

As análises foram realizadas de acordo com as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), adotadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), desde a preparação das amostras, realizados a partir da NBR-06457/86, como a determinação da granulometria realizada pelo processo do peneiramento e sedimentação, utilizando-se o densímetro. Estas análises foram executadas de acordo com a NBR-07181/84 e o ensaio da sedimentação baseou-se na Lei de Stokes.

A partir das análises granulométricas, individuais, tanto da areia do rio Acre, como da areia do rio Madeira, foram propostas dosagens das misturas, de 40%, 35%, 30% e 25% da areia do rio Acre, com 60%, 65%, 70% e 75% da areia do rio Madeira, para se obter a mistura que mais se aproximasse das características granulométricas da Areia Normal do Tietê, de acordo com a Norma NBR 7214/82.

2.3. PROCESSO DE DRAGAGEM

O processo de dragagem de areia dos rios no estado do Acre ocorre a partir de balsas equipadas com motores de sucção (Figura 3) que retiram a água do rio na forma de polpa (mistura de água, areia, silte e argila) (Figura 4).

Este material retirado é depositado em locais próximos (Figura 5) - nas margens do rio – previamente preparados para receberem o produto, que então sofre um processo de decantação (ACCORSI, 2001).



Figura 3. Motor de sucção, instalado em balsa, extraindo material do fundo rio.
Fonte: Accorsi (2001).



Figura 4. Mistura de água, areia, silte e argila, denominado de polpa.
Fonte: Accorsi (2001).



Figura 5. Pátio de estocagem ou “poço de decantação” recebendo o material extraído do fundo do rio.

Fonte: Accorsi (2001).

Após um período de aproximadamente 15 a 20 dias, quando ocorre a perda de umidade, o produto já estará pronto para ser comercializado. Em função de sua permeabilidade, grande parte da água já infiltrou, sendo direcionadas às caixas de drenos (Figura 6a) e retornado ao curso rio por meio de tubos de drenos. (Figura 6b)



Figura 6. Drenos de retorno da água ao leito do rio. Caixa de drenagem (figura 6a) e tubos de drenagem de PVC de 100 mm de retorno das águas para o rio (figura 6b).

Fonte: Accorsi (2001).

Todo o material extraído dos rios não sofre nenhum tratamento e nenhum processo de seleção ou peneiramento, sendo depositados nos pátios de decantação. Através de pás carregadeiras (Figura 7) e caminhões (Figura 8) a areia é transportada até o consumidor final.



Figura 7. Carregamento de material com pá carregadeira.
Fonte: Accorsi (2001).



Figura 8. Transporte do material em caminhão basculante para o consumidor.
Fonte: Accorsi (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de granulometria (peneiramento e sedimentação) levaram em consideração a escala granulométrica da ABNT na qual as areias (grossa, média e fina) apresentam uma granulometria que varia de 5,0 mm a 0,05 mm, o silte de 0,05 mm a 0,005 mm e as argilas uma granulometria < 0,005 mm (Figura 9).

Considerando-se as porcentagens de areia, silte e argila, segundo a classificação granulométrica dos solos proposta por FOLQUE (1988), as 15 amostras, retiradas em profundidade foram classificadas como: areia (4 amostras), areia siltosa (2 amostras), silte arenoso (1 amostra), areia argilosa (1 amostra), silte argiloso (3 amostras), argila arenosa (2 amostras) e argila (2 amostras) (Figura 10).

Todas as amostras de superfície foram classificadas, baseando na mesma classificação proposta por FOLQUE (1988), como areias (Figura 11).

Nos locais amostrados onde predominam as areias, os solos apresentam uma maior possibilidade da ocorrência de sofrer processos erosivos, devido à baixa coesão das areias.

Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
	5,0 mm	2,0 mm	0,4 mm	0,05 mm	0,005 mm

Figura 9. Escala granulométrica da ABNT /NBR 6502/1995

Fonte: ABNT (1995) - Adaptado pelos autores (2022).

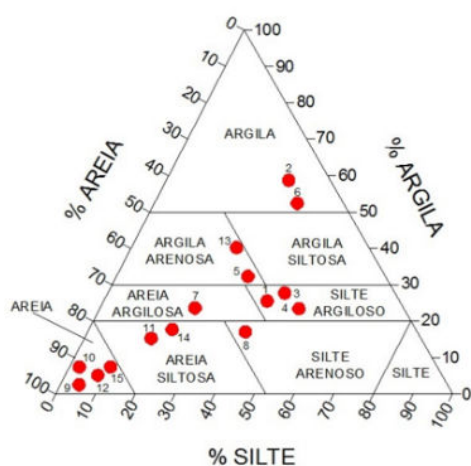


Figura 10. Amostras de profundidade.

Fonte: Accorsi (2001).

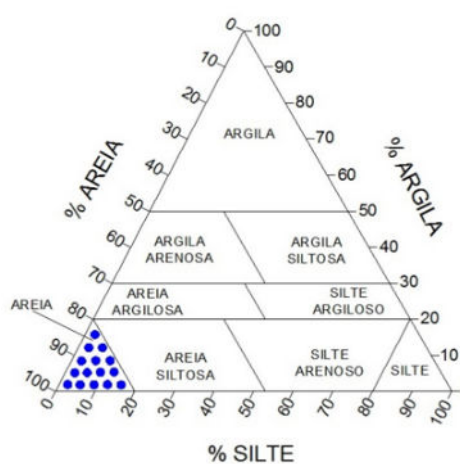


Figura 11. Amostras de superfície.

Fonte: Accorsi (2001).

Apesar de terem sido realizadas análises em amostras de superfície e de profundidade, as quais apresentaram constituições granulométricas diferenciadas, os demais resultados obtidos dos indicadores físicos apresentaram valores dentro de limites de areia, silte e argila. Desta forma não serviram de indicadores úteis para uma diferenciação e uma caracterização geotécnica e de estabilidade em função dos seus indicadores.

No entanto foi possível fazer alguma inferência da estabilidade destes solos, em função de sua granulometria, onde nas amostras de superfície, com um predomínio de areias, as quais apresentam uma menor estabilidade e mais sujeitas a processos erosivos.

Nas amostras de profundidade ocorre uma heterogeneidade de materiais, onde se observa a ocorrência de materiais argilosos, os quais conferem uma maior coesão e estabilidade dos solos, esperando-se para estes locais menores danos ambientais.

A partir da análise das amostras de areia extraídas por sucção do rio Acre, coletadas nos pátios de decantação e que são utilizadas diretamente na construção civil no Estado do Acre e especialmente no município de Rio Branco, observou-se que, em termos granulométricos, as amostras apresentam uma granulometria que varia, na sua grande maioria, entre 0,042 mm de diâmetro, a qual caracteriza o limite superior granulométrico das areias finas, até granulometrias menores que 0,053 mm que correspondem a siltes ou argilas.

A granulometria da Areia Normal do rio Tietê, produzida e fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, para ensaios tecnológicos possui granulometria que apresenta os seguintes percentuais em relação ao peso da amostra, conforme observado na tabela 2.

Tabela 2. Granulometria da areia normal do rio Tietê.

Abertura Nominal em mm	Porcentagem retida acumulada
2,4	0
2,0	5 ± 5 %
1,2	25 ± 5 %
0,6	50 ± 5 %
0,3	75 ± 5 %
0,15	97 ± 5 %

Fonte: ABNT/NBR7214 (1982) - Adaptado pelos autores (2022).

Quando delimitamos as granulometrias da areia normal do rio Tietê, elas correspondem aos seguintes limites: areia grossa (2,4 a 1,2 mm), areia média (1,2 a 0,6 mm), areia média fina (0,6 a 0,3 mm), areia fina (0,3 a 0,15 mm) e os siltes e argilas (< 0,15 mm).

Ao comparar as curvas granulométricas das 15 amostras analisadas, com a curva granulométrica da areia normal do rio Tietê e considerando o limite inferior da areia normal (abertura de peneira de 0,15 mm) e levando-se em consideração os limites máximos e mínimos da porcentagem acumulada retida em cada peneira, observou-se que nenhuma das 15 amostras do rio Acre se encontram dentro dos padrões da areia normal do rio Tietê, mesmo considerando os limites de tolerância das porcentagens retidas acumuladas, sempre apresentando granulometrias muito finas, predominando siltes e argilas.

A norma NBR 7214/82 estabelece critérios para que uma areia seja considerada padrão, dentre estes critérios estão: a granulometria, teor de material pulverulento, umidade, conglomerados argilosos, feldspatos, micas e matéria orgânica.

Neste trabalho levou-se em consideração apenas a análise granulométrica e a quantidade de material pulverulento, onde foram comparadas as curvas granulométricas das amostras retiradas do rio Acre, com a curva granulométrica da areia normal do rio Tietê. Pode-se constatar que as areias do rio Acre apresentaram granulometria bem mais finas que a areia normal do rio Tietê. O teor de material pulverulento nas amostras do rio Acre é extremamente alto, que pode ser observado pela grande quantidade de silte e argila presente nas amostras.

Tendo sido executadas análises granulométricas, individuais, para uma amostra de areia retirada do rio Acre, e uma do rio Madeira, e visando uma adequação destas granulometrias, procurou-se realizar diversas porcentagens de dosagens combinando os dois materiais, afim de obter a que mais se adequasse a norma (Figura 12).

Observou-se que, a que mais se aproximou foi a dosagem com 30% de areia do rio Acre e 70% com areia do rio Madeira, obtendo o comportamento observado na figura 13, podendo ser comparado com as curvas granulométricas dos materiais em estudo individualmente.

Sendo assim, em laboratório foi realizada a mistura efetiva dos materiais na dosagem proposta, de 30% areia do rio Acre e 70% areia do rio Madeira, e após realizado o peneiramento e ensaio granulométrico foi obtida a curva conforme observado na figura 14.

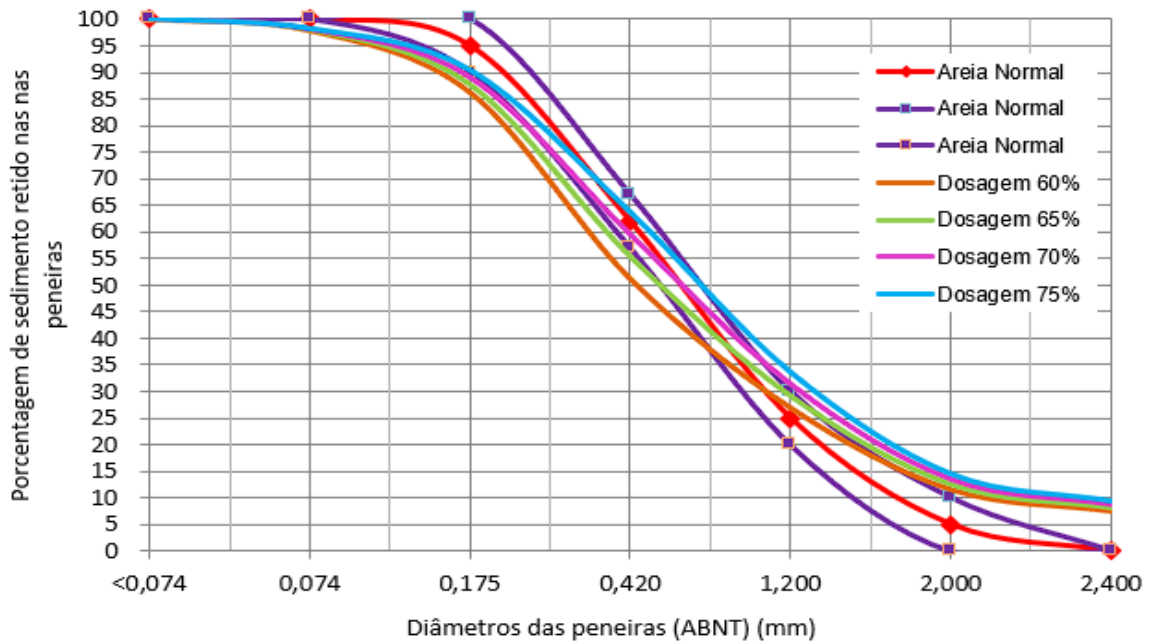


Figura 12. Curvas granulométricas da areia normal do rio Tietê e porcentagens de dosagens.

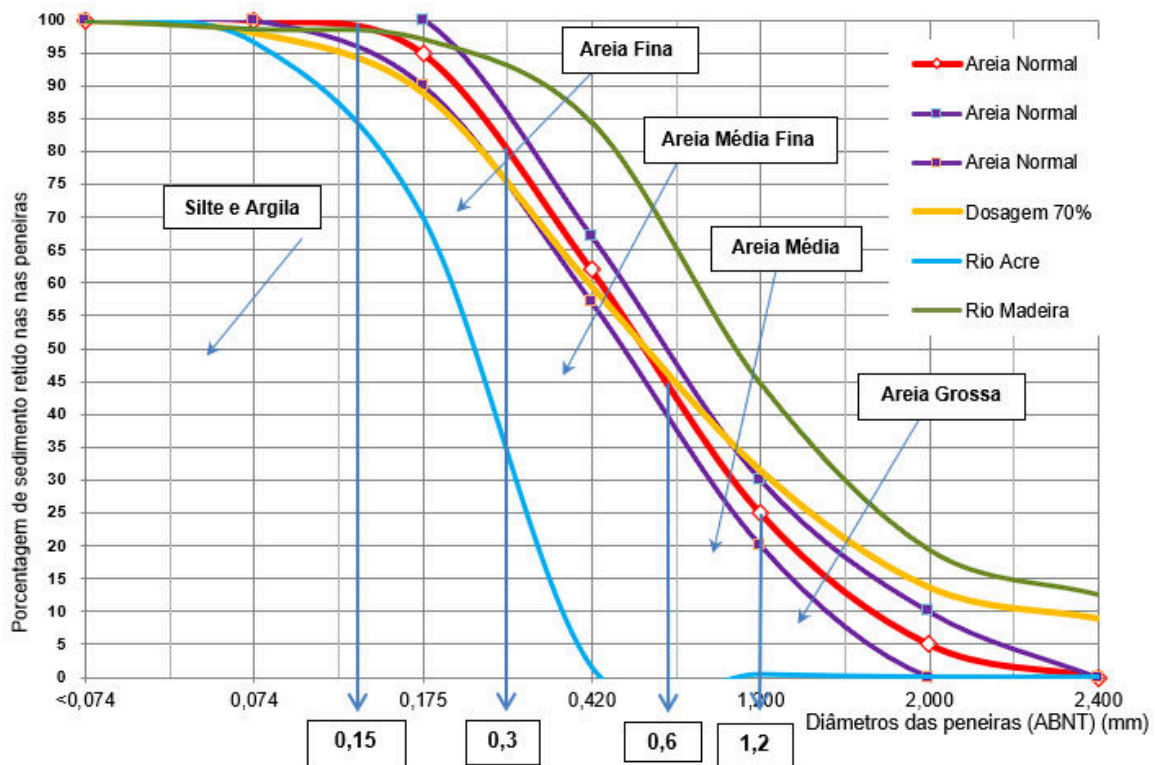


Figura 13. Comparação entre as curvas granulométricas da areia normal do rio Tietê, areia do rio Acre, areia do rio Madeira e dosagem de 70%.

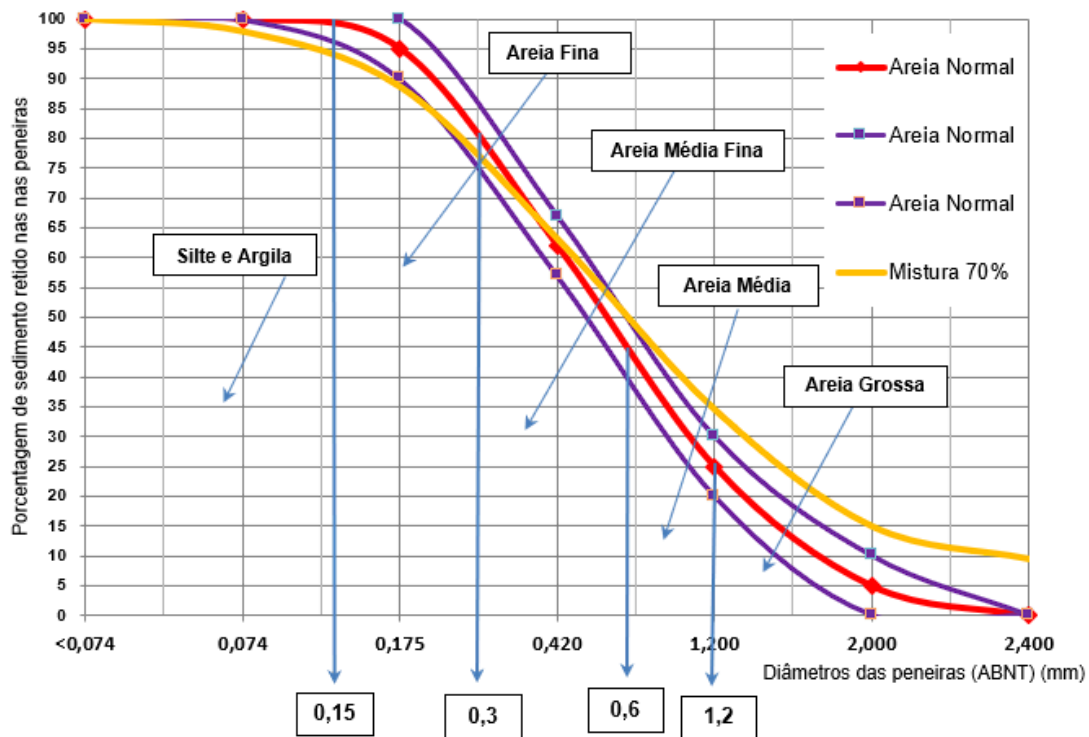


Figura 14. Comparação entre as curvas granulométricas da areia normal do rio Tietê e mistura em laboratório de 70%.

Percebe-se uma discreta diferença entre as curvas granulométricas da dosagem e da mistura, porém ambas apresentam o mesmo comportamento. Tal diferença é esperada, uma vez que a de dosagem foi elaborada após cálculos e a de mistura foi obtida após executados os ensaios em laboratório com os materiais propostos.

4. CONCLUSÃO

As areias do rio Acre apresentam granulometrias bem mais finas do que as da areia normal do rio Tietê, as quais são adotadas para os ensaios tecnológicos. Sendo assim os procedimentos de construção civil, quando utilizam as areias do rio Acre devem ser adaptados, não sendo possível a utilização de procedimentos definidos em normas técnicas nacionais.

A partir das várias dosagens de misturas realizadas, com materiais diferentes, a que mais se adequou a norma foi à mistura de 30% de areia do rio Acre, com 70% de areia do Rio Madeira, estando a areia fina, média fina e média, praticamente dentro dos limites da

areia normal do rio Tietê, sendo que apenas na faixa da areia grossa se encontra fora dos limites granulométricos da norma.

No caso do rio Acre, como a extração de areia por dragagem não é realizada de forma intensiva e ininterrupta, realizada apenas durante seis meses do ano e o processo de deposição natural ocorrendo ao longo de todo ano, observa-se então um equilíbrio entre o acúmulo e a extração de areia uma vez que as dragas estão instaladas em atividade nos mesmos locais ao longo de muitos anos. Portanto se o manejo das atividades de mineração de areia atender às práticas e procedimentos adequados é perfeitamente possível à coexistência desta atividade econômica essencial, com a preservação do ambiente, relação atualmente difundida como Desenvolvimento Sustentável.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**. Amostras de solo-preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**. Solo-análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**. Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7214**. Areia normal para ensaios de cimento. Rio de Janeiro, 1982.

ACCORSI, O. J. **Exploração de areia para uso na construção civil: Caracterização da atividade de dragagem e sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Acre**. (Tese) Doutorado em Engenharia Civil - Escola de Engenharia. Universidade Federal Fluminense, 2014.

ACCORSI, O. J. **Mineração de areia no Rio Acre e os problemas ambientais associados: Trecho da área urbana de Rio Branco – Ac**. (Dissertação) Mestrado em Geociências e Meio Ambiente - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2001.

BESER DE DEUS, L. A. **Espaço e tempo como subsídios à construção de cenários de uso e cobertura da terra para o planejamento ambiental na Amazônia: O caso da bacia do rio Acre**. (Tese) Doutorado em Planejamento Energético - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

BONFANTI, D. C.; LIMA, F. T. B.; FERREIRA, L. C. A.; SANTOS, W. L. A dinâmica fluvial do rio acre: Uma análise ambiental do trecho urbano da cidade de Rio Branco-AC. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 37, p. 154-174, 2020.

CHIOSSI, N.J. **Geologia aplicada à engenharia**. São Paulo: Grémio Politécnico, 1979.

FOLQUE, J. B. **Investigação em Mecânica dos solos**, 1988.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

IAEG. Classification of rocks and soils for engineering geology mapping. Part 1: rock and soil materials. Commision "Engineering Geological Mapping". **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 19, p. 364-371, 1979.

NETO, L. A. D.; SILVA, MANIESI, W.; SILVA, M. J. G.; SILVA, D. C.; QUERINO, C. A. S.; REIS, V. Análise da precipitação mensal e pentadal durante a cheia de 2015 no rio Acre usando o produto 3B43 do TRMM. **VII Simpósio Internacional de Climatologia. Clima, Variabilidade e Perspectivas Futuras**, Petrópolis, 2017.

SENÇO, W. de. **Pavimentação**. São Paulo: Grémio Politécnico, 1980.

SILVA, P. J. Rio Acre, o rio das ferraduras, um rio que serpenteia no limite entre duas nações. **XV Safety, Health and Environment World Congress**. Porto, Portugal, 2015.

EFEITO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Pinus elliottii* E *Rosmarinus officinalis* SOBRE *Lasioderma serricorne* (FABRICIUS, 1792) (COLEOPTERA: ANOBIIDAE)

Eliane Mazorana de Campos¹, Aline Fonseca Nascimento², Nayara Fonseca do Nascimento³, Lucas Henrique Machado Cardoso¹ e Carol Alves Lima¹

1. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Rondônia (IFRO), Graduação em Engenharia Agrônoma, Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil;
2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de Rondônia (IFRO), Docente Doutora em Entomologia Agrícola, Colorado do Oeste, Rondônia, Brasil;
3. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Doutoranda em Engenharia Florestal, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

O besourinho do fumo, *Lasioderma serricorne* é uma praga de importância para os grãos armazenados, seu controle realiza-se principalmente com inseticidas químicos sintéticos. Devido a evolução de resistências e dos riscos que estes oferecem a saúde humana e ao meio ambiente, busca-se por alternativas para o controle desses insetos-pragas. Deste modo o objetivo desse trabalho foi identificar as concentrações letais e subletais do óleo essencial de *Pinus elliottii* e *Rosmarinus officinalis* sobre o inseto-praga *L. serricorne*. A toxicidade foi avaliada via fumigação e contato residual, avaliou-se também a atividade de repelência dos óleos a partir de arenas com chance de escolha. A toxicidade em relação a fumigação do óleo essencial de *R. officinalis* ($CL_{50} = 3.92 \mu\text{L/L}$ de ar) demonstrou-se superior ao óleo essencial *P. elliottii* com ($CL_{50} = 5.61 \mu\text{L/L}$ de ar). Nos testes de toxicidade via contato residual com grãos de soja, o óleo essencial de *P. elliottii* foi quem se destacou ($CL_{50} = 1.30 \mu\text{L/g}$ de grão), mostrando-se mais eficiente na mortalidade do inseto-praga do que o óleo essencial de *R. officinalis* ($CL_{50} = 1.76 \mu\text{L/g}$ de grão). No teste de repelência apenas o óleo essencial de *P. elliottii* apresentou atividade, o de *R. officinalis* foi neutro, não apresentando atividade de repelência ou atratividade sobre a praga. Os óleos essenciais testados apresentaram potencial para o controle da praga de grãos armazenados como *L. serricorne*.

Palavras-chave: Besouro-do-fumo, Grãos Armazenados, Inseticida Botânico e Controle Alternativo.

ABSTRACT

The smoke beetle, *Lasioderma serricorne* is a polyphagous pest whose control has been carried out mainly with synthetic chemical insecticides. Due to the evolution of resistances and the risks that these offer human health and the environment, the search for alternatives to the control of these pest insects has increased. The objective of this work was to identify

the lethal and sublethal concentrations of the essential oil of *Pinus elliottii* and *Rosmarinus officinalis* on the insect pest *L. serricornis*. The toxicity was evaluated through fumigation and residual contact, and the oil repellency activity was evaluated from arenas with a chance of choice. The fumigation toxicity of the essential oil of *R. officinalis* (LC50 = 3,92 $\mu\text{L} / \text{L}$ of air) was shown to be superior to the essential oil *P. elliottii* with (LC50 = 5,61 $\mu\text{L} / \text{L}$ of air). In the toxicity tests by residual contact with soybean, the essential oil of *P. elliottii* was the one that stood out (LC50 = 1,30 $\mu\text{L} / \text{g}$ of grain), being more efficient in the mortality of the insect-plague than the essential oil of *R. officinalis* (LC50 = 1,76 $\mu\text{L} / \text{g}$ grain). In the test of repellency only the essential oil of *P. elliottii* showed activity, that of *R. officinalis* was neutral, showing no activity of repellency or attractiveness on the pest. The essential oils tested had the potential to control the pest of grains stored as *L. serricornis*.

Keywords: Smoke Beetle, Stored Grains, Botanical Insecticide and Alternative Control.

1. INTRODUÇÃO

Os insetos são as principais pragas que atacam produtos armazenados, ao consumirem os grãos geram desvalorização de sua qualidade (FARONI et al., 2005). Entre as pragas de maior importância de grãos armazenados está o besouro do fumo, *Lasioderma serricornis* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae), é um inseto cosmopolita, que causa considerável dano a uma grande variedade de produtos armazenados (POWELL, 1931; STAMATINIS, 1935; USDA, 1972; RYAN, 1995). A principal forma de controle de insetos-praga de grãos armazenados no Brasil é através de inseticidas químicos com métodos de fumigação com fosfina, piretroides e organofosforados. Devido ao uso contínuo e indiscriminado desses inseticidas químicos, tem-se verificado populações de insetos com elevados níveis de resistência (HILL, 2002). Com a preocupação dessas evoluções de resistências a inseticidas além dos riscos que oferecem a saúde humana e meio ambiente, tem-se aumentado a busca por alternativas para o controle desses insetos-pragas. Os produtos naturais em especial na forma de óleos essenciais provocam mortalidade, repelência, inibição da oviposição, além da redução do desenvolvimento larval, da fertilidade e da fecundidade dos adultos (OLIVEIRA et al., 1997; BRITO et al., 2006; ANDRADE et al., 2012).

Estudos de óleos essenciais de *Pinus elliottii* já mostraram ação antimicrobiana (TOMAZONI et al., 2014; LEANDRO et al., 2014; ANDRADE et al., 2014), entretanto, poucos estudos sobre potencialidade inseticida deste óleo. Deste modo, existe uma lacuna no conhecimento voltado ao controle alternativo de pragas com óleos essenciais dessa espécie florestal.

O alecrim, *Rosmarinus officinalis*, em um teste realizado por Zoubiri e Baaliouamer (2011) sobre *Sitophilus granarius* obtiveram 59% em determinação da mortalidade cumulativa após 24 horas na concentração de 500µL/L.

Assim, o presente trabalho teve o objetivo de testar o potencial inseticida do óleo essencial de *P. elliotii* e *R. officinalis* sobre *L. serricorne* visando obter as concentrações letais a partir da toxicidade residual e via fumigação, além de testar a atratividade ou repelência destes, tendo por meta encontrar novas moléculas inseticidas para manejo de pragas de armazenamento.

2. MÉTODOS

Os experimentos realizaram-se no Laboratório de Biologia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia De Rondônia- Campus Colorado do Oeste, localizado na BR 435, km 5, zona rural, durante o período de Agosto de 2016 a Julho de 2017. Os óleos essenciais utilizados foram provenientes da empresa Quinari Fragrancias e Cosméticos LTDA- Ponta Grossa - PR. Através de testes preliminares definiu-se as concentrações utilizadas.

2.1. CRIAÇÃO DE *Lasioderma Serricorne*

As gaiolas para criação e manutenção da população de *L. serricorne* foram confeccionadas a partir de potes de plástico com capacidade de 250 mg. Para dieta utilizou-se se amendoim e torrada. Cada gaiola recebeu aproximadamente 100 adultos emergidos. Estes mantiveram-se em temperatura ambiente, cuja média anual de 23 °C, máxima de 33 °C, mínima 12 °C, no laboratório de Biologia do IFRO.

2.2. TOXICIDADE VIA FUMIGAÇÃO

As câmaras para fumigação foram montadas a partir de potes de vidro com capacidade para 1.3 L. Utilizou-se o óleo essencial de *Pinus elliotii* nas concentrações 2.5; 5; 15; 25 e 40 µL/L de ar e para óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* nas concentrações 1; 2.5; 5.4; 6.15 e 7.7 µL/L de ar. Os óleos essenciais foram aplicados sobre tiras de papéis

filtro, fixados na superfície inferior da tampa dos recipientes cuja separou-se a tampa e o recipiente por tecido fino poroso (voil) evitando o contato direto dos insetos com o papel filtro impregnado com o óleo. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições por tratamento, cada recipiente recebeu 30 adultos não sexados, realizaram-se as avaliações de mortalidade após 24 horas de exposição. Os resultados foram submetidos a análise de probit pelo programa SAS para obtenção das CL₅₀ e CL₉₀. Os valores de mortalidade observados, quando necessário (mortalidade acima de 10% no controle negativo), passaram por correção conforme proposto por Abbott (1925).

2.3. TOXICIDADE VIA CONTATO

As concentrações dos óleos essenciais aplicaram-se sobre sementes de soja, cada recipiente recebendo 10g de grão e mantida sob agitação por 60 segundos para homogeneização e evaporação dos solventes. Cada recipiente foi infestado com 20 adultos não sexados de *L. serricornis*. Utilizando cinco concentrações de óleo essencial e uma testemunha com cinco repetições em DIC. As concentrações para óleo essencial de *P. elliotii* foram de 10; 12; 15; 18 e 20 µL/10g de soja e para *R. officinalis* 10; 23; 25; 28 e 30 µL/10g de soja, a mortalidade foi avaliada 24; 48 e 72 horas após a infestação. Os dados foram analisados pelo modelo Probit através do software SAS para a determinação dos valores das CL₅₀ (concentrações letais), com intervalos de confiança a 95%. Os valores de mortalidade corrigiram-se, quando necessário, conforme proposto por Abbott (1925).

2.4. REPELÊNCIA

Para avaliar a escolha do inseto criando-se arenas a partir de copos plástico com tampas aeradas com tecido tipo voil, cada arena constitui-se de três copinhos interligados por canudos de plástico, com extensão de 6 cm para permitir o deslocamento dos insetos entre os copos, o copo do centro recebera os insetos e os outros dois dispostos a 180° recebera 10g de grãos de sojas, no qual um dos lados receberam álcool e do outro a CL₃₀ dos óleos essenciais, que obtiveram-se a partir da metodologia de contato residual. Assim a concentração para *R. officinalis* foi 1.43 µL/g de soja e para o óleo essencial de *P. elliotii* foi de 1.10 µL/g de soja. Liberando-se 10 insetos adultos não sexados por arena. Com 20 repetições de cada óleo essencial, a escolha dos insetos avaliara-se após 24 horas. Os

dados submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas através do teste T utilizando o programa estatístico SAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TOXICIDADE VIA FUMIGAÇÃO.

As concentrações letais - CL₅₀ e CL₉₀ do óleo essencial de *Pinus elliotii* foram maiores com 5.61 µL/L de ar e 14.37 µL/L de ar quando comparadas com as do óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* que apresentou CL₅₀ 3.92 µL/L de ar e CL₉₀ de 7.80 µL/L de ar (Tabela 1). Demonstrando que é necessária uma menor concentração de *R. officinalis* para conseguir o mesmo efeito que o óleo essencial de *P. elliotii*.

Tabela 1. Concentrações letais (CL₅₀), grau de liberdade (GL), qui-quadrado (X²), curvas de concentração-mortalidade de óleos de *Pinus elliotii* e *Rosmarinus officinalis*, sobre Besouro do fumo *L. serricornes* adulto não sexados via fumigação em 24 horas.

Tratamento	CL ₅₀ (IC 95%) (µL/L)	CL ₉₀ (IC 95%) (µL/L)	GL	χ ²	Equação
<i>P. elliotii</i>	5.61 _(5.08-6.17)	14.37 _(12.66-16.70)	3	3.2 3	Y=3.13 _{LogX} -2.35
<i>R. officinalis</i>	3.92 _(3.65-4.18)	7.80 _(7.18-8.61)	3	2.6 3	Y=4.29 _{LogX} -2.54

Moharramipour (2013) em testes sobre *Tribolium confusum* obteve CL₅₀ de 22.14 µL/L de ar após 24 horas. O que indica que *R. officinalis* apresenta maior toxicidade na praga testada neste trabalho.

Ebadollahi e colaboradores (2010) obtiveram concentrações letais em testes com *Lavandula stoechas* L sobre *L. serricornes* com CL₅₀ de 3.83 µL/L de ar em 24 horas de exposição, semelhante a observada neste trabalho com o óleo essencial de *R. officinalis*. Entretanto, quando comparado aos dados de Esmaili *et al.* (2013) que testou *Mentha pulegium* via fumigação sobre *L. serricornes* em 24 horas a CL₅₀ (12.7 µL/L de ar) obtida com os óleos essenciais utilizados neste trabalho foram menores e, portanto, mais tóxicos. Além disso, Rani (2012) ao testar óleo essencial de *Pinus longifolia* L sobre *Sitophilus oryzae*,

Callosobruchus chinensis L e *Corcyra cephalonica* via fumigação encontrou em CL₅₀ valores de 47.88; 33.11 e 33.75 µg/cm² respectivamente em 24 horas.

3.2. TOXICIDADE VIA CONTATO TÓPICO

Para *R. officinalis* a CL₅₀ foi de 1.76 µL/g de soja e a CL₉₀ foi de 2.90 µL/g de soja após 24 horas de exposição (Tabela 2). Mostrando que o óleo de alecrim é eficiente no controle do besourinho-do-fumo via contato. Com o passar do tempo em contato dos insetos, este óleo mostrou-se mais eficiente na mortalidade, uma vez que em 72 horas a CL₅₀ abaixou para de 1.41 µL /g de soja.

Tabela 2. Concentrações letais (CL₅₀), grau de liberdade (G.L.), qui-quadrado (X²), curvas de concentração-mortalidade de óleos de *P. elliotii* e *R. officinalis* sobre o besouro de *L. serricorne* via contato.

Tratamento	T	CL ₅₀ (IC 95%) (µl/g de grão)	CL ₉₀ (IC 95%) (µl/g de grão)	G.L.	χ ²	Equação
<i>P. elliotii</i>	24h	1.30 _(1.24-1.35)	1.94 _(1.83-2.09)	3	2.76	Y=7.36 _{LogX} -8.20
	48h	1.23 _(1.17-1.29)	1.92 _(1.80-2.09)	3	4.36	Y=6.63 _{LogX} -7.24
	72h	0.98 _(0.84-1.08)	1.84 _(1.70-2.05)	3	4.11	Y=4.67 _{LogX} -4.64
<i>R. officinalis</i>	24h	1.76 _(1.64-1.87)	2.90 _(2.72-3.12)	3	1.94	Y=5.92 _{LogX} -7.38
	48h	1.64 _(1.52-1.75)	2.70 _(2.54-2.90)	3	0.49	Y=5.93 _{LogX} -7.21
	72h	1.41 _(1.29-1.52)	2.53 _(2.35-2.75)	3	1.13	Y=5.06 _{LogX} -5.82

Migliorini et al. (2010) ao testar extrato de *R. officinalis* sobre *Diabrotica speciosa* obtiveram a mortalidade de 64.3% de eficiência em 24 horas. Miresmailli et al. (2006) alcançou com o mesmo óleo essencial sobre ácaro *Tetranychus urticae*, CL₅₀ em mortalidade 13.91 µL/L. Para o óleo essencial de *P. elliotii* a CL₅₀ foi 1.30 µL/g de soja e CL₉₀ com 1.94 µL/g de soja. Deste modo, pode-se inferir que o óleo essencial de *R. officinalis* mostrou-se menos tóxico que o óleo essencial de *P. elliotii* no experimento de toxicidade tópica. Em bioensaio onde se testou o óleo essencial de *Mentha haplocalyx* Briq sobre *L. serricorne* via contato, Zhang e colaboradores (2015) obtiveram a CL₅₀ =16.5 µg/adulto, o que demonstra que os óleos essenciais testados neste trabalho foram cerca de 10 vezes mais tóxicos. Além disso, a pesquisadora Morais (2010) ao testar óleo essencial de *R. officinalis* sobre *Sitophilus zeamais* obteve a CL₅₀=2.25 µl/g de grão, o que indica que o *L. serricorne* é mais suscetível ao óleo essencial do que *S. zeamais*.

3.3. REPELÊNCIA

O óleo essencial de *R. officinalis* apresentou atratividade de 41.46 % e repelência de 58.53 % em 24 horas na concentração de 1.44 $\mu\text{L/g}$ de soja (Figura 1). Deste modo, pode-se inferir que o óleo não possui ação repelência e nem atração de forma estatisticamente significativa sobre o inseto-praga *Lasioderma serricorne*, ou seja, é indiferente.

Já o óleo essencial de *P. elliotii* apresentou-se com apenas 31.63% de atração (Figura 2), o que significa que repeliu 68,36%, demonstrando ação repelência sobre o inseto-praga objeto de estudo.

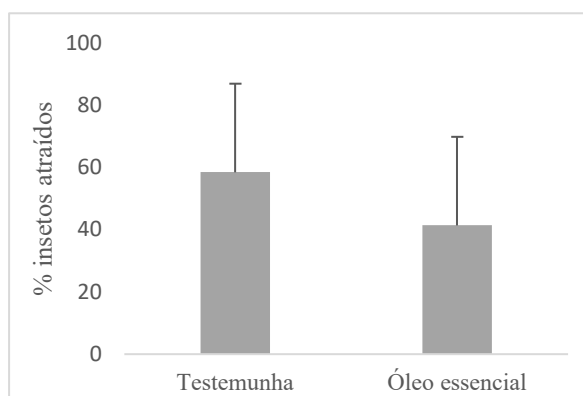


Figura 1. Atratividade do óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* sobre *L. serricorne*.

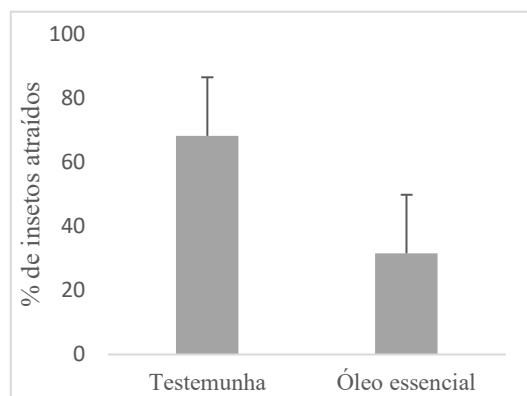


Figura 2. Atratividade do óleo essencial de *Pinus elliotii* sobre *L. serricorne*.

Koutsaviti et al. (2014) testou a atividade dos óleos essenciais de três espécies de *Pinus* spp. (*Pinus stankewiczii*, *Pinus brutia*, *Pinus halepensis*) sobre *Aedes albopictus* na dose de 0.4 $\mu\text{L/cm}^2$ e todos exibiram proteção de repelência contra o mosquito. Óleo essencial de louro (*Laurus nobilis*) sobre *L. serricorne* apresentou porcentagem de repelência máxima de 60% em concentração de 0.2 $\mu\text{L/cm}^2$ (JEMÂA et al., 2013). O extrato de *Alpinia officinarum* sobre *L. serricorne* após 48 horas de exposição atingiu 80% de repelência na dose 0.16 $\mu\text{L/cm}^2$ (LAZZARI, 2015). O óleo essencial de *Shiso* repeliu os besouros a uma dose de 10 μL (HORI, 2003). Contudo, o resultado obtido mostrou que o óleo de *P. elliotii* possui capacidade de repelência ao inseto-praga em estudo.

4. CONCLUSÃO

A utilização dos óleos essenciais *P. elliotii* e *R. officialis* proporcionam toxicidade e repelência sobre inseto-praga *L. serricorne*, observou-se ainda que as atividades dos óleos essenciais foram mais eficazes na forma de fumigação. A taxa de mortalidade do besouro do fumo é influenciada com o incremento de dosagem.

Neste trabalho demonstrou-se o potencial inseticida dos óleos de *P. elliotii* e *R. officialis*, sobre *L. serricorne*, porém, com base nos resultados apresentados faz-se necessário a realização de novos testes com os compostos majoritários e minoritários de forma isolada de cada óleo essencial testado e sob a forma de blendas (misturas), explorar o efeito desses óleos para estágios imaturos, estudos em relação a resíduos, custos e alterações organolépticas do produto a que será aplicado.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro e PROPESP-IFRO pela concessão de bolsa de iniciação científica.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, G.; ABRÃO, F.; SILVA, P.; AMBRÓSIO, S. R.; VENEZIANI, R. C. S.; CUNHA, W. R.; et al. Antifungal activity of oleoresin and fractions of *Pinus elliotii* Engelm and *Pinus tropicalis* against phytopathogens. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 26, p. 3898-3903, 2014.

ANDRADE, M. A.; CARDOSO, M. G.; BATISTA, L.R.; MALLET, A. C. T.; MACHADO, S. M. F. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: 56 composição, atividades antioxidante e antibactericida. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 399-408, 2012.

BRITO, J. P.; OLIVEIRA, J. E. M.; BORTOLI, S. A. Toxicidade de óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. Sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae). **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 6, n. 1, p. 96-103, 2006.

EBADOLLAHI, A.; SAFARALIZADEH, M. H.; POURMIRZA, A.A.; GHOSTA, Y. Contact and fumigant toxicity of essential oils of *Lavandula stoechas* L. and *Eucalyptus globulus* Labill grown in Iran against *Lasioderma serricorne* F. **Biharean Biologist**, v. 4, n. 1, p. 31–36, 2010.

ESMAILI, M.; VOJOUND, S.; PARSAEYAN, E. Fumigant toxicity of essential oils *Mentha pulegium* L. on adults of *Callosobruchus maculatus*, *Tribolium castaneum*, *Lasioderma serricorne* and *Sitophilus oryzae* in laboratory conditions. **Technical Journal of Engineering and Applied Sciences**, 2013.

FARONI, L.; G. BARBOSA; A. SARTORI; F. CARDOSO.; E. ALENCAR. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Milho em Diferentes Condições de Armazenamento. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, p. 193-201, 2005.

HILL, D.S. Pests of stored foodstuffs and their control. **Dordrecht: Kluwer Academic Publishers**, 2002.

HORI, M. Repellency of essential oils against the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Fabricius) (Coleoptera: Anobiidae). **Jornal, Applied Entomology and Zoology**, v. 38, n. 4, p. 467-473, 2003.

JEMÂA, J. M.; TERSIN, N & KHOUJA, M. L. Repellent action of *Laurus nobilis* essential oil against the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae). **Acta Horti**, v. 997, p. 169-176, 1997.

KOUTSAVITI, A.; PITAROKILI, D.; GIATROPOULOS, A.; TZACOU, L. Greek Pinus essential oils: larvicidal activity and repellency against *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). **Parasitol Res.** v. 14, n. 2, p. 583-592, 2014.

LAZZARI, C. R. Repellent and contact Toxicity of *Alpinia officinarum* Rhizome Extract against *Lasioderma serricorne* Adult. **Plos One**, v.10, n.8, p. e0135631, 2015.

LEANDRO, L. F.; CARDOSO, M. J. O.; SILVA, S. D. C.; SOUZA, M. G. M.; VENEZIANI, R. C. S.; AMBROSIO, S. R.; MARTINS, C. H. G. Antibacterial activity of *Pinus elliottii* and its major compound, dehydroabietic acid, against multidrug-resistant strains. **Journal of Medical Microbiology**, v. 63, n. 12, p. 1649-1653.

LORINI, I. Insetos que atacam grãos de soja armazenados. In: Hoffmann-Campo, C. B., Corrêa-Ferreira, B. S.; Moscardi, F. **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Embrapa - Brasília, DF, 2012.

LORINI, I.; FERRI, G. C.; FREITAS, A. DE M.; ROSSA-TO, C. Desenvolvimento de *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) em grãos de soja armazenada. In: **Conferencia Brasileira de Pós-Colheita**, Foz do Iguaçu. Anais. Londrina: Abrapós, 2010.

MIGLIORINI, P.; LUTINSKI, J. A.; GARCIA, F. R. Eficiência de extratos vegetais no controle de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae), em laboratório. **Biotemas**, v. 3, n. 1, p. 83-89, 2010.

MIRESMAILLI, S.; BRADBURY, R.; ISMAN, M. B. Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. **Pest Management Science Pest Manag Sci**, v. 62, p. 366-371, 2006.

MOHARRAMIPOUR, S.; SAEIDI, M. Insecticidal and repellent activities of *Artemisia khorassanica*, *Rosmarinus officinalis* and *Mentha longifolia* essential oils on *Tribolium confusum*. **J. Crop Prot**, v. 2, n. 1, p. 23-31, 2013.

MORAIS, R. **Efeito de óleos essenciais de plantas aromáticas no controle de Sitophilus zeamais MOTSCH. 1855 (Coleoptera: Curculionidae)**, Universidade Anhanguera – UNIDERP, MS, 2010.

NAWROT, J., SZAFRANEK, J.; PRADZYNSKA, A, MALINSKI, E.; WINIECKI Z. Integrated pest management (IPM) against stored product pests - **Proceedings of International Symposium on Integrated Protection of Filed Crops,Vrnjaka Banja**, 1998.

OLIVEIRA, J.V. **Controle de pragas de grãos armazenados com substâncias de origem vegetal**. In: **congresso Brasileiro de Entomologia**, Salvador. Resumos, 1997.

POWELL, T. E. An ecological study of the tobacco beetle, *Lasioderma serricorne* Fabr., with special references to its life history and control. **Ecological Monographs**, v. 1, n. 3, p. 333-393, 1931.

PRATES, H.T.; SANTOS, J.P. Óleos essenciais no controle de pragas de grãos armazenados. In: Lorini, I.; Miike, L. H.; Scussel, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002.

RANI, P. U. Fumigant and contact toxic potential of essential oils from plant extracts against stored product pests. Essential oils against stored pests. **JBiopest**, v. 5, n. 2, p. 120-128, 2012.

RYAN, L. **Post-harvest tobacco infestation control**. Chapman & Hall, London, UK, 1995.

STAMATINIS, N. C. The enemies of Tobacco in warehouses, *Ephestia elutella* Hb. and *Lasioderma serricorne* Fab. The biology and measures for their control. **Communications of the Tobacco Institute of Greece**, v .4, p. 1-65, 1935.

TOMAZONI, E. Z.; PAULETTI, G. F.; DA SILVA RIBEIRO, R. T.; SCHWAMBACH, J. Atividade antifúngica in vitro dos óleos essenciais de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* sobre o fungo patógeno de tomateiro *Alternaria solani* Sorauer. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 11, n. 1, p. 68-77, 2014.

USDA. Stored tobacco insects-biology and control. **U. S. Department of Agriculture, Handbook**, v. 233, p. 531-537, 1972.

ZHANG, W. J.; YANG, K.; YOU, C. X.; WANG, C. F.; ZENG, Z. F.; SU, Y. Contact toxicity and repellency of the essential oil from *Mentha haplocalyx* Briq. against *Lasioderma serricorne*. **Chem Biodivers**, v. 12, n. 5, p. 832-839, 2015.

ZOUBIRI, S.; BAALIOUAMER, A. Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. **Food Chemistry**, v. 129, n. 1, p. 179-182, 2011.

SOBRE AS PERDAS DE POTÊNCIA EM PAINÉIS FOTVOLTAICOS: UMA ABORDAGEM À LUZ DAS TEORIAS FÍSICAS DOS SEMICONDUTORES

Oberlan da Silva¹, Veronica Alves Teixeira¹ e Matheus Soares Limeira²

1. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Pesqueira, PE, Brasil;
2. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, AL, Brasil.

RESUMO

Neste trabalho discutimos sobre um fenômeno comum em painéis fotovoltaicos durante o seu processo de geração de energia. Trata-se da perda de eficiência devido a ocorrência da *termalização*. Com o intuito de explicarmos como efetivamente este fenômeno ocorre, resolvemos aprofundarmos os estudos sobre ele, contribuindo para sua explicação à luz das teorias físicas que regem os semicondutores. Apresentamos também os resultados do monitoramento de um painel fotovoltaico que serviu de suporte para o estudo da perda de potência pelo aumento de sua temperatura. Finalmente, destacamos as contribuições deste trabalho, sobretudo, para um melhor entendimento das causas desse fenômeno como uma forma de contribuirmos para a propositura de soluções para sua atenuação.

Palavras-chave: Semicondutores, Energia solar e Ensino de física.

ABSTRACT

In this work we discuss about a common phenomenon in photovoltaic panels during their energy generation process. It is the loss of efficiency due to the occurrence of thermalization. This research began with the realization of a scientific initiation project PIBIC, developed within the scope of the electrical engineering course at the Federal Institute of Pernambuco. In order to explain how this phenomenon effectively occurs, we decided with this course conclusion work to deepen the studies on it, contributing to its explanation in light of the physical theories that govern semiconductors. We also present the results of monitoring a photovoltaic panel that served as support for the study of power loss due to the increase in its temperature. Finally, we highlight the contributions to the teaching of Physics, especially of semiconductors, through the study of their characteristics, interaction with solar radiation and their technological applications.

Keywords: Semiconductors, Solar energy and Physics teaching.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética mundial e a preocupação com a diminuição da dependência do sistema hídrico de geração de energia, além das preocupações com a preservação do meio ambiente, está impulsionando o desenvolvimento e implantação de tecnologias alternativas de energia menos poluentes, renováveis e com pouco impacto ambiental. Neste cenário podemos destacar a energia solar, que no Brasil, por suas características geográficas tem se destacado por seu potencial de aproveitamento durante todo o ano (PEREIRA et al., 2006).

O desafio da busca de fontes alternativas de energia, sobretudo, as consideradas renováveis têm desafiado a comunidade científica na busca de soluções que tornem esse processo viável e de uso coletivo.

Uma das questões que tem preocupado os especialistas em materiais semicondutores são as perdas de potência em painéis fotovoltaicos, devido ao aumento de sua temperatura durante o processo de conversão de energia solar em elétrica.

Esses materiais têm sua condutividade dependente criticamente da temperatura, pois, quanto mais alta a temperatura, maior ela se torna (CHEN, 2011), e por consequência a resistividade do material diminui, no entanto, esse fato não demonstra alteração significativa no fluxo de elétrons, ou seja, na corrente elétrica, mas podemos perceber queda bem acentuada na tensão do painel solar, conforme demonstrado na figura 1.

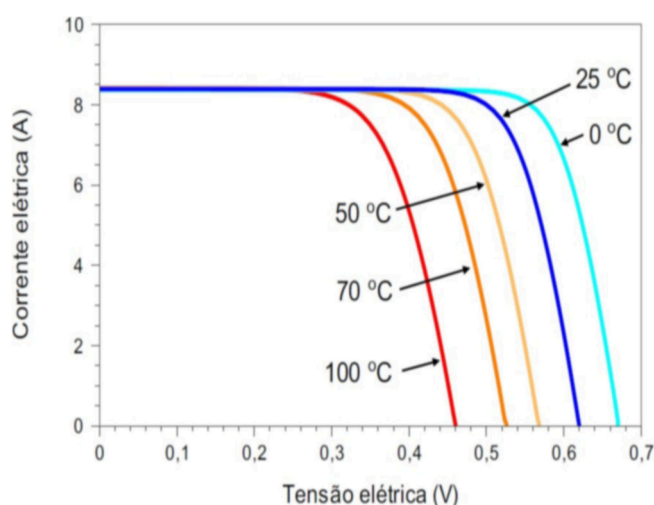


Figura 1. Influência da temperatura na queda de tensão na célula fotovoltaica.
Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Simioni (2017) esse efeito é mais expressivo em locais com alta temperatura ambiente, mas depende também de condições operacionais como a irradiância e o vento (SKOPLAKI et al., 2008; SINGH; RAVINDRA, 2012). Além disso, a temperatura de operação das células será sempre maior que a temperatura ambiente devido aos fenômenos de trocas térmicas entre os módulos, seus componentes e o ambiente (SIMIONI, 2017). O fenômeno físico responsável pela queda de tensão no painel é denominado *termalização* (STAMBUK, 2017).

A partir das discussões aqui já levantadas, bem como da situação problema mencionada, o objetivo principal do trabalho foi entender como efetivamente este fenômeno ocorre durante o funcionamento de módulos fotovoltaicos. Para tanto, foi importante revisar os estudos sobre os semicondutores, apontando suas características e aplicações tecnológicas, focando principalmente em como a *termalização* ocorre durante a incidência da radiação solar nesses materiais.

1.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas de geração de energia fotovoltaicos foram desenvolvidos com o intuito de diminuir a dependência do mercado de petróleo, reduzindo a emissão de gases poluentes na atmosfera e tornar o país menos vulnerável à instabilidade dos recursos hídricos, visto que atualmente mais de 60% da energia elétrica gerada no Brasil é proveniente das usinas hidrelétricas (MACHADO; CORREA, 2015).

A energia fotovoltaica consiste na transformação direta da energia solar em energia elétrica através de um fenômeno físico conhecido como efeito fotovoltaico, a partir da incidência de luz num material semicondutor do qual é composta a célula solar (CHEN, 2011). Um sistema fotovoltaico é composto por células e o conjunto de células é um módulo, bem como o conjunto de módulos é chamado de arranjo como observado na figura 2.

O efeito fotovoltaico ocorre no interior da célula solar, sendo responsável por converter luz solar em eletricidade. A luz solar é composta de fótons, ou partículas de energia (CASTRO, 2002). Estas partículas (fótons) contém grande quantidade de energia correspondente aos diferentes comprimentos de onda do espectro solar, que ao incidir numa célula fotovoltaica, geram eletricidade. Quando isto acontece, é transferida a energia do fóton a um elétron em um átomo da célula, que é um semicondutor (CASTRO, 2002).

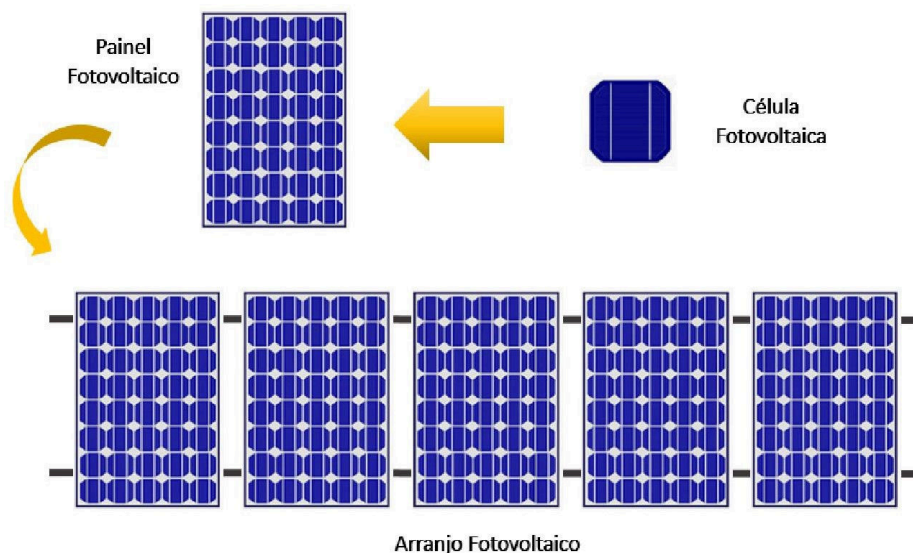


Figura 2. Elementos do sistema fotovoltaico.

Fonte: (PEREIRA, 2019)

Com essa nova energia, o elétron sai de sua posição original no átomo para se tornar parte da corrente, em um circuito elétrico. Deixando sua posição inicial, o elétron deixa uma "lacuna" para que outro elétron a ocupe. As propriedades especiais das células fotovoltaicas fazem com que a corrente produza uma diferença de potencial (tensão), de modo que o circuito vai gerar uma Corrente Contínua (CC), que posteriormente é armazenada em baterias no caso de um sistema fotovoltaico *off grid*, ou em um sistema *on grid*, que é o caso em que a energia é mandada direto para a rede elétrica, depois de convertida para corrente alternada através de um inversor (CHEN, 2011).

O elemento principal da geração de energia solar é o painel fotovoltaico. Sua estrutura física é composta pela moldura que é a parte externa do painel, responsável pela fixação do módulo, em geral feita de alumínio. Temos o selante, que é um adesivo usado para unir as camadas internas do módulo com a moldura, além disso deve impedir a entrada de gases e umidade, bem como proteger o interior de vibrações e choques mecânicos. O vidro do painel é uma camada rígida externa que protege as células e condutores do ambiente, ao mesmo tempo em que permite a entrada de luz para ser convertida em eletricidade. Este vidro é especial, com baixo teor de ferro, com uma camada antirreflexiva, e com superfície texturizada, que evitam a reflexão da luz que atinge o vidro (TOMASQUIM, 2016). Um modelo de um painel fotovoltaico pode ser observado na figura 3.

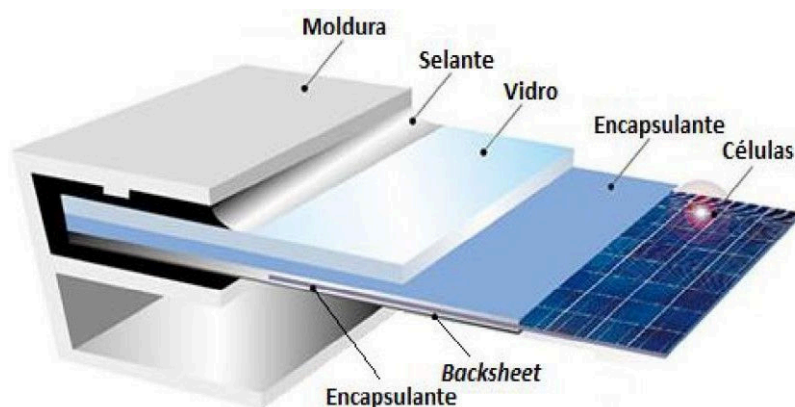


Figura 3. Camadas de um módulo fotovoltaico.

Fonte: (TOMASQUIM, 2016).

Temos também o encapsulante que é um filme que envolve as células, protegendo-as da umidade e dos materiais externos, além de otimizar a condução elétrica. As Células fotovoltaicas que é o componente eletrônico responsável pela conversão direta da radiação eletromagnética em energia elétrica, e por fim temos Backsheet na parte inferior do módulo que previne a entrada de umidade e protege as células de elementos externos. Além disso, oferece isolamento elétrico adicional (TOMASQUIM,2016).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (PINHO; GALDINO, 2014). O funcionamento dos dispositivos eletrônicos no interior da célula solar é responsável pelo estudo do fenômeno que causa perdas de potência por aumento da temperatura nas células. A partir do estudo dos dispositivos semicondutores presentes no interior das células solares podemos explicar como se dá as perdas de tensão devido ao aumento da temperatura no painel fotovoltaico.

Segundo Pinho e Galdino (2014), as perdas de tensão na célula de silício cristalino com um aumento de 100°C na temperatura, produz variação de $-0,2\text{ V}$ (-30 %) em V_{oc} e de $+ 0,2$ em I_{sc} . Os testes de laboratório comprovam que quando o painel solar alcança uma temperatura superior a 25 °C (temperatura do painel em condições de laboratório - condições padrões de testes - STC) o painel perde eficiência. A partir da relação entre as interações da matéria e a radiação solar, pode-se definir as causas de tais perdas na geração de energia (STAMBUK, 2017). O estudo está direcionado às características dos semicondutores presentes em grande parte das células solares e como ocorrem tais interações entre as partículas a nível atômico.

1.1.1. Semicondutores

Durante o século XIX Michael Faraday percebeu que os semicondutores apresentavam comportamento diferenciado dos metais no que se refere à dependência da condutividade com a temperatura. Enquanto a condutividade diminui com o aumento da temperatura para os metais, ela aumenta para os semicondutores. De acordo com Young e Freedman (2016), um semicondutor possui uma resistividade elétrica intermediária entre a de um bom condutor e a de um bom isolante. A extraordinária importância dos semicondutores na eletrônica moderna decorre do fato de que suas propriedades elétricas são muito sensíveis a pequenas variações de impurezas.

Os semicondutores são materiais com condutividade elétrica mensurável, que ao contrário dos condutores metálicos, aumentam com a temperatura (GUTZ, 2018). O semicondutor é formado de níveis de energia entre o orbital que liga o nível de menor energia e o orbital antiligante de maior energia, a chamada banda. Quanto maior a força de interação entre os átomos vizinhos, maior é a diferença de energia entre esses níveis e, portanto, mais larga é a banda.

Na figura 4, o esquema representativo dos níveis de energias de metais, semicondutores e isolantes são divididas em três bandas: banda de condução (parte superior), banda de energia ou banda proibida (parte intermediária) e banda de valência (parte inferior). Cada banda pode ser classificada de acordo com o tipo de orbital atômico que a constitui. À medida que a distância entre os átomos diminui, os níveis de energia se espalham, formando as bandas de energias, e estas determinam, se um material é condutor, semicondutor ou isolante, a partir da extensão da banda proibida (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

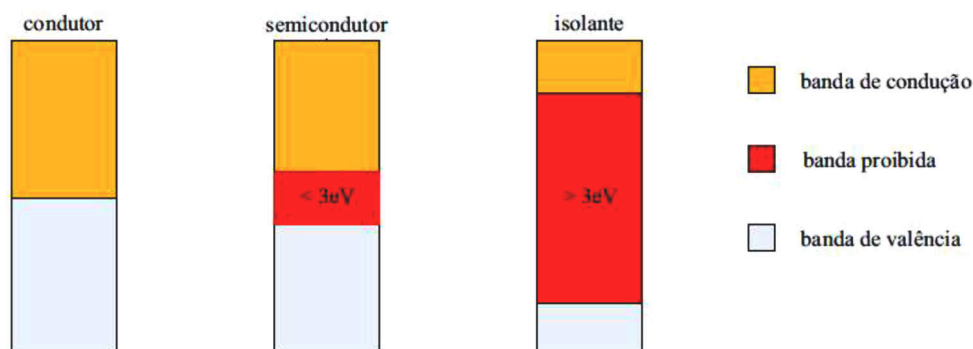


Figura 4. Diferenças entre metal, semicondutor e isolante.

Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

A banda de condução é completamente vazia e não existem elétrons em seus estados, exceto em condutores, já a banda de valência é completamente preenchida por elétrons, a banda proibida é o espaço por meio do qual os elétrons livres da banda de valência devem se deslocar para chegar à banda de condução (MARQUES, 1997). De acordo com Gutz (2018), a diferença de energia delimitada pela sua largura é chamada de Band Gap (banda proibida). A existência da Band Gap está condicionada à largura das bandas consecutivas e à separação energética dos tipos de orbitais envolvidos na formação de cada uma.

A figura 4 ainda denota que estão diferenciados os tipos de materiais de acordo com a extensão da banda proibida. Para um condutor (metal) existe uma sobreposição das bandas adjacentes (ausência de band Gap), além disso a banda de condução é parcialmente preenchida. Nos semicondutores a banda de condução é vazia, a banda de energia tem uma pequena extensão, sendo responsável por uma condução parcial dos elétrons, além disso é necessário evidenciar o nível de Fermi que passa no centro da band Gap do material (MARQUES, 1997).

O nível de Fermi não corresponde necessariamente a um nível real, podendo se localizar no meio da banda proibida onde não há orbitais. O nível de Fermi é um parâmetro de suma importância na caracterização de materiais, pois, juntamente com a estrutura, possibilita prever seu comportamento elétrico (GUTZ, 2018).

No caso do material isolante, percebe-se a mesma configuração dos semicondutores, no entanto, a banda de energia é mais extensa, dificultando a passagem dos elétrons da banda de valência para a banda de condução. Para que um elétron de um material semicondutor possa sair da sua camada de valência, é necessária uma determinada absorção de energia, levando-o a atingir um nível mais alto de energia de condução. Essa quantidade de energia é chamada de energia de banda de zona proibida ou Band Gap (PINHO; GALDINO, 2014; STAMBUK, 2017).

As células solares são compostas pela junção de dois semicondutores de silício dopado. A dopagem consiste na perturbação da estrutura cristalina de um material. Isso é feito adicionando-se elementos químicos que atrapalharão a ligação atômica do semicondutor. Com esse processo, é possível controlar a concentração de portadores de cargas e assim modificar as propriedades elétricas do material. No painel solar observa-se a junção de dois semicondutores de silício dopados um do tipo P e outra de tipo N (CHEN, 2011).

O silício possui quatro elétrons de valência e necessita de mais quatro átomos vizinhos

para formar uma ligação covalente. Para a obtenção do semiconductor do tipo P adiciona-se ao cristal de silício impurezas ou dopantes com três elétrons na camada de valência de modo que ficará faltando um elétron (lacuna) na estrutura cristalina. No caso do semiconductor tipo P, visto na figura 5a, é adicionado dopantes do Boro figura 5b da família A3 na tabela periódica, que quando exposto a temperatura ambiente fica positivamente carregado (CHEN, 2011).

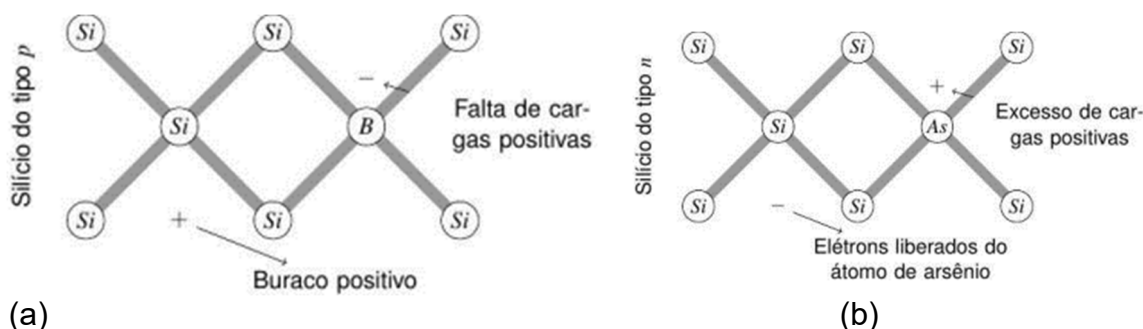


Figura 5. Estrutura cristalina do semiconductor de silício dopado do tipo P (a) e N (b).
Fonte: (PEREIRA, 2021).

Para o semiconductor de tipo N é inserido um elemento com cinco elétrons na camada de valência (fósforo ou arsênio), o quinto elétron ficará fracamente ligado ao átomo de origem. Quando o semiconductor estiver à temperatura ambiente, esse elétron ficará livre, fazendo com que o cristal de silício dopado com esse material fique negativamente carregado. No caso da figura 5b a dopagem foi realizada com elementos do fósforo (P) da família A5.

Segundo Chen (2011), quando um semiconductor do tipo P e um semiconductor do tipo N são reunidos, um potencial embutido é estabelecido. O nível de Fermi de um semiconductor do tipo P é perto do topo da banda de valência e o nível de Fermi de um semiconductor tipo N está perto da parte inferior da banda de condução, há uma diferença entre os níveis dos dois lados. Quando as duas peças são combinadas para formar um único sistema, os níveis de Fermi devem estar alinhados. Como resultado, os níveis de energia dos dois lados devem sofrer uma mudança com um potencial V_0 , de modo que pode ser calculado o potencial embutido (V_0) pela Equação 1 com E_{cp} sendo a energia no semiconductor P e E_{cn} a energia no semiconductor N.

$$qV_0 = E_{cp} - E_{cn} \quad (1)$$

Um silício tipo N altamente dopado, com uma espessura de uma fração de um micrômetro foi gerado por dopagem com fósforo de concentração muito maior. Por causa do potencial embutido (V_0) da junção PN (Figura 6), os elétrons migram para a região do tipo P, gerando energia elétrica semelhante a uma bateria eletroquímica (CHEN, 2011).

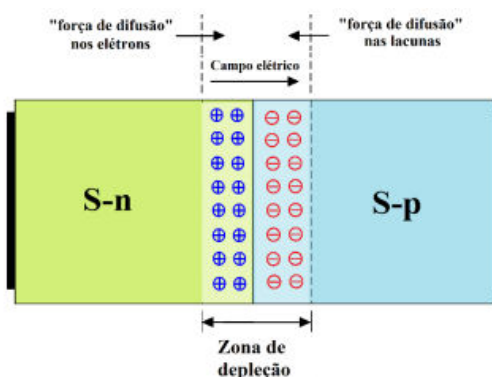


Figura 6. Junção PN de uma célula solar
Fonte: (SOUSA, 2021).

1.2. TERMALIZAÇÃO

Durante o processo de geração de energia no painel fotovoltaico pode ocorrer um fenômeno comum ao material semiconductor devido a sensibilidade a altas temperaturas, conhecido como termalização. Esse fenômeno físico consiste na absorção de fótons com energia superior ao band Gap que resulta em dissipação de energia em forma de calor no material (STAMBUK, 2017). De acordo com Stambuk (2017), isto ocorre porque o espectro de luz é formado por diversos níveis de energia, nem todos os comprimentos de onda poderão ser aproveitados no efeito fotocondutivo. Dessa forma, fótons com menos energia que o bandgap passarão direto pela célula solar, exemplo disso, são as ondas de rádio que não possuem energia suficiente e logo não desempenham nenhum papel na conversão fóton-elétron. A absorção de fótons com energia superior ao bandgap resulta em dissipação de energia em excesso na forma de calor no material, dando origem a termalização, como pode ser observado na Figura 7 (PINHO; GALDINO, 2014).

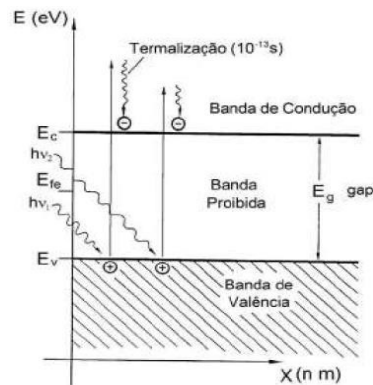


Figura 7. Geração de pares elétron-lacuna pela incidência de fótons no material semicondutor, chamado efeito fotocondutivo

Fonte: (PINHO, 2014).

Como resultado dessas perdas de energia pode-se observar na curva I-V (Figura 1) a queda de tensão no painel fotovoltaico diretamente proporcional ao aumento da temperatura. Segundo Daltrozo et al. (2018) todos os painéis solares perdem eficiência quando aquecem. O coeficiente de temperatura de P_{max} (potência máxima) demonstra o quanto de energia o painel perde para cada $^{\circ}C$ acima de $25^{\circ}C$ ($25^{\circ}C$ é a temperatura do painel em condições de laboratório – condições padrão de teste – STC). O coeficiente P_{max} é uma especificação do fabricante. O cálculo do coeficiente de perda é dado pela Equação 2:

$$Perdas\ do\ painel = (1 - (Temp_p - 25^{\circ}C)) \times \%P_{max} \quad (2)$$

A partir da Equação 2 podemos determinar qual a queda de potencial no painel fotovoltaico quando a temperatura varia para valores superiores a $25^{\circ}C$, e conseqüentemente a eficiência do painel.

2. MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho fundamentam-se em aspectos que estão baseados em análises bibliográficas de diversos trabalhos relacionados ao funcionamento dos painéis solares e suas perdas de eficiência devido ao aumento da temperatura.

Para a montagem do circuito utilizamos o ACS712 de 20^a , que é um sensor de corrente invasivo para baixas e médias correntes com alta sensibilidade, capaz de medir

valores de corrente contínua e alternada a partir do efeito Hall, que gera uma saída de tensão proporcional a corrente que flui entre os pinos. No sistema, este sensor foi responsável por fazer a leitura da corrente e potência circulando no painel solar, além disso, o RTC 3231, adicionado com o objetivo de ter segurança de data e hora que as informações foram recebidas.

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia, este módulo é capaz de fornecer informações como segundos, minutos, dia, mês, ano. O circuito utilizado no sistema contou também com um Dht11, sensor de temperatura e umidade, que ficou responsável pelas medidas desses parâmetros para efeito de comparação, bem como, o uso de cinco sensores lm35 que foram colados na parte de trás do painel fotovoltaico com intuito fazer a medição das temperaturas em quatro extremidades e no centro do painel, de modo que o software calculasse a média global do parâmetro no módulo solar. O microcontrolador destinado ao projeto foi o *Arduino mega*, Figura 8, que recebeu os dados dos sensores e os enviou para o módulo microSD, que faz o papel do nosso banco de dados.



Figura 8. circuito utilizado no projeto.

Na montagem do dispositivo utilizamos um painel fotovoltaico monocristalino de 50W (potência máxima), 17,74V (tensão nominal), modelo HG 50, objeto de estudo do projeto. Montamos um sistema off grid, ou seja, com armazenamento de energia em uma bateria de 12V. A energia armazenada na bateria serviu como fonte de alimentação para o circuito, além de uma lâmpada que serviu de carga para sistema.



Figura 9. montagem e execução do projeto

Na figura 9, temos o sistema montado e em funcionamento de modo que podemos ligar uma lâmpada mostrando que a bateria está carregada e alimentando todo o sistema. Além de todos os componentes eletrônicos citados anteriormente acrescentamos ao sistema um divisor de tensão para o Arduino ser alimentado com 9 V e não 12V que é a tensão da bateria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Stambuk (2017), a energia necessária para um elétron deslocar-se da Banda de Valência à Banda de Condução é denominada de Energia de Gap ou somente pelo termo Bandgap. Essa energia varia de material para material, onde em materiais condutores esse valor é zero. Para os materiais isolantes é necessária a energia de pelo menos 3eV, e para os materiais semicondutores, o valor de energia varia de zero a 3eV. No entanto, quando a energia do elétron é superior a energia de Gap ocorre as perdas de energia na forma de calor no painel fotovoltaico definida como termalização.

O estudo da termalização tem grande contribuição para o aprimoramento da energia fotovoltaica. O fenômeno físico estudado é responsável pelas perdas de eficiência no painel solar quando alcança altas temperaturas, a partir da dissipação de energia na forma de calor.

A causa de tais perdas ocorre porque os semicondutores têm grande sensibilidade a temperatura, e quando isso acontece o material absorve fótons com energia superior a energia da banda proibida, resultando no aquecimento do painel.

As pesquisas de Goldschmidt (2009) demonstraram que mais de 55% da energia perdida no painel fotovoltaico se dá através da termalização ou falta de energia para a conversão fóton-elétron. Na figura 10, a cor vermelha indica os fótons que podem ser absorvidos e geram eletricidade em células fotovoltaicas.

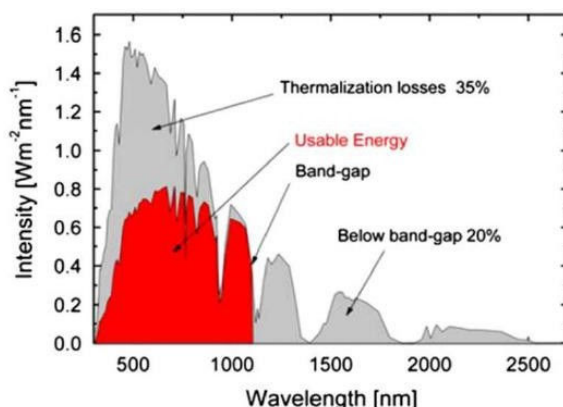


Figura 10. Comprimento de onda x Energia
Fonte: (STAMBUK, 2017).

A termalização está sendo representada no gráfico com uma porcentagem de 35% das perdas. Portanto, o fenômeno descrito tem grande influência na eficiência energética e na geração de energia solar.

O aumento da temperatura provoca dois efeitos na saída elétrica da célula. O principal efeito é uma diminuição da tensão de forma diretamente proporcional ao aumento da temperatura. Um segundo efeito de menor repercussão é um pequeno incremento da corrente para valores baixos de tensão (BELTRÃO, 2008).

Na figura 10, que trata da curva *corrente e tensão*, podem ser observados os efeitos descritos por Beltrão. Esses efeitos resultam nas perdas de eficiência no painel fotovoltaico e foi com base nas observações da redução exacerbada de tensão que as pesquisas relativas a esse fator de perdas iniciaram.

Segundo Teixeira e Silva (2019), o efeito de altas temperaturas na geração de energia solar pode comprometer a eficiência energética dos sistemas fotovoltaicos. Isso foi comprovado pelo dispositivo microcontrolado que detectou quedas acentuadas na tensão

final gerada no painel fotovoltaico.

Os problemas de perdas de eficiência por termalização são mais comuns em painéis de silício cristalino, que também são os mais usados e mais estudados, responsáveis pela maior parte das pesquisas citadas até então.

O painel de estudo, modelo HG 50 perde potência com coeficiente de temperatura de 0,39% por grau acima de 25 °C. Com base nesse coeficiente podemos calcular as perdas de energia no painel fotovoltaico durante os dias mais quentes do mês utilizando a Equação 3, onde T_{emp} é a temperatura do painel, 25°C a temperatura padrão de laboratório e 0,0039 é o coeficiente de temperatura determinado pelo fabricante.

$$Perdas\ do\ painel = (1 - (T_{emp} - 25^{\circ}C)) \times 0,0039 \quad (3)$$

Após a montagem do protótipo foi possível obter os dados de temperatura, potência, corrente e umidade, para que a análise desses parâmetros fosse iniciada. O monitoramento da geração de energia do painel foi feito durante os meses de maio, junho e julho. As informações coletadas foram armazenadas com um intervalo de tempo de cinco minutos, de modo que a perda de dados não fosse significativa para os resultados desejados.

Com base nas análises feitas durante o período de funcionamento do dispositivo, percebeu-se que o quantitativo de dados era muito grande e repetitivo, por isso resolvemos utilizar os dias mais quentes do mês que represente o estudo das perdas nesse período. No primeiro mês, já podemos observar temperaturas no painel entre 38°C e 59°C. A partir desses parâmetros determinamos as perdas percentuais de potência no painel durante o dia mais quente do mês, em determinados horários, a fim de obtermos o máximo de perdas ocasionadas pelo superaquecimento do painel fotovoltaico.

Tabela 1. Dados dos horários de pico no mês de maio

Data	Hora	Temp _p (°C)	Pot(W)	Cor(A)	Perdas/mês (%)
27/05/2020	11:50	51,91	31	1,78	
27/05/2020	11:55	49,86	33	1,8	
27/05/2020	12:00	53,37	35	1,99	
27/05/2020	12:05	54,57	33	1,9	-9%
27/05/2020	12:10	55,13	35	1,88	
27/05/2020	12:15	52,76	35	1,98	
27/05/2020	12:20	53,15	34	1,9	

As variáveis Temp (temperatura do painel), POT (potência do painel) e COR (corrente circulando no painel) foram obtidas a partir do funcionamento do sistema microcontrolado, com o intuito de determinar as perdas de potência do painel exposto a altas temperaturas.

O dia 27/05/2020 foi selecionado para a discussão do trabalho, pois conta com as temperaturas de maior pico de maio, e por consequência a maior perda de potência, que está entre 5% e 13% nos horários descritos, além disso, obtemos a perda total no mês de maio de 9%.

A cada 5 minutos as informações de perdas sofrem modificação de acordo com a queda ou aumento em Temp. Utilizando as informações da tabela acima traçamos as curvas de comparativas entre a temperatura do painel (Temp) e potência (POT), em seus respectivos horários, como pode ser visto na figura 11.

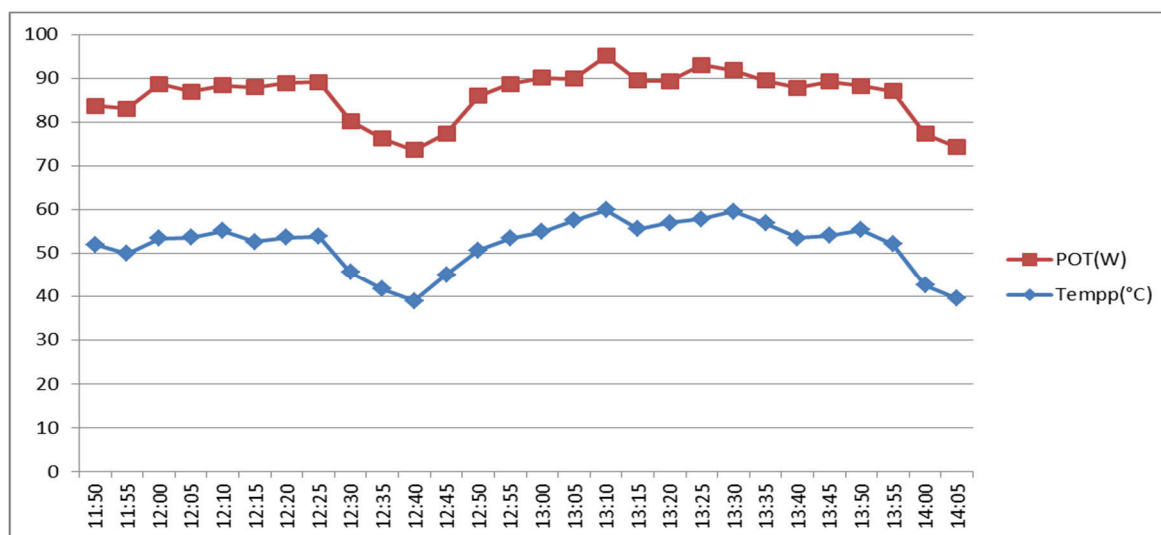


Figura 11. curvas comparativas Temp x POT do mês de maio.

Ao comparar as curvas é possível perceber alguns pontos onde a temperatura do painel aumenta e a potência também, esses são os pontos que representam menor taxa de queda de potência e, portanto, maior geração de energia, do mesmo modo, os pontos que representam o aumento de temperatura e uma leve queda na potência expõem as maiores taxas de perdas.

No mês de junho, temos as taxas de perda mensal distintas do mês anterior. Utilizamos dados de dias e horários diferentes do anterior por se tratar dos dias de maiores temperaturas do mês de junho.

Tabela 2. Dados dos horários de pico do mês de junho

Data	Hora	Temp(°C)	Pot(W)	Cor(A)	Perdas/mês (%)
02/06/2020	10:00	50,24	32	1,81	
02/06/2020	10:05	50,15	32	1,8	
02/06/2020	10:10	50,05	33	1,8	
02/06/2020	10:15	51,03	33	1,8	
02/06/2020	10:20	50,15	32	1,88	-11%
27/05/2020	12:15	52,76	35	1,98	
27/05/2020	12:20	53,15	34	1,9	

Podemos perceber com a figura 12 um aumento significativo na perda de potência no mês de junho. Tivemos uma elevação nas perdas por superaquecimento de 2% em relação ao mês anterior, apesar de uma potência superior a 33 W, os cálculos determinaram uma perda mensal de 11% o que significa que a eficiência energética do painel está em 89%.

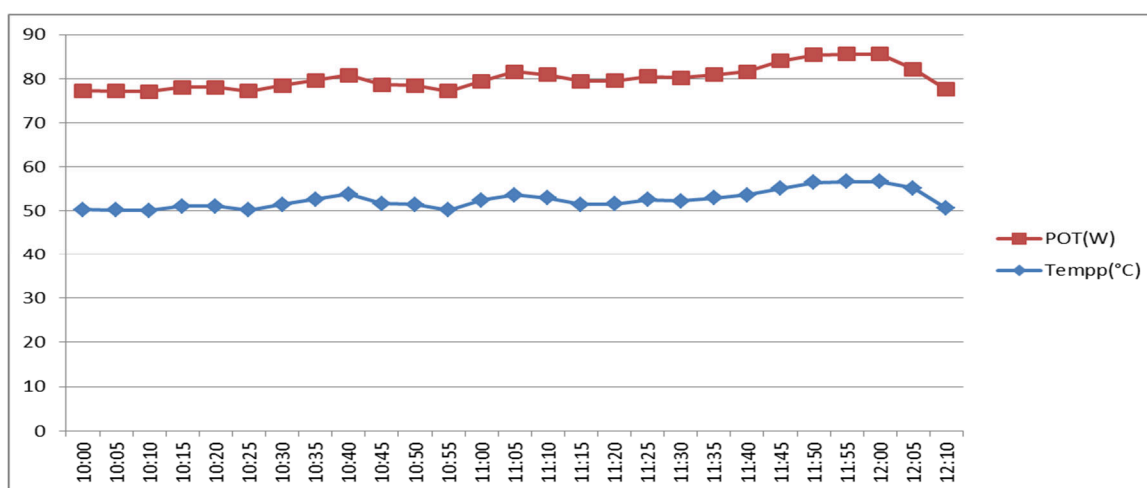


Figura 12. curvas comparativas Temp x POT do mês de junho.

O gráfico de potência do mês de junho tem curvas mais acentuadas sem muita variação, temos um percentual de perdas por mês maior que no período anterior. O percentual da perda mensal alto, como esse, causa grande preocupação, pois significa que o painel está com sua eficiência muito baixa em relação ao esperado. Em julho registramos o percentual de perdas inferior aos demais meses tratados neste trabalho. A partir das leituras realizadas pelos sensores e armazenadas no microSD, observamos temperaturas inferiores aos parâmetros mencionados anteriormente e conseqüentemente perdas de potência menores, de modo que podemos perceber um bom rendimento na geração de energia.

Tabela 3. Dados dos horários de pico do mês de julho.

Data	Hora	Temp(°C)	Pot(W)	Cor(A)	Perdas/mês (%)
08/07/2020	13:15	34,21	33	1,81	
08/07/2020	13:20	37,9	34	1,8	
08/07/2020	13:25	40,9	34	1,8	
08/07/2020	13:30	43,4	29	1,8	-7%
08/07/2020	13:35	44,57	23	1,88	
08/07/2020	13:40	42,3	22	1,98	
08/07/2020	13:45	41,06	23	1,9	

Abaixo podemos observar a figura 13 que mostra o gráfico comparativo da Temp e POT, com característica crescente, resultado dos dias menos quentes, de modo que o painel perde menos potência resultando numa melhor eficiência energética do painel, de acordo com a literatura estudada para a realização deste trabalho.

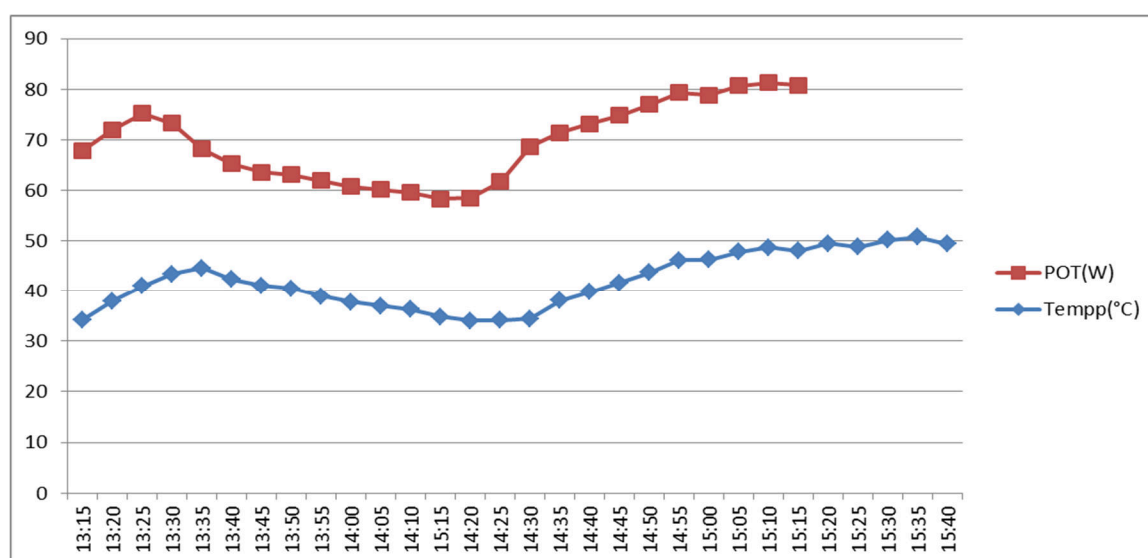


Figura 13. curvas comparativas Temp x POT do mês de julho.

O problema da termalização no painel fotovoltaico é uma constante no sistema de geração de energia solar. No entanto, existem alternativas para amenizar tais danos causados por esse fenômeno de perdas de eficiência no sistema fotovoltaico, como o uso da água e ar como meio refrigerante em sistemas fotovoltaicos híbridos.

Segundo Stambuk (2017), a maioria dos estudos sugerem soluções para dispersar o calor no painel através do design, características de montagem, materiais a serem utilizados na fabricação dos painéis ou até soluções mais criativas, como por exemplo, a utilização de um filme fino de água fluindo na frente do painel fotovoltaico que garanta o resfriamento e a

limpeza dos painéis. Dentre as soluções mais utilizadas pode-se citar a circulação natural de ar (sistema PV/T a ar), ilustrada na figura 14a, circulação de ar forçada e o resfriamento hidráulico (sistema PV/T a água), ilustrada na figura 14b.

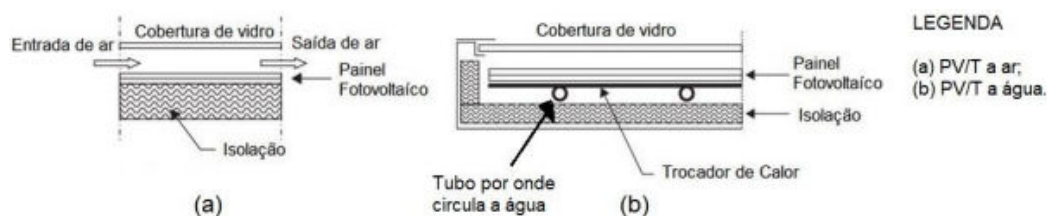


Figura 14. Sistema híbrido de resfriamento de painel solar.

Fonte: (NASCIMENTO, 2020).

Os dados coletados e analisados durante os três meses comprovam a carência de tecnologias capazes de amenizar tais perdas, pois para grandes sistemas de geração de energia fotovoltaica, quedas de potência como as obtidas neste trabalho causam grandes prejuízos em usinas ou até mesmo residências que desejam utilizar uma energia limpa e rentável. É de suma importância que tecnologias de resfriamento de painéis solares sejam desenvolvidas e aplicadas, pois sistemas como esses podem fazer grande diferença no rendimento do sistema de painéis fotovoltaicos, principalmente em grandes empreendimentos como usinas solares.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho desenvolveu um estudo sobre a perda de potência no painel fotovoltaico relacionado ao aumento da temperatura. Foram realizadas análises em diversos trabalhos que serviu como base para o desenvolvimento de conteúdos relacionados ao funcionamento dos painéis fotovoltaicos, composição, e fatores de perdas.

A discussão sobre o funcionamento do painel foi de grande importância para a compreensão dos fatores causadores das perdas de potência em decorrência do aumento da temperatura e a influência da relação entre radiação e matéria a nível atômico

O estudo sobre a relação entre radiação e matéria foi realizada de forma minuciosa ao abordar os conteúdos dos semicondutores, e suas principais características quando submetidos à uma radiação. Além disso, as análises e discussões desenvolvidas com a

finalidade de melhorar a compreensão acerca do assunto tratado, aponta para soluções que possam reduzir as perdas no painel.

O presente trabalho também discutiu como o fenômeno de perda de potência em painéis fotovoltaicos podem impactar a produção de uma energia limpa e sustentável. Buscar alternativas que possam ser simples e de baixo custo, se faz necessário para que este problema possa ser atenuado, otimizando assim, todo o processo de produção que engloba, desde a produção dos módulos fotovoltaicos ao próprio processo de geração de energia.

Painéis mais eficiente terão seus custos reduzidos, pois, para uma mesma demanda poderá ter menores dimensões, otimizando o uso da matéria-prima, culminando num processo de preservação ambiental mais acentuado.

As discussões e os resultados aqui apresentados, bem como a exposição teórica sobre o comportamento dos semicondutores quando expostos a radiações, ajudam a entender como efetivamente este fenômeno ocorre, o que contribui para o entendimento destes conteúdos.

5. REFERÊNCIAS

BACCARO, A. L. B.; IVANO, G. R. G. Fotoeletrocatalise em Semicondutores: Dos Princípios Básicos Até Sua Conformação À Nanoescala. **Quim Nova**, v. 4, n. 3, p. 326-339, 2018.

BELTRÃO, R. E. A. **Efeito na geração de energia de módulos fotovoltaicos submetidos a condições climáticas distintas. Estudo de caso para as localidades de Recife e Arapiraca.** UFPE, 2008.

CASSIANO, G. B. **Análise da Geração de Energia Solar Fotovoltaica: Estudo de Caso em um Supermercado no Mato Grosso do Sul.** (TCC) Graduação em Engenharia Elétrica - UFMS. Campo Grande - MS, 2020.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica.** DEEC/Seção de Energia Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/51519880/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 18/05/2022.

CHEN, C. J. **Physics of Solar Energy.** Department of Applied Physics and Applied Mathematics Columbia University, 2011.

DALTROZO, J. G.; GARLET, L.; LOURENÇO, W. M.; RUVIARO, R. S.; SANTOS Í. P. Análise da Variação da Eficiência do Módulo Fotovoltaico em Função da Temperatura. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.** Gramado, 2018.

MACHADO, K. S. V.; CORREA, N. **Análise do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica Em Curitiba.** (TCC) Graduação em Engenharia Elétrica, Curitiba, 2015.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARQUES, A. E. B. **Dispositivos semicondutores: diodos e transistores.** Saraiva Educação SA, 1997.

NASCIMENTO, V. F. **Projeto de um painel solar híbrido.** 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1386/TCC_Vin%C3%ADcius%20Francisco%20Nascimento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 de maio de 2022

PEREIRA, M. C. B.; RODRIGUES, C. G. Comparativo da mobilidade eletrônica do arseneto de gálio com outros semicondutores. **Brazilian Journal of Business**, v. 3, n. 2, p. 1853-1860, 2021.

PEREIRA, S. C. M. **Projeto de microgeração fotovoltaica conectada à rede de distribuição com análise econômico-financeira para a comunidade do quilombo do campinho da independência em paraty – RJ.** (Monografia) Graduação em Engenharia Elétrica – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

PINHO, J.P.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos,** CEPEP – CRESECB, 2014.

SIMIONI, T. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico do Brasil.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

SOUSA, P. P. A. **Célula solar baseada em junção Schottky grafeno/silício atuando com alta eficiência de conversão de energia.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58280/1/2021_dis_ppadsousa.pdf>. Acesso em: 21/05/2022.

SOUZA, J. R. P. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitose Aplicações para o Ensino Médio.** (Dissertação) Mestrado em Ensino de Física - UFPA / IF, Pará, 2016.

STAMBUK, R. H. **Influência da temperatura no desempenho desistemas fotovoltaicos.** (Monografia) Especialização emEnergias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

TEIXEIRA, V. A.; SILVA, O. Desenvolvimento de dispositivomicrocontrolado de baixo custo para medição e armazenamento de dadosde umidade do ar e temperaturas em painéis solar através de um sistemaGRID. **XIV Congresso de Iniciação Científica – CONIC.** Recife: IFPE, 2019.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa,Eólica, Solar, Oceânica.** EPE: Rio de Janeiro, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna.** 14ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ORGANIZADORES

José Genivaldo do Vale Moreira



José Genivaldo do Vale Moreira, acreano, licenciou-se em Matemática pela UFAC, em 2004, através do Programa Especial de Formação de Professores para a Educação Básica. Iniciou o Mestrado em Matemática no primeiro semestre de 2012, em MINTER entre UFAM e UFAC, entretanto, no segundo semestre do mesmo ano se desligou para ingressar no Doutorado, na forma de DINTER entre UFMG e UFAC. Concluiu Doutorado em 2016, no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Ingressou como docente efetivo da UFAC em 2009, no Campus Floresta, em Cruzeiro do Sul, onde atua com ensino, pesquisa e extensão. Na graduação, trabalha regularmente com disciplinas que atendem aos cursos de Engenharia Agrônoma, Engenharia Florestal e Ciências Biológicas. Na pós-graduação, atua no Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, vinculado ao Campus Sede, além do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, do Campus Floresta. Já na extensão, atua comumente em cursos voltados ao uso de ferramentas de apoio a análise estatística. Atualmente ocupa o cargo de vice-diretor do CMULTI, Campus Floresta.

Rodrigo Otávio Peréa Serrano



Rodrigo Otávio Peréa Serrano, rondoniense, graduou-se em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Acre - UFAC (2000) e Formação Pedagógica em Geografia (2019), tem mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Acre (2005) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2017). Atuou como professor de geoprocessamento e topografia do centro multidisciplinar do CMULT/UFAC Campos Floresta de 2006 - 2010. Atualmente é professor 3º grau da Universidade Federal do Acre da área de cartografia. É coordenador da área de geografia do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID-UFAC) e coordenador do Laboratório de Cartografia da UFAC. Tem pesquisas na área de aproveitamento hidráulicos e sustentabilidade, atuando principalmente nos seguintes temas: Recursos hídricos, manejo de bacias, saneamento, desgaste hidroabrasivo e transporte de sedimentos fluviais.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise Granulométrica: 57, 62 e 68.

Aprendizagem: 25, 26, 32 e 37.

Areia Normal: 57, 58, 62, 67, 68, 69, 70 e 71.

B

Besouro-do-fumo: 73.

C

Controle Alternativo: 73 e 74.

D

Deslocamento de Fluido: 7.

Distribuição de Poisson: 25, 28, 29, 30 e 32.

E

Energia Solar: 83, 84, 85, 86, 87, 95 e 99.

Ensino de Física: 83.

Esgotamento Sanitário: 38, 39, 40, 41, 42, 49, 50, 52, 53 e 54.

Estação de Tratamento de Esgoto: 38 e 53.

Extração de Areia: 57, 58 e 71.

F

Força de Arrasto: 7, 17 e 21.

G

Geogebra: 25, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.

Grãos Armazenados: 73 e 74.

I

Inseticida Botânico: 73.

S

Saneamento Básico: 38, 39, 40, 53 e 54.

Semicondutores: 83, 84, 85, 87, 88, 89, 94, 95, 100 e 101.

Sistema de Bombeamento: 7, 8, 10 e 23.

ISBN: 978-65-86283-79-2

ORL



9 786586 283792

DOI: 10.35170/ss.ed.9786586283792