

# PERQUIRERE

Engenharias, Ciências Exatas e  
da Terra

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas  
n. 17, vol. 2 - maio/ago. de 2020



# Revista Perquirere

---

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas

ISSN 1806-6399

Número 17, Volume 2, maio/ago. de 2020

Patos de Minas: Revista *Perquirere*, UNIPAM, n. 17, vol. 2: 1-267



Centro Universitário de Patos de Minas



Núcleo de Editoria e Publicações

**UNIPAM | Centro Universitário de Patos de Minas**

**Reitor**

Milton Roberto de Castro Teixeira

**Pró-reitor de Ensino, Pesquisa e Extensão**

Henrique Carivaldo de Miranda Neto

**Pró-reitor de Planejamento, Administração e Finanças**

Renato Borges Fernandes

**Coordenadora de Extensão**

Adriana de Lanna Malta Tredezini

**Diretora de Graduação**

Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues

**Coordenador do Núcleo de Editoria e Publicações**

Geovane Fernandes Caixeta

A Revista *Perquirere* é uma publicação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), de acesso gratuito, destinada, primordialmente, a divulgar a produção oriunda do programa de iniciação científica (PIBIC) mantido pela instituição.

Catálogo na Fonte  
Biblioteca Central do UNIPAM

---

P447 Perquirere [recurso eletrônico] / Centro Universitário de Patos de Minas.  
– Dados eletrônicos. – N. 1 (2004)-. – Patos de Minas : UNIPAM,  
2004-

Anual: 2004-2009. Semestral: 2010-2016. Trimestral: 2017-  
Disponível em: <<https://revistas.unipam.edu.br>>  
ISSN 1806-6399

1. Periódicos – interdisciplinar. 2. Ciências biológicas. 3. Saúde.  
4. Engenharia. 5. Letras – artes. I. Centro Universitário de Patos Minas.  
II. Título.

CDD 056.9

---

**Centro Universitário de Patos de Minas**

Rua Major Gote, 808 – Caiçaras  
38702-054 Patos de Minas-MG Brasil

**NEP | Núcleo de Editoria e Publicações**

Telefone: (34) 3823-0341  
<http://nep.unipam.edu.br>

**Editora responsável**

Gisele Carvalho Araújo Caixeta

**Conselho editorial**

**Ciências da Saúde e Ciências Biológicas**

Adriana Cristina de Santana (UNIPAM)  
Bethânia Cristhine de Araújo (UNIPAM)  
Célio Marcos dos Reis Ferreira (UFVJM)  
Cleide Chagas da Cunha Faria (UNIPAM)  
Cleine Chagas da Cunha Arvelos (UNIPAM)  
Daniela Resende de Moraes Salles (Universidade Presidente Antônio Carlos – Araguari)  
Franciele Maria Caixeta (UNIPAM)  
Gilson Caixeta Borges (UNIPAM)  
Isa Ribeiro de Oliveira Dantas (UNIPAM)  
José Alfredo Dixini (UNIPAM)  
Juliana Ribeiro Gouveia Reis (UNIPAM)  
Karyna Maria de Mello Locatelli (UNIPAM)  
Luciana de Almeida França (UNIPAM)  
Luiz Henrique dos Santos (UNIPAM)  
Marilene Rivany Nunes (UNIPAM)  
Maura Regina Guimarães Rabelo (UNIPAM)  
Milce Burgos Ferreira (UNIPAM)  
Nádia Camila Rodrigues Costa Caixeta (UNIPAM)  
Natália de Fátima Gonçalves Amâncio (UNIPAM)  
Norma Aparecida Borges Bittar (UNIPAM)  
Odilene Gonçalves (UNIPAM)  
Priscila Capelari Orsolin (UNIPAM)  
Roane Caetano de Faria (UNIPAM)  
Rosiane Gomes Silva Oliveira (UNIPAM)  
Rosiane Soares Saturnino (UNIPAM)  
Rossana Pierangeli Godinho Silva (UNIPAM)  
Sandra Soares (UNIPAM)  
Talita Marques da Silva (UNIPAM)

**Engenharias, Ciências Exatas e da Terra**

Alice Pratas Glycério de Freitas (UNIPAM)  
Angelita das Graças de Oliveira Honorato (UNIPAM)  
Andréa de Freitas Avelar (UNIPAM)  
Bruno Batista Gonçalves (UNIPAM)  
Bruno Sérgio Vieira (UFU)  
Carlos Henrique Eiterer de Souza (UNIPAM)

Dayene do Carmo Carvalho (UNIPAM)  
Diego Alves de Moro Martins (UNIPAM)  
Eduardo Pains de Moraes (UNIPAM)  
Eneida César Mastrantonio (UNIPAM)  
Everaldo Antonio Lopes (UFV – Campus Rio Paranaíba)  
Fábio de Brito Gontijo (UNIPAM)  
Fernando Correa de Mello Junior (UNIPAM)  
Fernando Dias da Silva (UNIPAM)  
Guilherme Nascimento Cunha (UNIPAM)  
Gustavo Rodrigues Barbosa (UNIPAM)  
Janaina Aparecida Pereira (UNIPAM)  
José Mauricio da Rocha Junior (UNIPAM)  
Lucas Mendes da Silva (UNIPAM)  
Nancy Tiemi Isewaki (UNIPAM)  
Mariana Assunção de Souza (UNIPAM)  
Nádia Grandi Bombonato (UNIPAM)  
Nicolle Pereira Soares (UNIPAM)  
Patrícia Antunes dos Reis (UNIPAM)  
Paulo Eduardo Silva Martins (UNIT - Universidade Tiradentes)  
Pedro Junior Ashidani (UNIPAM)  
Renata Aparecida Vaz Rodrigues (UNIPAM)  
Renata Nepomuceno da Cunha (UNIPAM)  
Renato Ianhez (UNIPAM)  
Rodrigo Hiroshi Murofushi (UNIPAM)  
Ronan Magalhães de Sousa (UNIPAM)  
Sady Alexis Chavauty Valdes (UNIPAM)  
Sandro de Paula Matias (UNIPAM)  
Sheilla Pereira Vieira (UNIPAM)  
Thaís Reis dos Santos (UNIPAM)  
Thiago Vieira da Silva (UNIPAM)  
Tiago Santos e Souza (UNIPAM)  
Walter Vieira da Cunha (UNIPAM)  
Vinicius de Moraes Machado (UNIPAM)

### **Ciências Sociais Aplicadas, Letras e Artes**

Adriana Vieira Ferreira (UNIPAM)  
Cláudio Roberto Vaz Teixeira (UNIPAM)  
Consuelo Nepomuceno (UNIPAM)  
Elisa Aparecida Ferreira Guedes Duarte (UNIPAM)  
Elizete Maria da Silva Moreira (UNIPAM)  
Frederico de Sousa Silva (UFU)  
Gabriel Gomes Canedo Vieira de Magalhães (UNIPAM)  
Guilherme Caixeta Borges (UNIPAM)  
Helen Corrêa Solis Neves (UNIPAM)  
Jarbas Menezes (UNIPAM)  
Joana Darc dos Santos (UNIPAM)  
João Paulo Alves de Faria (UNIPAM)  
José Maria Marques (UNIPAM)  
Laércio José Vida (UNIPAM)

Luís André Nepomuceno (UNIPAM)  
Luiz Henrique Borges Varella (UNIPAM)  
Marcos Antônio Caixeta Rassi (UNIPAM)  
Margareth Aparecida Cândido (UNIPAM)  
Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues (UNIPAM)  
Mônica Soares de Araújo Guimarães (UNIPAM)  
Morisa Martins Jajah (UNIPAM)  
Pedro Henrique de Sousa Ferreira (UNIPAM)  
Sandro Ângelo de Andrade (UNIPAM)  
Sueli Maria Coelho (UFMG)  
Thiago Henrique Ferreira Vasconcelos (UNIPAM)  
Valério Nepomuceno (UNIPAM)  
Vidigal Fernandes Martins (UFU)

### **Revisão Geral**

Núcleo de Editoria e Publicações

## SUMÁRIO

---

<b>Sensibilidade de plantas de cobertura ao nematoide das galhas (<i>Meloidogyne incognita</i> e <i>M. javanica</i>) .....</b>	<b>09</b>
Gustavo Braga Babilônia Lucas da Silva Mendes	
<b>Uso de fertilizante orgânico associado a microrganismos no controle de nematoides (<i>Meloidogyne incognita</i>) .....</b>	<b>19</b>
Lourenço Antônio Melo Gontijo Lucas da Silva Mendes	
<b>Uso do RAPD-PCR para análise de variação genética em <i>Bacillus</i> sp.....</b>	<b>27</b>
Thaígoru Soares de Sousa Walter Vieira da Cunha	
<b>Utilização de bioestimulante e cálcio no cultivo da batata (<i>Solanum tuberosum</i> L.) .....</b>	<b>33</b>
Murilo Mendes Machado Vanessa Júnia Machado	
<b>Arquitetura sustentável: utilização de lodo das estações de tratamento de água na produção de telhas cerâmicas.....</b>	<b>41</b>
Carolina Kitzinger Dannemann Nunes Eduardo Pains de Moraes	
<b>Estudo luminotécnico – Laboratório de Eletrônica do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.....</b>	<b>56</b>
Gabriela Raissa Assunção de Andrade Wesley Pereira Marcos	
<b>Sensações e percepções advindas do espaço arquitetônico constituídas através das leis harmônicas musicais.....</b>	<b>73</b>
Leonardo Henrique Ferreira da Cruz Bruno Batista Gonçalves	
<b>Processo inicial de recuperação de área degradada em imóvel rural no município de Patos de Minas, MG.....</b>	<b>92</b>
Júnia Cristina Ferreira Sousa Vinicius de Moraes Machado	
<b>Análise do desempenho de telhas asfálticas em comparação aos produtos disponíveis no mercado de Patos de Minas e região.....</b>	<b>114</b>
Gisele Figueiredo Sanches Leonardo Willian Fidelis Silva Sheilla Pereira Vieira	

<b>Implementação de um gerador de sinais virtual destinado aos laboratórios de engenharia elétrica do UNIPAM utilizando LabVIEW.....</b>	<b>131</b>
Victor Henrique da Cunha Faria Adriellen Loiane Medeiros Ribeiro Fábio de Brito Gontijo	
<b>Módulo de disparo e controle de motor à relutância variável.....</b>	<b>146</b>
Erick de Araújo Silva João Marcos de Andrade Thiago Vieira da Silva	
<b>Viabilidade de expansão da geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico no UNIPAM.....</b>	<b>159</b>
Lucas Feliciano Amâncio Wesley Pereira Marcos	
<b>Análise da incorporação de fibra de cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum Schum</i>) como aditivo em argamassa.....</b>	<b>170</b>
Mônica Fernandes Caetano Victória Pereira dos Santos Eduardo Pains de Morais	
<b>Sinalização elétrica em Mimosa pudica L. advinda da ESEC de Pirapitinga (ICMBio) após estímulos mecânicos.....</b>	<b>186</b>
Wesley Ferreira do Prado Renato Ianhez	
<b>Síntese de biofilmes poliméricos utilizando amido de mandioca e milho.....</b>	<b>203</b>
Gustavo Gonçalves Silva Sandra Lúcia Nogueira	
<b>Aplicação para análise estatística ligada à pesquisa genética.....</b>	<b>215</b>
Bruno Alves Caixeta José Correa Viana Jeyson Césary Lopes	
<b>Comparação da alta disponibilidade implementada no PfSense e no Mikrotik.....</b>	<b>228</b>
Omar Junio Antunes Vieira José Corrêa Viana	
<b>Inteligência artificial aplicada à segurança da informação.....</b>	<b>241</b>
Alex Bruno Gonçalves Almeida Juliana Lilis da Silva	
<b>Efeitos do uso de silicato e calcário líquido sobre as características de fertilidade do solo e desenvolvimento do capim-marandu.....</b>	<b>255</b>
Alexandre Mendes Bento da Silva Hélio Henrique Vilela	

# Sensibilidade de plantas de cobertura ao nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*)

## *Sensitivity of cover plants to the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*)*

**Gustavo Braga Babilônia**

Graduando do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: [gustvobabilonia0@gmail.com](mailto:gustvobabilonia0@gmail.com)

**Lucas da Silva Mendes**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [lucassm@unipam.edu.br](mailto:lucassm@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade de plantas de cobertura ao nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.). Dois experimentos foram montados em casa de vegetação, sendo um para *M. incognita* e outro para *M. javanica*, durante 74 dias. As plantas de cobertura foram semeadas em substrato autoclavado e, após 14 dias, foram inoculadas com 5000 ovos de *M. incognita* e *M. javanica* em seus respectivos experimentos. 60 dias após a inoculação, foi calculado o fator de reprodução (FR) para cada espécie. Foi constatada a resistência de Crotalária (0,19), Milheto (0,19), Braquiária (0,31) e Mombaça (0,33) para *M. incognita*, e apenas de Crotalária (0,06) para *M. javanica*.

**Palavras-chave:** Experimentos. Fator de reprodução. Inoculação.

**Abstract:** This work aimed to evaluate the sensitivity of cover plants to the root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.). Two experiments were carried out in a greenhouse, one for *M. incognita* and the other for *M. javanica*, for 74 days. The cover plants were sown in an autoclaved substrate and, after 14 days, they were inoculated with 5000 eggs of *M. incognita* and *M. javanica* in their respective experiments. 60 days after inoculation, the reproduction factor (FR) was calculated for each species. The resistance of Crotalária (0.19), Milheto (0.19), Brachiaria (0.31) and Mombaça (0.33) was found for *M. incognita*, and only Crotalária (0.06) for *M. javanica*.

**Keywords:** Experiments. Reproduction factor. Inoculation.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. ou nematoide das galhas como conhecido popularmente, são compostos por diferentes espécies, dentre elas o *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. Esses nematoides se caracterizam por serem polívoros com grande poder devastador, representando atualmente uma séria ameaça para a segurança alimentar global (SHUKLA *et al.* 2018).

O gênero *Meloidogyne* spp. se caracteriza por ser altamente evoluído. Causa galhas nas raízes das plantas, que atuam como conjunto de células que irão nutrir os nematoides que ali parasitam (ABAD; WILLIAMSON, 2010). Capazes de causar grandes danos em diversas espécies, esse gênero compõe o grupo de nematoides de maior importância econômica (MOENS; PERRY; STARR, 2009), com estimativa de perdas em razão da infecção por esse patógeno na casa dos 100 bilhões de dólares anuais (TRUDGILL; BLOK, 2001, SHUKLA *et al.* 2018).

A rotação e sucessão de culturas com plantas antagonistas estão entre os métodos mais eficientes quando bem manejado, pois os nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. atacam a maioria das espécies cultivadas (ALMEIDA *et al.*, 1997). Além de as plantas antagonistas apresentarem como benefício o controle do patógeno, ainda podem contribuir para a fixação biológica do nitrogênio e para a capacidade de aumentar o teor de matéria orgânica do solo (FERRAZ; VALE, 1995).

Plantas leguminosas podem atuar como agentes antagônicos e alelopáticos ao *Meloidogyne* spp. (CHARCHAR; VIEIRA, 1991, JOHNSON *et al.*, 1992, CHARCHAR; MOITA, 1995, CHAVARRÍA-CARVAJAL; RODRÍGUEZ-KÁBANA, 1998, CHARCHAR *et al.*, 2009), assim como diversas gramíneas que também apresentam a capacidade de exercer a mesma função (BRITO; FERRAZ, 1987, MOJTAHEDI; SANTO; INGHAM, 1993, MACGUIDWIN; LAYNE, 1995, DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2003, CHARCHAR *et al.*, 2009). Existem diversas plantas resistentes ou tolerantes aos nematoides de diferentes gêneros, espécies e raças, muitas delas capazes de reduzir significativamente a população do patógeno. No entanto, muitas vezes, a capacidade de reduzir a população pode variar significativamente de espécie para espécie.

Diante desse cenário, foi necessário avaliar a sensibilidade de diferentes plantas de cobertura ao *M. incognita* e ao *M. javanica*, uma vez que os nematoides causam significativos prejuízos quando parasitam culturas de interesse econômico, e se encontram amplamente distribuídas, com grande dificuldade no controle (BELLÉ *et al.*, 2017). Dependendo da espécie de planta de cobertura utilizada e da espécie do nematoide presente no solo, pode ocorrer o inverso do desejado, pois, mesmo que uma planta venha a inibir o desenvolvimento de determinada espécie de nematoide, ela poderá favorecer o desenvolvimento de outra espécie (INOMOTO; ASMUS, 2009).

Dessa forma, este experimento teve como objetivo geral avaliar a sensibilidade de plantas de cobertura ao nematoide das galhas (*M. incognita* e *M. javanica*) por meio do desenvolvimento populacional dos nematoides na presença da cultura.

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido no período de 12/08/2019 a 25/10/2019, na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), em Patos de Minas (MG), cidade localizada a uma altitude de 850 m, em latitude: 18° 34' S, e longitude: 46° 30' O. Durante a condução do experimento, as temperaturas médias variaram de 41 a 43°C de máxima e 23 a 26°C de mínima (Tabela 1).

**Tabela 1** – Médias das temperaturas máximas e mínimas em °C obtidas no interior da casa de vegetação durante o período de condução do experimento. Patos de Minas (MG), 2019.

Períodos	Temperaturas médias em °C	
	Máxima	Mínima
12/08/2019 a 26/09/2019	43	26
27/09/2019 a 25/10/2019	41	23

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Foram estabelecidos dois experimentos, um para *M. incognita* e outro para *M. javanica*, sendo adotado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC). Foram utilizadas cinco plantas de cobertura: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*), Milheto (*Pennisetum glaucum*), Braquiária (*Brachiaria decumbens*), Ervilhaca (*Vicia craca*), Mombaça (*Panicum maximum cv. Mombaça*), e como testemunha utilizaram-se plantas de Pimentão Magali. No dia 12/08/2019, as sementes das respectivas plantas foram semeadas em vasos de 5 litros de volume, contendo substrato preparado com solo e areia lavada em proporção 2:1, autoclavado durante 20 minutos a 120°C. Cada experimento constituiu-se por seis tratamentos compostos por seis repetições, totalizando 36 parcelas (Tabela 2).

**Tabela 2** – Descrição dos respectivos tratamentos aplicados nos experimentos em Patos de Minas (MG), 2019

Tratamentos	Descrição
T1	Pimentão Magali R
T2	Crotalária
T3	Milheto
T4	Braquiária
T5	Ervilhaca
T6	Mombaça

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Durante a condução do experimento, foi aplicada em todas as parcelas a cada quinze dias, tendo começado um dia após a emergência, a solução nutritiva conforme proposta por Johnson *et al.* (1957), para que a planta pudesse se nutrir corretamente durante todo o período do experimento. A irrigação do experimento foi feita diariamente de modo a manter o substrato úmido.

No dia 26/08/2019, realizou-se o desbaste, de modo a deixar apenas uma planta por vaso. Nesse dia também se realizou a inoculação de 5000 ovos de *M. incógnita* e *M. javanica* por parcela em seus respectivos experimentos com o auxílio de uma pipeta,

utilizando o inóculo calibrado extraído das plantas de pimentão e quiabo mantidas em casa de vegetação. Assim, o inóculo foi pipetado e depositado nas proximidades da raiz.

No dia 25/10/2019, o experimento foi desmontado e todas as parcelas foram encaminhadas para o laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde se realizou a extração e quantificação de ovos das raízes e do solo, para posteriormente ser calculado o fator de reprodução (FR). A extração das raízes foi realizada baseando-se na metodologia de Boneti e Ferraz (1981), que consistiu em triturar as raízes por 20 segundos em um liquidificador à baixa rotação, juntamente com 25 mL de hipoclorito de sódio a 0,5% de concentração. Em seguida, a solução foi passada por uma peneira de 20 mesh acoplada à outra de 500 mesh; a solução restante da peneira de 500 mesh foi lavada com água corrente. A solução lavada foi transferida para tubos falcon com água destilada para que pudesse ser centrifugada com o auxílio de uma centrífuga por 4 minutos a 1750 RPM. Após os 4 minutos, descartou-se o líquido sobrenadante dos tubos falcon, completando a solução restante no fundo dos tubos com solução de sacarose na proporção de 454g de açúcar refinado para 1L de água, encaminhando novamente para centrífuga por 1 minuto a 1750 RPM. Completando 1 minuto, a solução sobrenadante foi despejada novamente sobre a peneira de 500 mesh, sendo lavada em seguida com água destilada para a retirada da sacarose, encaminhando a solução da peneira para um Becker com o auxílio de uma pisseta.

Para realizar a extração do solo, foi utilizada a metodologia de Jenkins (1964); foram coletados cem centímetros cúbicos de solo por cada vaso, posteriormente misturou-se em 2L de água corrente com o auxílio de um balde. Após a solução se homogeneizar, esperaram-se 20 segundos para ser decantada. Após a decantação, despejou-se a solução sobrenadante sobre uma peneira de 20 mesh acoplada à outra de 400 mesh, lavando a solução da segunda peneira com água corrente. O restante do processo é o mesmo utilizado para a extração das raízes.

Após a extração dos ovos de cada tratamento, foi contabilizado o número de ovos/sistema radicular, número de ovos e juvenis de estágio j<sub>2</sub> do solo com o auxílio de microscópio e lâmina de Peters; em seguida foi feito o cálculo fator de reprodução (FR= População final/População inicial), que foi a variável analisada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2000). Os tratamentos também foram analisados quanto a sua sensibilidade segundo a escala proposta por Oostenbrink (1966).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o cálculo do FR, a viabilidade dos inóculos de *M. incognita* e *M. javanica* foi avaliada e confirmada, mostrando-se suscetível segundo a escala proposta por Oostenbrink (1966), em que, se  $FR > 1$ , a espécie é considerada suscetível; se  $FR < 1$ , a espécie é considerada resistente. As plantas de Pimentão apresentaram FR de 24,5 para *M. incognita* e de 16,55 para *M. javanica*, diferindo-se estatisticamente das demais plantas de cobertura (Tabela 3). Esses resultados corroboram os de Huang (1992), que afirma que a maioria das cultivares de pimentão é suscetível ao *M. incognita*; no entanto, ele

também afirma que é bastante comum várias espécies serem resistentes ao *M. javanica*, o que não acontece para a cultivar Magali R avaliada no experimento. Rosa, Westerich e Wilcken (2013) constataram, em sua pesquisa, que nenhuma cultivar de pimentão das cinco avaliadas se mostrou suscetível ao *M. javanica*, no entanto, utilizaram com sucesso a cultivar Magali R para manter o inóculo em casa de vegetação, confirmando que essa cultivar é altamente suscetível a *M. javanica*. O pimentão cultivar Magali R cumpriu seu objetivo como testemunha, não se mostrando prejudicial a *M. incognita* ou *M. javanica*.

**Tabela 3** – Fator de reprodução (FR) obtido após a avaliação dos tratamentos. Patos de Minas (MG) 2019

Tratamentos	FR ( <i>M.incognita</i> )		FR ( <i>M.javanica</i> )	
Crotalária	0,19	a	0,06	a
Milheto	0,19	a	2,61	a
Braquiária	0,31	a	2,25	a
Mombaça	0,33	a	2,09	a
Ervilhaca	5,83	b	7,19	b
Pimentão	24,5	c	16,55	c
	CV(%)= 29,39		CV(%)= 34,82	

<sup>2</sup>Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: Dados da pesquisa, 2019

O FR das plantas de cobertura, tanto para *M. incognita* quanto para *M. javanica*, mostra que as plantas de Crotalária, Milheto, Braquiária e Mombaça se diferiram estatisticamente da Ervilhaca e do Pimentão (Tabela 3). Quando analisada a sensibilidade de cada tratamento, para *M. incognita* as espécies de Crotalária, Milheto, Braquiária e Mombaça se mostraram resistentes, enquanto para *M. javanica* apenas a Crotalária se destacou como resistente, segundo a escala de Oostenbrink (1966).

Esses resultados corroboram os de Ferreira (2018), em que, após implantar diferentes plantas de cobertura em área infestada por *M. incognita*, constatou a resistência de espécies de Crotalária e Milheto, respectivamente *Crotalaria juncea* e *Pennisetum glaucum*. Esses resultados também corroboram os obtidos por Rosa, Westerich e Wilcken (2013), em que as espécies *C. juncea* e *C. spectabilis* se comportaram como resistentes a *M. javanica*, no entanto nesse experimento o milho também se comportou como resistente.

Esses resultados podem se justificar pelo fato de as espécies de Crotalária apresentarem resistência a fitonematoides em razão de serem falsas hospedeiras – apesar de permitirem a penetração em suas raízes, não permitem que o nematoide atinja a fase adulta (SILVA *et al.*, 2013). Sano e Nakasono (1986) afirmam que o nematoide, após penetrar *C. spectabilis*, não consegue atingir seu 3º estágio, observando também início de necrose em juvenis de 2º estágio. Além disso, as Crotalárias podem produzir metabólitos

secundários como a monocrotalina, que tem potencial nematicida (WANG; SIPES; SCHIMITT, 2002; CHITWOOD, 2002).

Apesar de ter se mostrado resistente a *M. incognita*, para *M. javanica* o Milheto se comportou como suscetível. Esses resultados corroboram os apresentados por Inomoto e Silva (2011): o Milheto se mostra uma planta suscetível à *M. javanica*, mas, ao mesmo tempo, os autores constataam a suscetibilidade do Milheto também ao *M. incognita*. No entanto, em relação ao Milheto e *M. incognita*, resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro *et al.* (2002), que constataam a resistência da planta ao patógeno. O levantamento de diferentes resultados pode ser explicado pelo fato da sensibilidade do Milheto a fitonematoides variar de acordo com a temperatura do solo (FERREIRA, 2018).

Em relação a Braquiária e a Mombaça, Dias-Arieira *et al.* (2002) apresentaram resultados semelhantes, em que, na avaliação de quatro gramíneas forrageiras, constataam resistência para *M. incognita* em *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum cv. Guiné*, que, embora não seja da cultivar Mombaça, pertence ao mesmo gênero. No entanto, no mesmo experimento, Dias-Arieira *et al.* (2002) constataam a resistência de *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum cv. Guiné* ao *M. javanica*, o que entra em contradição com nossos resultados.

O fato de as plantas Braquiária e Mombaça se mostrarem resistentes ao *M. incognita* e suscetíveis ao *M. javanica* pode ser explicado por Ferraz e Freitas (2008): ressaltam que a resistência de plantas a nematoides geralmente está voltada para poucas espécies ou raças do patógeno, mesmo pertencendo a um mesmo gênero, o que sugere uma indisponibilidade de variedades resistentes para o agricultor. Em contraparte, o baixo FR encontrado em Braquiária e Mombaça para *M. incognita* sugere que as espécies *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum cv. Guiné* apresentam metabólitos secundários de ação nematicida, onde produzem, em seus exsudados, algum composto químico ainda desconhecido.

Apesar de apresentar diferença estatística em relação à testemunha, o fator de reprodução da Ervilhaca indica sua suscetibilidade para as duas espécies de nematoides. Resultados semelhantes foram encontrados por Asmus e Andrade (2001), que mostram que a Ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) não se mostrou resistente a *M. javanica*, que, embora não seja a mesma espécie, também pertence ao gênero *Vicia spp.* Embora para *M. incognita* a Ervilhaca também tenha se mostrado suscetível, trabalhos que corroborem esses resultados se são escassos.

A resistência de Crotalaria, Milheto, Braquiária e Mombaça ao *M. incognita* indica que essas espécies podem ser usadas com segurança em sistemas de rotação de culturas em áreas infestadas com essa espécie de nematoide. Para *M. javanica*, apenas o uso de Crotalaria pode ser feito com segurança com o intuito de reduzir a população em áreas infestadas. É importante o estudo de mais plantas antagonistas em relação ao controle de fitonematoides, uma vez que é interessante alternar seu uso em razão de outras características da espécie.

#### 4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi avaliado, Milheto, Braquiária e Mombaça se comportaram como resistentes ao *M. incognita*, e Crotalária se comportou como resistente à *M. incognita* e *M. javanica*.

#### REFERÊNCIAS

- ABAD, P.; WILLIAMSON, V. M. Plant nematode interaction: a sophisticated dialogue. In: KADER, J. C., DELSENY, M. **Advances in Botanical Research**. Philadelphia, PA: Elsevier, 2010. v. 53, p. 147-192.
- ALMEIDA, A. M. R. *et al.* Doenças da soja. In: KIMATI, H. *et al.* **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, cap. 61, p. 596-617.
- ASMUS, G. L., ANDRADE, P. J. M. **Reprodução do nematoide das galhas (*Meloidogyne javanica*) em algumas plantas alternativas para sucessão à cultura da soja**. 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/244492/1/COT372001.pdf>.
- BELLÉ, C. *et al.* Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Meloidogyne incognita*. **Nematopica**, v. 47, n. 1, p. 26-33, 2017.
- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para a extração de ovos de *Meloidogyne exigua* no cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 553, 1981.
- BRITO, J. A.; FERRAZ, S. Seleção de gramíneas antagonistas a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 260-269, 1987.
- CHARCHAR, J. M.; MOITA, A. W. Declínio populacional de *Meloidogyne incognita* raça 1 em cenoura 'Nantes' através da incorporação de plantas antagonistas, gramíneas e trigo sarraceno. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20 p. 285-285, 1995.
- CHARCHAR, J. M.; VIEIRA, J. V. Controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 em cenoura cv. Nantes através de rotação com plantas antagonistas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 196-199, 1991.
- CHARCHAR, J. M. *et al.* Cultivo e incorporação de leguminosas, gramíneas e outras plantas no controle de *Meloidogyne incognita* Raça 1 em Cenoura 'Nantes'. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 2, p. 139-146, 2009.

CHAVARRÍA-CARVAJAL, J. A.; RODRÍGUEZKABANA, R. Changes in soil enzymatic activity and control of *Meloidogyne incognita* using four organic amendments. **Nematropica**, v. 28, n. 1, p. 7-18, 1998.

CHITWOOD, D. J. Phytochemical based strategies for nematode control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, p. 221-249, 2002.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; MIZOBUTSI, E. H. Penetração e Desenvolvimento de *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Heterodera glycines* em Quatro Gramíneas Forrageiras. **Nematologia Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 35-51, 2002.

DIAS-ARIEIRA, C. R. *et al.* Eficiência de gramíneas forrageiras no controle de *Heterodera glycines* e de populações compostas por *H. glycines* - *Meloidogyne* spp. **Summa Phytopathologica**, v. 29, n. 1, p. 7-11, 2003.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. O controle de fitonematóides por plantas antagonistas e produtos naturais. 2008. Disponível em:  
<http://www.ufv.br/dfp/lab/nematologia/antagonistas.pdf>.

FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C. Utilização de plantas antagonicas no controle de fitonematoides. CONGRESSO NACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 4., 1995, Rio Quente. **Anais [...]** Rio Quente: SBN/ONTA, 1995. p. 257-276.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais [...]** São Carlos, Universidade de São Carlos, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, P. S. **Plantas de cobertura no controle de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica***. 2018. 57 f. Tese (Mestrado em Concentração em Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

HUANG, S. P. Nematoides que atacam olerícolas e seu controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 172, p. 31-36, 1992.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. Culturas de cobertura e de rotação devem ser plantas não hospedeiras de nematóides. *In*: INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. **Visão agrícola**, n. 9: Nematoides. Piracicaba: ESALQ, p. 112-116, 2009.

INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A. Importância dos nematóides da soja e influência da sucessão de cultura. **Boletim de Pesquisa de Soja**, Rondonópolis, n. 15, p. 392-399, 2011.

JOHNSON, A.W. *et al.* Effects of rapeseed and vetch as green manure crops and fallow on nematodes and soil-borne pathogens. **Journal of Nematology**, v. 24, p. 117-126, 1992.

JOHNSON, C. M. *et al.* Comparative chlorine requirement off different plant species. **Plant and Soil**, Berkeley, v. 8, n. 3, p. 337-353, 1957.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

MACGUIDWIN, A.; LAYNE, T. L. Response of nematodes communities to sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids grown as green manure crops. **Journal of Nematology**, v. 27, n. 4, p. 609-616, 1995.

MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. *Meloidogyne* species – a diverse group of novel and importante plant prasites. *In*: MOENS, M.; PERRY, R. N.; STARR, J. L. **Root-knot Nematodes**. Cambridge: CABI, 2009. cap. 1, p. 1-13.

MOJTAHEDI, H., G. SANTO; R. E. INGHAM. Suppression of *Meloidogyne chitwoodi* with sudangrass cultivars as green manure. **Journal of Nematology**, v. 25, n. 3, p. 303-311, 1993.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededeligen Landbowhogeschool**, v. 66, p. 3-46, 1966.

RIBEIRO, N. R. *et al.* Avaliação da resistência de genótipos de milho, sorgo e milheto a *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* raça 3. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas (MG), v. 1, n. 3, p. 102-106, 2002.

ROSA, J. M. O.; WESTERICH, J. N.; WILCKEN, S. R. S. Reprodução de *Meloidogyne javanica* em olerícolas e em plantas utilizadas na adubação verde. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 133-141, 2013.

SANO, Z.; NAKASONO, K. Histological responses of three leguminous enemy plants to the penetration and development of *Meloidogyne incognita*. **Japanese Journal of Nematology**, v. 16, n. 12, p. 48-55, 1986.

SHUKLA, N. *et al.* Transcriptome analysis of root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*)-infected tomato (*Solanum lycopersicum*) roots reveals complex gene expression profiles and metabolic networks of both host and nematode during susceptible and resistance responses. **Molecular Plant Pathology**, Maringá, v. 19, n. 3, p. 615-633, 2018.

SILVA, S. L. *et al.* Reação de plantas daninhas a *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 37, p. 57- 60, 2013.

TRUDGILL, D. L.; BLOK, V. C. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes, exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens. **Phytopathol**, v. 39, p. 53-77, 2001.

WANG, K. H.; SIPES, B. S.; SCHMITT, D. P. Crotalaria as a cover crop for nematode management: a review. **Nematropica**, Au-burn, v. 32, p. 35-57, 2002.

# Uso de fertilizante orgânico associado a microrganismos no controle de nematoides (*Meloidogyne incognita*)

*Use of organic fertilizer associated with microorganisms to control nematodes (Meloidogyne incognita)*

**Lourenço Antônio Melo Gontijo**

Graduando do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: lourencogontijo45@unipam.edu.br

**Lucas da Silva Mendes**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: lucassm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A utilização de fertilizantes orgânicos é uma possibilidade inovadora de associar resíduos orgânicos e microrganismos biológicos, que podem ser utilizados pela agricultura orgânica ou convencional, a fim de atuarem no manejo de nematoides. O objetivo foi avaliar o uso de fertilizante orgânico associado a microrganismos no controle de nematoides *Meloidogyne incognita* em mudas do cafeeiro. No experimento, utilizou-se a cultivar de café arábica IAC 62. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram T1: Controle, inoculado nematoides (sem bactérias), T2: nematoides + (*Lactobacillus plantarum* *Saccharomyces*), T3: nematoides + (*Bacillus subtilis* *B. licheniformes* *B. pumillas*), T4: nematoides + (*B. amyloliquefaciens*) T5 nematoides + (*B. subtilis*), T6 nematoides + (*B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis*), todos associados ao organomineral. Após realizada a desmontagem e a análise dos dados, concluiu-se que nenhuma das bactérias realizaram controle biológico, pois não houve diferença estatística.

**Palavras-chave:** Fertilizante orgânico. Nematoides. Fator de reprodução.

**Abstract:** The use of organic fertilizers is an innovative possibility of associating organic residues and biological microorganisms, which can be used by organic or conventional agriculture, to act in the management of nematodes. The objective was to evaluate the use of organic fertilizer associated with microorganisms in the control of *Meloidogyne incognita* nematodes in coffee seedlings. In the experiment, IAC 62 arabica coffee cultivar was used. The experimental design was in randomized blocks, with six treatments and five replications. The treatments were T1: Control, inoculated nematodes (without bacteria), T2: nematodes + (*Lactobacillus plantarum* *Saccharomyces*), T3: nematodes + (*Bacillus subtilis* *B. licheniformes* *B. pumillas*), T4: nematodes + (*B. amyloliquefaciens*) T5 nematodes + (*B. subtilis*), T6 nematodes + (*B. amyloliquefaciens* and *B. subtilis*), all associated with the organo-mineral. After disassembling and analyzing the data, was concluded that none of the bacteria underwent biological control, as there was no statistical difference.

**Keywords:** Organic fertilizer. Nematodes. Reproduction factor.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura, significativa atividade do setor agropecuário, desempenha função de muita importância para o desenvolvimento social e econômico do Brasil, garantindo empregos, tributos e contribuindo para a receita brasileira. O café é um dos produtos básicos mais negociados no mundo, sendo produzido em mais de 60 países, proporcionando o sustento para mais de 125 milhões de pessoas e é particularmente importante para os pequenos cafeicultores, que são os responsáveis pela maior parte da produção (FASSIO; SILVA, 2007).

O cerrado brasileiro é próprio para o cultivo do café, por apresentar, em sua constituição, desde campos abertos até formações densas de florestas. Esse bioma ocupa, predominantemente, o Planalto Central brasileiro, com 206 milhões de hectares, equivalendo a cerca de 23% do território nacional. (FASSIO; SILVA, 2007).

Os nematoides são responsáveis pela redução do crescimento das plantas, amarelecimento e até mesmo a sua falência, além de facilitar a entrada de patógenos. As plantas atacadas apresentam menor absorção de água e nutrientes, o que leva a uma diminuição de produtividade potencial. Há uma estimativa de que a redução da produção mundial de café, devido à ação dos nematoides, seja, em média, de 15%. No Brasil, estima-se um valor médio de 20%. (FILGUEIRA, 2003)

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* são um grande risco para as lavouras de café. Nematoides são organismos do solo (pequenos vermes microscópicos) que atacam o sistema radicular do cafeeiro, tornando as plantas fracas e improdutivas, atrapalhando a absorção de água e sais minerais, causando a falência das raízes, queda das folhas, queda da produção e até a morte das plantas. *M. incognita* provoca galhas no sistema radicular de mudas na fase de viveiro (SOUZA, 2007). Não é de grande ocorrência encontrar galhas em plantas adultas no campo. O sintoma característico em plantas adultas é o engrossamento das raízes seguido de rachadura e descorticação (a casca destaca e esfarela com facilidade, apresentando aspecto de cortiça). Esse nematoide afeta drasticamente as raízes do cafeeiro, causando problemas relacionadas ao enfraquecimento das plantas; muitas plantas chegam a morrer. Ocorre com maior gravidade em regiões de solos arenosos. (CAMPOS, 1999).

Os métodos para manejo de fito nematoides mais utilizados são o manejo de rotação de culturas e uso de matéria orgânica. Os nematicidas estão se tornando mais raros no mercado em decorrência de sua elevada nocividade ao agroecossistema. Em busca de tecnologias eficientes e seguras, tem se testado amplamente o potencial dos inimigos naturais de nematoides, visando à redução de população do patógeno, por antibiose, parasitismo, competição ou predação. "São os nocivos naturais dos fitonematoides, os tardígrados, colêmbolas, ácaros, fungos, nematoides predadores, protozoários e bactérias" (CARNEIRO *et al.*, 2001).

A agregação de compostos orgânicos no solo é uma maneira alternativa no manejo de fitonematoides; há a diminuição da densidade populacional dos patógenos e aumento de resistência vegetal, permitindo adição de nutrientes e melhoria da estrutura do solo (GONÇALVES, 2001). Os fertilizantes orgânicos são resíduos orgânicos misturados e submetidos ao processo de decomposição. A eficiência desse material

orgânico no controle de nematoides depende de sua composição química e das espécies de microrganismos relacionados com a sua decomposição. A liberação de compostos tóxicos seria a ação direta da degradação do material orgânico e, provavelmente, promoveria rápida redução na população dos nematoides. Outros atributos, como a melhoria da estrutura e a agregação do solo e da nutrição das plantas, também podem favorecer o controle de nematoides (STIRLING, 1991).

Dessa forma, a utilização de fertilizantes orgânicos é uma possibilidade inovadora de associar resíduos orgânicos e microrganismos biológicos, que podem ser utilizados pela agricultura orgânica ou convencional, de maneira a atuarem no manejo de nematoides. Portanto, um produto que melhore as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e que ainda seja eficiente no controle de nematoides parasitas de plantas pode representar um grande diferencial no mercado (FERREIRA *et al.*, 2011).

## 2 METODOLOGIA

O experimento foi implantado em casa de vegetação, no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Patos de Minas (MG), e foi conduzido de julho de 2019 a fevereiro de 2020. O clima predominante é o tropical de altitude, com temperatura média anual de 21°C. Utilizou-se a cultivar de café arábica IAC 62, e foram realizados tratamentos gerais conforme recomendação agrônômica para a cultura. O transplântio das mudas foi realizado com quatro pares de folhas.

Foram adotados seis tratamentos: o tratamento 1 (sem microrganismos com a inoculação de nematoides); o tratamento 2 inoculado com nematoides e ainda com fertilizante orgânico contendo *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae*; o tratamento 3 inoculado com nematoides, composto pelo fertilizante orgânico associado a *Bacillus subtilis*, *B. licheniformes* e *B. pumillas*; o tratamento 4 com nematoides e fertilizante orgânico mais *B. amyloliquefaciens*; o tratamento 5 também com nematoides mais fertilizante orgânico associado a *B. subtilis*; por último, o tratamento 6 com nematoides mais fertilizante orgânico associado a *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis*. Em todos os tratamentos, foram adicionados organomineral para se realizar a nutrição das plantas. Utilizou-se de delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, perfazendo um total de trinta unidades experimentais.

**Tabela 1** – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento. Patos de Minas (MG), 2020

Tratamentos	Descrição
T1	Organomineral + Nematoides
T2	Organomineral + Nematoides + (Fertilizante orgânico associados às <i>Lactobacillus plantarum</i> e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )
T3	Organomineral + Nematoides + (Fertilizante orgânico associados às <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. licheniformes</i> e <i>B. pumillas</i> )

T4	Organomineral + Nematoides + (Fertilizante orgânico associados às <i>B. amyloliquefaciens</i> )
T5	Organomineral + Nematoides + (Fertilizante orgânico associados às <i>B. subtilis</i> )
T6	Organomineral + Nematoides + (Fertilizante orgânico associados às <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>B. subtilis</i> )

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Foram plantadas uma muda por vaso, e cada vaso continha 5 litros de volume, contendo substrato autoclavado preparado com solo e areia lavada em proporção 2:1. O substrato foi autoclavado no laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

O plantio, que também foi realizado no laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Após serem realizadas todas as parcelas, foram encaminhadas para a casa de vegetação. Foi aplicada em todas as parcelas, a cada quinze dias, começando um dia após a emergência, a solução nutritiva conforme proposta por Johnson *et al.* (1957), para que a planta pudesse se nutrir corretamente durante todo o período do experimento.

Sessenta dias após o plantio, foi realizada a inoculação de 5000 ovos de *M. incognita* por tratamento com o auxílio de uma pipeta, utilizando o inoculo calibrado extraído das plantas de pimentão e quiabo mantidas em casa de vegetação. Assim, o inoculo foi pipetado e depositado nas proximidades da raiz.

Aos sete meses após a inoculação, o experimento foi desmontado e todas as parcelas foram encaminhadas para o laboratório de fitopatologia do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde foi feita a extração e quantificação de ovos das raízes e do solo, para posteriormente ser calculado o fator de reprodução (FR). A extração das raízes foi realizada segundo a metodologia de Boneti e Ferraz (1981), que consiste em triturar as raízes por 20 segundos em um liquidificador a baixa rotação, juntamente com uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5% de concentração.

Em seguida a solução foi passada por uma peneira de 500 mesh, onde foi lavada com água corrente. A solução lavada foi transferida para tubos falcon com água destilada para que pudesse ser centrifugada com o auxílio de uma centrífuga por 4 minutos a 1800 RPM. Após os 4 minutos, descartou-se o líquido sobrenadante dos tubos falcon, completando a solução restante no fundo dos tubos com solução de sacarose na proporção de 454g de açúcar refinado para 1L de água, encaminhando novamente para centrífuga por 1 minuto a 1800 RPM. Completando 1 minuto, a solução sobrenadante foi despejada novamente sobre a peneira de 500 mesh, sendo lavada em seguida com água destilada para a retirada da sacarose, encaminhando a solução da peneira para um Becker com o auxílio de uma pisseta.

Para realizar a extração do solo, foi utilizada a metodologia de Jenkins (1964); foram coletados cem centímetros cúbicos de solo por cada vaso, posteriormente misturou-se em 2L de água corrente com o auxílio de um balde. Após a solução se homogeneizar, esperou-se 1 minuto para ser decantada. Após a decantação, despejou-se a solução sobrenadante sobre uma peneira de 20 mesh acoplada à outra de 400 mesh,

lavando a solução da segunda peneira com água corrente. O restante do processo é o mesmo utilizado para a extração das raízes. Após a extração dos ovos de cada tratamento, foi contabilizado o número de ovos/sistema radicular e do solo com o auxílio de microscópio e lâmina de Peters; em seguida, foi feito o cálculo fator de reprodução (FR), que foi a variável analisada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CONDIÇÕES FAVORÁVEIS

Conforme a Tabela 2, durante a realização do experimento, a temperatura teve uma pequena oscilação no interior da casa de vegetação, o que se mostrou benéfico para a reprodução do *M. incognita*. Para Oliveira (2007), uma temperatura média de 35,70 °C de máxima e 12,30°C de mínima é condição favorável ao desenvolvimento de *M. incognita*, sendo a média da condução do experimento de 34,01°C de máxima e 15,40°C de mínima.

Vrain e Barker (1978) mostraram, em experimento, que, na temperatura de 8°C, os ovos de *M. incognita* não se realizam a reprodução, porém, na temperatura de 10°C, a espécie já foi capaz de se desenvolver.

**Tabela 2** – Médias das temperaturas máximas e mínimas em °C obtidas no interior da casa de vegetação durante o período de condução do experimento. Patos de Minas (MG), 2020

Temperaturas médias em °C		
Períodos	Máxima	Mínima
Julho a outubro	32,70	12,30
Novembro a fevereiro	35,33	15,40
Médias	34,01	13,85

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

#### 3.2 FATOR DE REPRODUÇÃO

Foi observado que, em todas as repetições, houve a reprodução do *M. incognita*, não se diferenciando estatisticamente do t1, em que não foi adicionada nenhuma bactéria. Nenhuma das bactérias atuou contra a multiplicação do *M. incognita*, uma vez que o fator de reprodução (FR) foi obtido em todos os tratamentos sendo >1 (Tabela 3).

Desse modo, todas as bactérias testadas permitem o aumento na população de *M. incognita*.

**Tabela 3** – Valores de fator de reprodução (FR), quantidade de ovos constatados nas raízes, quantidade de ovos e eventuais juvenis constatados no substrato, obtidos após a avaliação dos tratamentos. Patos de Minas (MG), 2020

Tratamentos	Quantidade ovos + juvenis na fase j <sub>2</sub>		
	Raízes	Substrato	Fator de Reprodução (FR)
T1	38666,67	25333,33	5,10 a
T2	30666,67	27333,33	5,29 a
T3	34666,67	28000,00	5,65 a
T4	30000,00	30000,00	5,66 a
T5	28000,00	24666,67	5,80 a
T6	33333,33	27333,33	6,18 a

CV(%)= 14,25%

<sup>2</sup> Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knot a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Autores já relataram o controle de nematoides através das bactérias *bacillus spp*, testando o efeito *in vitro*, (Carneiro *et al.*, 1998), o que se difere deste trabalho, em que o *M. incognita* não foi controlado pelas bactérias *bacillus spp*. Diversos fatores podem ser citados para explicar a contradição nos resultados. Um deles foi testado o efeito *in vitro* (Carneiro *et al.* (1998). A casa de vegetação e o laboratório possui uma grande diferença: a casa de vegetação está mais suscetível a umidade e a microrganismos indesejados; tudo isso pode afetar os resultados finais. Mesmo se, em laboratórios, encontrar um resultado tanto positivo ou negativo, em campo pode se encontrar um resultado diferente, pois podem-se encontrar condições que mudam o experimento.

Entretanto, os resultados obtidos se assemelham com os resultados de Yamada (1999), que observou que algumas bactérias *bacillus spp* não são capazes de controlar os nematoides, podendo afetar até na qualidade da bebida do café. Também observou que as bactérias não impedem os sintomas desse patógeno, prejudicando a cultivar em diversas fases de seu ciclo.

Também segundo Novaretti (1991), os resultados obtidos se assemelham, quando ele testa as bactérias *bacillus spp*. Percebe que o fator de reprodução em tomateiros, entre a testemunha, em que não foram aplicadas bactérias dos demais tratamentos, efetuou a aplicação de bactérias distintas, não apresentam diferença estatística. Sendo assim as *bacillus spp* também não foram capazes de realizar o controle biológico nesse experimento.

#### 4 CONCLUSÃO

Concluiu-se que as bactérias utilizadas combinadas com o fertilizante orgânico não realizam o controle biológico de nematoides (*Meloidogyne incognita*) no cafeeiro, pois não foram percebidas diferenças estatísticas nas variáveis analisadas.

#### REFERÊNCIAS

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para a extração de ovos de *Meloidogyne exigua* no cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 553, 1981

CAMPOS, V. P. **Manejo de doenças causadas por fitonematoides**. Lavras (MG): Editora UFLA/FAEPE, UFLA, 1999. (Curso de pós-graduação à distância: Manejo de doenças de plantas).

CARNEIRO, R. M. D. G. *et al.* C. Nematicidal activity of *Bacillus spp.* strains on juveniles of *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p.12-21, 1998.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematóides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2001.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Importância econômica e social do café conilon. *In*: FERRÃO, R. G. *et al.* **Café Conilon**. Vitória: Incarper, 2007. p. 37-4.

FERREIRA, R. L. F. *et al.* Produção orgânica de rabanete em plantio direto sobre cobertura morta e viva. **Horticultura Brasileira** [online], v. 29, n. 3, p. 299-303, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FILGUEIRA, B. M. **Nematoides no sistema radicular**. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/culturas/algodao/problema/nematoide-das-galhas\\_523.html](https://www.agrolink.com.br/culturas/algodao/problema/nematoide-das-galhas_523.html) 2003.

GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B. Nematoides parasitos do cafeeiro. *In*: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. cap. 7. p. 199-268

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JOHNSON, C. M. *et al.* Comparative chlorine requirement of different plant species. **Plant and Soil**, Berkeley, v. 8, n. 3, p. 337-353, 1957.

NOVARETTI, W. R. T. Controle biológico de nematóides. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte (MG), v.15, n.167, p. 63-72, 1991.

OLIVEIRA, C. D. **Exortia de plantas de pimentão em *Capsicum* spp. no manejo de nematoide de galha**. 2007, 155 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2007.

SOUZA, F. A. **Nematóides parasitas do cafeeiro**. 2007. Disponível em: <https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/nematoides-parasitas-do-cafeeiro-39679n.aspx>.

STIRLING, G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes. **Wallingford**: CAB International, 1991.

VRAIN, T. C.; BARKER, K. R. Influence of low temperature on development of *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* eggs in egg masses. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 10, n. 4, p. 311-313, 1978.

YAMADA, C. M. **Detecção de microrganismos endofíticos em frutos de café**. 1999. 56p. Tese (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 1999.

# Uso do RAPD-PCR para análise de variação genética em *Bacillus* sp

*Use of RAPD-PCR for analysis of genetic variation in Bacillus sp*

**Thaigoru Soares de Sousa**

Graduando do curso de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: thaigoruss@unipam.edu.br

**Walter Vieira da Cunha**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: walter@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Atualmente, tem-se o conhecimento de um número muito abundante de espécies de bactérias relacionadas a insetos. Porém poucas expressam as características desejáveis para aplicá-las como controladores biológicos de insetos-praga. Um aspecto importante no controle de pragas é o conhecimento de suas características fenotípicas e genotípicas, pois pode auxiliar no estabelecimento do perfil genético dos insetos e na identificação de marcadores moleculares. Uma ampla gama de marcadores moleculares encontra-se disponível para pesquisas entomológicas, os quais facilitam o estudo da diversidade genética. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a diversidade genética de *Bacillus* sp com utilização de RAPD-PCR. A extração de DNA de *Bacillus* sp foi obtida sem ocorrência de contaminantes, porém nenhum dos 20 *primers* utilizados apresentou bandas possíveis de serem analisadas para avaliação de variabilidade genética.

**Palavras-chave:** Variabilidade. Bactéria. Diversidade genética.

**Abstract:** Currently, there is a knowledge of a very abundant number of species of bacteria related to insects. However, few express the desirable characteristics to apply them as biological pest control controllers. An important aspect in pest control is the knowledge of its phenotypic and genotypic characteristics, as it can assist in establishing the genetic profile of insects and in identifying molecular markers. A wide range of molecular markers is available for entomological research, which facilitate the study of genetic diversity. Therefore, the objective of this research was to evaluate the genetic diversity of *Bacillus* sp using RAPD-PCR. The DNA extraction of *Bacillus* sp was obtained without the occurrence of contaminants, however none of the 20 primers used had bands that could be analyzed to assess genetic variability.

**Keywords:** Variability. Bacterium. Genetical diversity.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Bacillus* atualmente conta com 377 espécies e sete subespécies de microrganismos de acordo com o banco de dados "List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature" (EUZÉBY, s. d.).

As espécies desse gênero podem contaminar substratos variáveis, devido ao grande complexo enzimático produzido pelas células (HABIB; ANDRADE, 1998). Além da morfologia característica do gênero, outros padrões taxonômicos são atribuídos a esses microrganismos. Desse modo, eles podem ser descritos como Gram-positivos, aeróbios obrigatórios ou facultativos, produtores da enzima catalase, proliferam-se em diferentes fontes de carbono e formam endósporos para servir como estrutura de sobrevivência em períodos de estresse ambiental (MADIGAN *et al.*, 2016).

Apesar de esses microrganismos manifestarem semelhanças quanto à biologia e ao modo de atuação, eles se diferenciam pelas características particulares que cada espécie possui. Os aspectos relacionados à distribuição geográfica, habitat preferencial, interações com a microbiota local, fatores que prejudicam o crescimento, esporulação e atividade inseticida dos entomopatógenos auxiliam nos parâmetros às análises de impacto ambiental, em conformidade com pesquisados da área.

Atualmente, tem-se o conhecimento de um número muito grande de espécies de bactérias relacionadas a insetos. Porém poucas expressam as características desejáveis para aplicá-las como controladores biológicos de pragas. No entanto, o interesse pela utilização de bioinseticidas para o controle populacional de insetos prejudiciais teve um aumento significativo. Dessa forma, o homem se interessou em pesquisar mais profundamente as bactérias. Entre as bactérias entomopatogênicas, o gênero *Bacillus* apresenta uma significativa importância no controle biológico de pragas, de acordo com pesquisas da área.

Uma ampla gama de marcadores moleculares encontra-se disponível para pesquisas entomológicas (RFLPs, RAPDs, microssatélites entre outros), os quais facilitam o estudo da diversidade genética (LOXDALE; LUSHAI, 2012). A técnica de RAPD baseia-se em outra técnica chamada PCR (Polymerase Chain Reaction), que permite a detecção de polimorfismos entre indivíduos de uma mesma população (HIRAGI *et al.*, 2009). Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a diversidade genética de *Bacillus* sp com utilização de RAPD-PCR.

## 2 METODOLOGIA

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Foram utilizadas cepas de *Bacillus* sp que ficam armazenadas em freezer no Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Para extração de DNA de *Bacillus* sp, seguiram-se os passos seguintes, em conformidade com Valadares-Inglis E Melo (1998). Transferiu-se 1,5 mL da cultura bacteriana para um tubo de micro centrífuga de 1,5 mL. Centrifugou-se por 3 minutos a 12000 g (r.c.f.) ou 10351 rpm. Descartou-se o sobrenadante em um frasco contendo água

sanitária. Suspendeu-se o precipitado bacteriano em 100 µL de tampão TE ou água. Adicionou-se 100 µL do tampão de Lise. Em seguida, fechou-se o tubo e agitou-se 4 a 5 vezes por suaves inversões, até a solução ficar homogênea. Aguardou-se até 5 minutos ou até a solução bacteriana ficar transparente e viscosa. Adicionaram-se 300 µL da solução de neutralização. Agitou-se 4 ou 5 vezes por suaves inversões ou até a solução ficar homogênea e ocorrer a formação de um floculado branco. Centrifugou-se por 5 minutos a 12000 g (r.c.f.) ou 10351 rpm. Transferiu-se, por inversão, a totalidade do sobrenadante para outro tubo de micro centrífuga, tendo cuidado para não transferir o material precipitado. Adicionaram-se 2 volumes (~ 1,0 mL) de EtOH 95% (gelado ou temperatura ambiente). Centrifugou-se por 15 minutos a 12000 g (r.c.f.) ou 10351 rpm. Descartou-se o sobrenadante no frasco de descarte. Adicionou-se 1.0 mL de EtOH 70% e agitou-se 4 a 5 vezes por suaves inversões. Centrifugou-se por 5 minutos a 12000 g (r.c.f.) ou 10351 rpm. Descartou-se o sobrenadante e retirou-se todo resíduo líquido. Deixou-se secando à temperatura ambiente ou em sistema a vácuo. Por fim, solubilizou-se o precipitado de DNA+RNA em 50 ou 100 µL de tampão TE.

Determinou-se os polimorfismos entre amostras de *Bacillus* sp utilizando RAPD-PCR. Os primers utilizados continham 10-mer com sequências arbitrárias, obtidos de kits da UNISCIENSE (Tabela 1).

**Tabela 1** - Primers utilizados e suas respectivas sequências de nucleotídeos

PRIMER	SEQUÊNCIA (5' → 3')	PRIMER	SEQUÊNCIA (5' → 3')
1	GGTCAACAAA	11	AGGTCATCCT
2	TCATAAAGAT	12	GGTGCTTTTA
3	ATTGGTACTT	13	TTGGAGATGA
4	TATATTTTAT	14	CCAAATTTAT
5	TTTTGGAGCT	15	AATGTTATTG
6	TGAGCTGGAA	16	TAAGTCTCA
7	TAGTTGGAAC	17	TGCTTTTATC
8	TCCTTTAAGA	18	ATAATTTTTT
9	ATTTTAGTTC	19	TTATAGTAAT
10	GAGCTGAATT	20	ACCTATTATA

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Como no PCR, as condições ótimas para os componentes são determinadas por meio de vários testes, variando suas concentrações utilizando programa de amplificação, feito em Termociclador modelo Mastercycler da Eppendorf.

De acordo com Sambrook *et al.* (1989), cada reação é amplificada em 3 ciclos de 94° C por 1 minuto, 35° C por 1 minuto e 72° C por 2 minutos mais 34 ciclos de 94° C por 10 segundos, 40° C por 20 segundos 72° C por 5 minutos. O volume total de cada reação

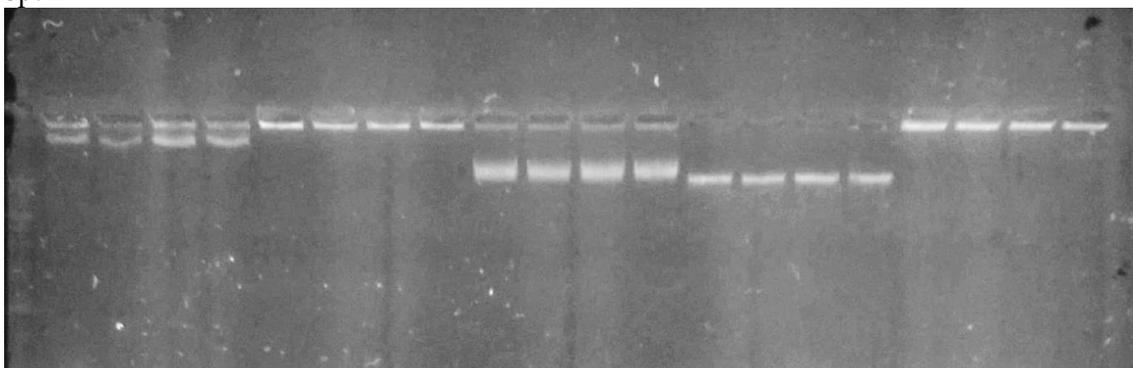
foi de 25 µl contendo: 2,5 µl de Tampão da *Taq* DNA polimerase (Tris-HCl 10 mM (pH 8,0), KCl 50 mM, MgCl<sub>2</sub> 15 mM), 3 µl de DNA (10 ng/µl), 0,3 µl de *Taq* DNA polimerase (5U/µl), 2,5 µl *primer* (4 pmol/µl), 0,5 µl de desoxiribonucleotídeo trifosfato (10 mM de cada - dATP, dTTP, dCTP e dGTP), completando-se o resto com água ultrapura. Também na reação de amplificação, utilizou-se um controle contendo todos os componentes, exceto o DNA, verificando-se assim possíveis contaminações.

Ao término das reações, os fragmentos de DNA amplificados foram separados por eletroforese em géis de agarose a 1,5%, e corridos a 150 volts por aproximadamente 2 horas em tampão TBE 0,5 X (Tris-Borato 0,045 M e EDTA 0,001 M). Utilizou-se como padrão de peso molecular o 100 pb e 1 Kb DNA ladder. A cada 12 µl de amostra foi adicionado tampão de carregamento (azul de bromofenol 3,61 M, xileno cianol 4,64 M, sacarose 1,17 M e EDTA 0,1 M pH8) na proporção de 5:1. Para avaliação, os géis de agarose foram corados com Sybergreen (0,5 g mL<sup>-1</sup>), observados em transluminador UV e fotografado. Foi feita uma repetição de amplificação para cada *primer*, para confirmar os padrões de bandas obtidos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extração de DNA de *Bacillus* sp foi obtida sem ocorrência de contaminantes como o RNA, demonstrando DNA íntegro que pode ser observado em gel de agarose de sistema de eletroforese (Figura 1).

**Figura 1** – Gel de agarose 1,5% demonstrando produtos de extração de DNA de *Bacillus* sp.



Fonte: Registro feito pelos autores, 2010.

Foram testados 20 *primers* aleatórios e nenhum apresentou bandas possíveis de serem analisadas para avaliação de variabilidade genética. Diferentemente de Cunha (1999), que, utilizando RAPD, selecionou 13 *primers*, resultando em 190 bandas aproveitáveis, sendo apenas uma monomórfica e 189 polimórficas, no presente trabalho não se obtiveram amostras amplificadas para montagem de dendograma. A não amplificação de nenhuma amostra pode ter ocorrido em função de mudança no ponto de inserção do *primer*, não permitindo o seu anelamento correto e, portanto, o não surgimento de banda característica no gel de agarose (CUNHA, 1999). Souza (1996)

afirma que uma concentração alta de DNA genômico e de Mg pode causar perda de bandas e, quando muito baixa, pode originar bandas não reproduzíveis, o que também pode ser uma explicação para o resultado obtido.

#### 4 CONCLUSÃO

O método para extração de DNA de bactérias apresentou na análise em gel de agarose produtos amplificados sem ocorrência de danos ou presença de contaminantes. Os *primers* utilizados não foram eficientes na amplificação das amostras, indicando a necessidade de dar continuidade a essa pesquisa, utilizando *primers* aleatórios de sequências diferentes.

#### REFERÊNCIAS

- CUNHA, Walter Vieira da. **Mapeamento geográfico da ocorrência de cepas de *Bacillus thuringiensis* no Triângulo Mineiro e sua caracterização molecular**. 1999. 44 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Bioquímica) – Curso de Genética e Bioquímica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.
- EUZÉBY, J. P. **List of bacterial names with standing in nomenclature**. [s. d.]. Disponível em: <http://www.bacterio.net/bacillus.html>.
- HABIB, M. E. M.; ANDRADE, C. F. S. Bactérias entomopatogênicas. In: ALVES, S. B. *et al.* **Controle microbiano de insetos**. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 1998. cap. 12, p. 383-446.
- HIRAGI, Cassia *et al.* Variabilidade genética em populações de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) utilizando Marcadores de RAPD. **Neotropical Entomology**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 542-547, ago. 2009.
- LOXDALE, H. D.; LUSHAI, G. Molecular markers in entomology. **Bulletin of Entomological Research**, Wallingford, 88, v 6, Oct.-Dec., p. 577-600, 2012.
- MADIGAN, M. T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.
- SAMBROOK, J.; FRITSCH, E. F.; MANIATIS, T. **Molecular cloning: a laboratory manual**. 2. ed. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989.
- SOUZA, Alexandre Oliveira de. **Bactérias endofíticas de milho (*Zea mays* L.) e sua variabilidade genética analisada por RAPD**. 1996. 83 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1996.

VALADARES-INGLIS, M. C.; MELO I. S. Métodos de extração de DNA e sua aplicação em estudos genéticos e ecológicos. *In*: MELO, I.S.; AZEVEDO, J. L. (Ed.). **Controle Biológico**. Embrapa-CNPMA, v. 1, 1998. p. 187-203.

# Utilização de bioestimulante e cálcio no cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)

## *Use of biostimulant and calcium in the potato's cultivation*

**Murilo Mendes Machado**

Graduando de Agronomia (UNIPAM)

E-mail: murilomendes@unipam.edu.br

**Vanessa Júnia Machado**

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: vanessajm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Mostra-se grande a proporção da área cultivada com batata em solos do cerrado brasileiro; entretanto, são escassas as pesquisas científicas que buscam a melhoria da qualidade e produtividade da batata nesses solos. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar variadas dosagens de bioestimulante sobre efeito fisiológico na planta associadas a produto comercial à base de Ca<sup>+</sup> para estabelecimento entre produtos. O experimento foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho Distrófico, característico da região do cerrado. Os tratamentos foram constituídos pela combinação 4 (1, 2, 3, 4 L<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) do produto comercial (Stimulate) e + 4 dosagens do mesmo associado ao produto comercial (Totale Cálcio) em dosagem única. Para produção de número de tubérculos, observaram-se melhores resultados no tratamento com Stimulate sem adição de cálcio no solo. Para os demais parâmetros, não se observaram resultados significativos.

**Palavras-chave:** Corretivo. Acidez. Hortalíça. Hormônio.

**Abstract:** The proportion of the area cultivated with potatoes in soils of the Brazilian cerrado is shown to be large; however, there is little scientific research that seeks to improve the quality and productivity of potatoes in these soils. Thus, the objective of the work was to evaluate various dosages of bio stimulant on the physiological effect on the plant associated with a commercial product based on Ca + for establishment between products. The experiment was carried out in a Dystrophic Red Latosol, characteristic of the cerrado region. The treatments consisted of the combination 4 (1, 2, 3, 4 L<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) of the commercial product (Stimulate) and + 4 dosages of the same associated with the commercial product (Totale Calcium) in a single dosage. For the production of number of tubers, better results were observed in the treatment with Stimulate without addition of calcium in the soil. For the other parameters, no significant results were observed.

**Key words:** Concealer. Acidity. Vegetable. Hormone.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum*) pertence à família da solanaceae e está entre os dez alimentos mais produzidos no mundo, também é uma das principais hortalíças produzidas no Brasil. Sendo cultivada em diversos países, ela passou a ser uma das

culturas mais populares na alimentação mundial. No Brasil, diferentemente da maioria de outros países, ela é cultivada o ano todo por meio de irrigação; ao todo, o país produz em média 4,3 milhões toneladas por safra e 29,8 mil ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2018).

Em aspecto geral, a batata nos últimos anos teve ganhos expressivos em sua produtividade, processos de brotação dos tubérculos e adequada tuberização das plantas (PEREIRA *et al.*, 2001). O processo de formação dos tubérculos depende diretamente de balanço hormonal favorável. (FONTES; FINGER, 1999).

O emprego de bioestimulante ou estimulante vegetal origina-se da mistura de dois ou mais reguladores vegetais com outras substâncias como aminoácidos nutrientes, vitaminas (CASTRO; VIEIRA, 2001) e pode, em função de sua composição, concentração e proporção de substâncias, incrementar o crescimento e desenvolvimento vegetal, podendo também aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (CASTRO; VIEIRA, 2001).

No entanto, ainda são escassos os estudos sobre bioestimulantes em culturas como hortaliças, embora seja possível encontrar resultados que se mostrem favoráveis à utilização deles. Um exemplo foi o trabalho conduzido por Reddy *et al.* (1991), no qual se verificou incremento de 43% na produção de batata, quando misturas de fitorreguladores (giberelinas, citocininas, auxinas e traços de nutrientes) foram aplicadas sobre as plantas, na dose de 7,5 L ha<sup>-1</sup>; esse resultado foi associado ao aumento do número de hastes, folhas e tubérculos.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar variadas dosagens de bioestimulante sobre efeito fisiológico na planta e associadas a produto comercial à base de Ca<sup>+</sup> para estabelecimento entre produtos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de outubro a dezembro de 2019, sendo conduzido em casa de vegetação no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas (MG). O município encontra-se a 46°30'48.80" de Latitude Sul e 18°34'22.84" de Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 886 m e clima Cfa, segundo a classificação de Köppen, com estações bem definidas: verão quente e úmido e inverno frio e seco.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (2 x 5) + 1, sendo como fontes o produto Stimulate® e TotaleCA<sup>2+</sup>, 5 doses + controle, sem adição do produto TotaleCA<sup>2+</sup> e com a adição do mesmo, com quatro repetições. A adubação de semeadura para fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) foi realizada com base na análise do solo e na tabela de recomendação de adubação para a cultura da batata, para o Estado de Minas Gerais, sendo aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de P, 190 kg ha<sup>-1</sup> de N e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K, utilizando-se, como fontes o MAP, ureia e o cloreto de potássio, respectivamente.

Os tratamentos foram constituídos de cinco doses do produto Stimulate® sozinho aplicado às plantas via foliar e outras 5 doses do Stimulate® juntamente com Totale CA<sup>2+</sup>. O Stimulate® continuou com sua aplicação via foliar com suas dosagens, sendo elas (0; 0,5; 1; 2; e 4) L ha<sup>-1</sup> unicamente com Stimulate® e outras (0; 0,5; 1; 2; e 4) L ha<sup>-1</sup> de Stimulate® com TotaleCA<sup>2+</sup> com dosagem única de 5 L ha<sup>-1</sup>. Para a aplicação via

foliar do estimulante, foi utilizado pulverizador manual de 1 bico, com proteção a 50 cm de altura nos vasos para evitar deriva. As doses foram parceladas e aplicadas aos 23 e 38 dias após o plantio (DAP) com a dosagem específica para cada tratamento. Foi utilizada 1 batata mãe por vaso, da qual se deu origem a variadas ramificações. Os vasos utilizados foram de 15 litros, com solo devidamente peneirado e misturado para a proporção de 2/3 de Latossolo Vermelho Distrófico e 1/3 de solo quartzarênico.

As avaliações realizadas na cultura foram intensidade de coloração verde da folha (ICV), peso de massa fresca dos tubérculos, número de tubérculos produzidos e produtividade final. As avaliações de ICV foram efetuadas aos 38, 53 DAP, com auxílio do medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-5022.

A avaliação de massa fresca dos tubérculos foi realizada aos 150 DAP (colheita); após a retirada do excesso de solo aderido aos vasos, os tubérculos respectivos de cada parcela e bloco foram acoplados em sacos de papel devidamente identificados. Foi realizada a pesagem de massa fresca em balança analítica de 15 kg.

Para a avaliação do número de tubérculos, foi realizada a contagem do número obtido em cada vaso após a limpeza deles e posteriormente anotado em respectivo tratamento.

Para avaliação de produtividade, juntaram-se todos os blocos do mesmo tratamento, para obter uma melhor homogeneidade, e posteriormente convertido o peso dos 4 tubérculos mãe semeados para em kg ha<sup>-1</sup> em proporção de população semeada em campo comercial para determinada variedade.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e ajustados modelos de regressão para variáveis dependentes, em função das doses de solução com as diferentes concentrações de Stimulate, a 5% de significância, utilizando o software Sisvar.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ICV apresentado da quarta folha complementar expandida da batata, pelas a média dos 38, 53 DAP, com a variação das dosagens do Stimulate, não apresentou quadro de variância representativo para as diferentes dosagens testadas (Figura 1). A média do ICV dos tratamentos foi observada em 45,12. Malavolta *et al.* (1997) citam a faixa de 49-56 como a adequada para o índice SPAD na quarta ou quinta folha nova totalmente expandida da batata.

**Tabela 1.** Incrementos médio nos valores dos índices de clorofila na quarta folha causados pelas doses crescentes de bioestimulante foliar.

Índice	Doses de Bioestimulante (L ha <sup>-1</sup> )			
	1	2	3	4
Média Spad	45,3 A	45,8 A	44 A	45,4 A

\*As médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem entre si, na probabilidade de 5%.

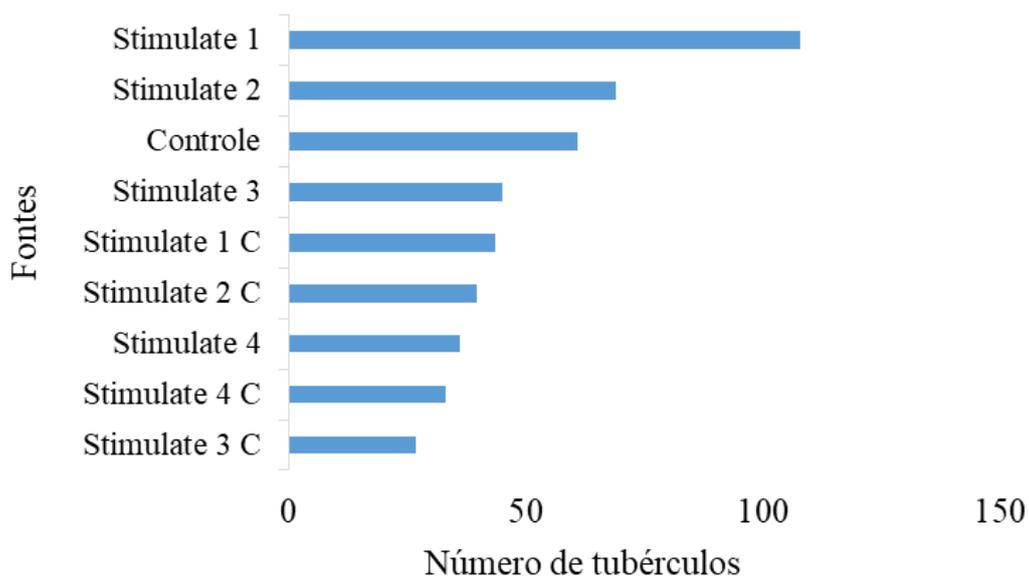
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A não diferença significativa na avaliação entre parâmetros testados do verde das folhas pode ser atribuída à forma distinta de ação do produto, aferindo diretamente no seu metabolismo e não chegando a provocar ações diretas em produção de clorofila. Provavelmente, a depender do material genético, as plantas podem permanecer mais verdes de acordo com a época de fornecimento dos nutrientes e seu mecanismo de absorção (CARDOSO *et al.*, 2011).

Para a avaliação de número de tubérculos, podem-se observar resultados significativos a 5% de variância, em que o tratamento com Stimulate em dosagem 1L<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> sem associação com o produto à base de Ca proporcionou melhores resultados quanto à produção pelo tratamento. A média do tratamento foi em torno de 108 tubérculos por vaso, alcançando um valor em média de 36,1% acima do segundo tratamento com melhores resultados.

Encontram-se, na literatura, resultados que mostram que, na cultura do pimentão, podem-se observar resultados bem parecidos, quando aplicada em ação conjunta citocininas, auxina e gibberlina. As plantas receberam aplicações foliares do produto Stimulate® e não se observaram resultados significativos para respostas em variados parâmetros testados pelos mesmos. Entretanto, similar ao trabalho realizado pelos autores, foi observado que a crescente dose do produto na cultura não mostrou resultado, ao contrário, obtendo resultados negativos com o aumento da dosagem (Figura 1).

**Figura 1.** Número de tubérculos quanto à utilização de bioestimulante e cálcio no cultivo da batata.



\* C é representativo dos tratamentos com adicional de Ca no solo.

\* (1, 2, 3, 4) é representativo das dosagens utilizadas do produto.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

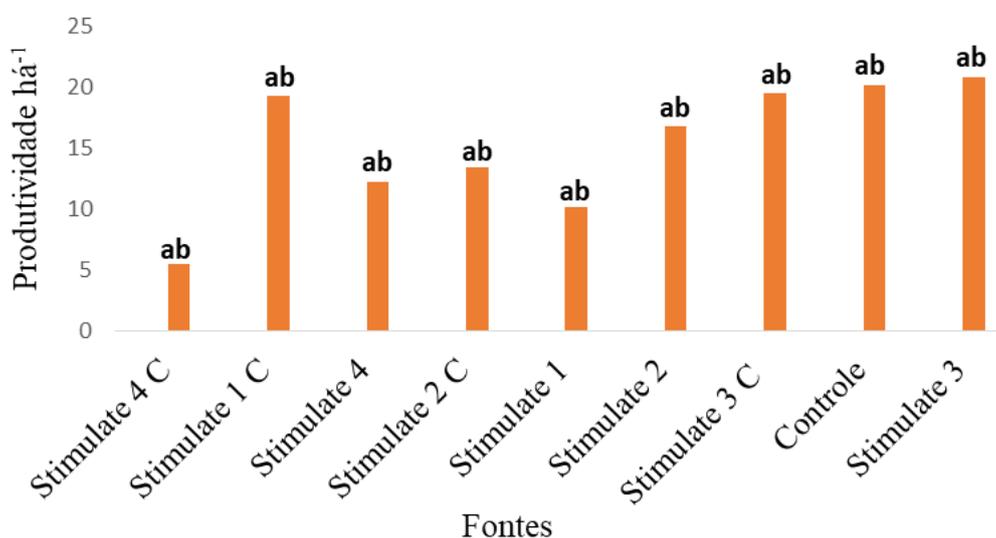
O peso de massa fresca dos tubérculos não foi influenciado pelos tratamentos testados. Não se observaram resultados significativos para nenhuma fonte. Esse fator pode ser explicado pela variação de enchimento dos tubérculos, o que não influenciou sua massa fresca. Contudo, quando avaliado o número de tubérculos, foi encontrado resultado significativo entre os tratamentos.

Resultado semelhante foi encontrado por Backes (2017), que não observou resultados significativos em números de tubérculos para a aplicação de extrato de alga na cultura, mas foram proporcionalmente encontrados resultados significativos em produtividade. Entretanto, a adição do produto à base de cálcio proporcionou visualmente algumas alterações fisiológicas, fazendo com o que algumas batatas se apodreceram ao solo, sendo assim não sendo pesadas como material útil de avaliação.

Contudo, quando comparado o tratamento Stimulate na dosagem 3 litros por  $\text{ha}^{-1}$  com o último colocado, que foi Stimulate 4 litros por  $\text{ha}^{-1}$  com associação ao produto Totale Cálcio, observou-se um aumento proporcional de em média 73%. Quando considerada uma população média de 20 mil batatas sementes por  $\text{ha}^{-1}$ , obteve-se uma produtividade maior entre os dois testes de 11,7 T  $\text{ha}^{-1}$ ; entretanto, para o teste de Tukey usado, não se observou diferença suficiente para estatística.

A avaliação estatística para a produtividade não mostrou resultados significativos de produtividade entre os tratamentos testados (Figura 2). Entretanto, trabalho semelhante realizado por Backes (2017) obteve resultados significativos para produtividade da cultura quando aplicado 4 L  $\text{ha}^{-1}$  de extrato de alga.

**Figura 2.** Produtividade  $\text{ha}^{-1}$  de batata quanto à utilização de bioestimulante e cálcio no cultivo da batata.



\*C é representativo dos tratamentos com adicional de Ca no solo.

\* (1, 2, 3, 4) é representativo das dosagens utilizadas do produto.

\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si, na probabilidade de 5%.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para os dados de produtividade, houve perdas com doença de podridão mole na batata em grande parte dos tratamentos. As sementes utilizadas são da fazenda produtora e com qualidade fitossanitária, o que reduz a probabilidade de elas estarem com patógeno já estabelecido em seus tecidos.

Não foi quantificada a temperatura diária da casa de vegetação utilizada na condução do experimento; entretanto a temperatura média foi em torno de 34° devido ao fato de essa casa de vegetação não possuir sistemas de resfriamento. Essas condições de altas temperaturas diariamente podem explicar o alto índice de podridão dos tubérculos.

#### 4 CONCLUSÃO

Para produção de número de tubérculos, observaram-se melhores resultados no tratamento com Stimulate sem adição de cálcio no solo. Para os demais parâmetros, não se observaram resultados significativos.

#### REFERÊNCIAS

ADAM, W. M. *et al.* Aplicação foliar de extrato de alga e sulfato de cobre em alface no sistema orgânico. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48., Resumos [...]*, Maringá: SOB (CD-ROM), 2008.

AGUIR NETTO. A. O.; RODRIGUES. J. D.; PINHO. S. Z. de. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 35, n.5, p. 901-907, maio 2000.

ÁVILA, M. R. *et al.* Bioregulator application, agronomic efficiency, and quality of soybean seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 567- 691, 2008.

BACKES, Clarice *et al.* Aplicação foliar de extrato de alga na cultura da batata. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 4, p. 53-57, 2017.

BERTOLIN, D. C. *et al.* Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010.

BETTONI, M. M. *et al.* Tuberização de batata em função da aplicação de extrato de alga e cobre. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48, Resumos [...]*, Maringá: SOB (CD-ROM), 2008.

CARDOSO, A. D. *et al.* Índice SPAD no limbo foliar da batateira sob parcelamento e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 159-167, 2011.

- CAMPOS, M. F. *et al.* Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 21, p. 53-63, 2008.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001.
- DOURADO NETO, D. *et al.* Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 11, p. 93- 102, 2004.
- FILGUEIRA, F. A. R. Nutrição mineral e adubação em bataticultura, no centro-sul. *In*: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 401-428.
- FONTES, P. C. R; FINGER, F. L. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 24-29, mar./abr. 1999.
- GADUM, J.; PINTO, C. A. B. P.; RIOS, M. C. D. Desempenho agrônômico e reação de clones de batata (*solanum tuberosum*) ao pvv. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, Edição Especial, p. 1484-1492, dez., 2003.
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2017. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/2017/lspa\\_201701.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.
- ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SANTOS, S. O. Efeito de fitorreguladores sobre o desenvolvimento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Carioca. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 7-13, 1999.
- PASTORINI, L. H. *et al.* Produção e teor de carboidratos não estruturais em tubérculos de batata obtidos em duas épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, [online], v. 21, n.4, p.660-665, 2003.
- PEREIRA, J. E. S. *et al.* Avaliação de dois sistemas hidropônicos na produção de material pré-básico de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 19, 2001. (CD-ROM).
- REDDY, J. R.S. *et al.* Effect of fito-horm on the yield attributes and yield of potato. **Mysore Journal of Agricultural Sciences**, v. 25, p. 350-354, 1991.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. Auxina: o hormônio de crescimento. *In: Fisiologia Vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap. 19, p. 449-484

WATANABE, E. Y.; MELO, P. C. T.; RAMOS, V. J. Produtividade de um clone de batata sob adubações mineral e orgânica. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 11, p. 17-25, 2015. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1823>.

YORINORI, G. T. **Curva de crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura da batata cv. Atlantic**. 2003. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

ZORZELLA, C. A. *et al.* Caracterização física, química e sensorial de genótipos de batata processados na forma de chips. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 1, p. 15-24, 2003.

# Arquitetura sustentável: utilização de lodo das estações de tratamento de água na produção de telhas cerâmicas

*Sustainable architecture: use of sludge from water treatment stations in the production of ceramic roof tiles*

**Carolina Kitzinger Dannemann Nunes**

Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo (UNIPAM)

E-mail: carolinakd@unipam.edu.br

**Eduardo Pains de Moraes**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: eduardopm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma análise experimental do uso do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) como elemento de substituição da argila para a fabricação de telhas cerâmicas, uma vez que o material residual possui características físicas semelhantes à argila. Diante do exposto, foram propostas quatro variações de percentual do lodo em relação à massa de argila, sendo 10%, 20%, 30% e 40%. Através das misturas, buscou-se avaliar o índice de absorção conforme ABNT NBR 15310 (2009) e as resistências à compressão e tração na flexão através de corpos de prova prismáticos. Nesses dois últimos ensaios, optou-se pela carga de ruptura a três pontos para atender o critério da ABNT NBR 13279 (2005). Diante dos resultados apresentados, percebeu-se uma relação inversa entre o comportamento da absorção com as resistências, em que a amostra de 10% tem uma redução na absorção de 41% em relação à amostra de 40% de lodo, enquanto a resistência à compressão e a tração na flexão apresentaram um acréscimo de 50% e 71%, respectivamente. Com base no exposto, foi possível perceber que é relevante controlar a porosidade do material, pois implica diretamente na absorção. Além do mais, a mistura de 10% apresentou os melhores resultados nesta pesquisa.

**Palavras-chave:** Lodo. Argila. Uso alternativo. Elementos cerâmicos.

**Abstract:** This work presents an experimental analysis of the use of sludge from the Water Treatment Station (ETA) as a substitute element for clay for the manufacture of ceramic tiles, since the residual material has physical characteristics similar to clay. In view of the above, four variations of sludge percentage in relation to clay mass have been proposed, 10%, 20%, 30% and 40%. Through the mixtures, we sought to evaluate the absorption index according to ABNT NBR 15310 (2009) and the resistance to compression and traction in flexion through prismatic specimens. In these last two tests, the rupture load at three points was chosen to meet the criteria of ABNT NBR 13279 (2005). In view of the results presented, it was noticed an inverse relationship between the absorption behavior with the resistances, in which the 10% sample has a 41% absorption reduction in relation to the 40% sludge sample, while the compressive strength and flexion traction increased by 50% and 71%, respectively. Based on the above, it was possible to

realize that it is relevant to control the porosity of the material, as it directly implies absorption. Furthermore, the 10% mixture showed the best results in this research.

**Keywords:** Sludge. Clay. Alternative use. Ceramic elements.

---

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Revolução Industrial, após a primeira metade do século XVIII, foi responsável por mudar significativamente a concepção de cidade. O grande adensamento urbano fez surgir diversos problemas, entre eles os ambientais, os quais fazem parte da pauta de vários estudos e discussões. Diariamente, toneladas de resíduos são produzidas mundialmente, sendo que grande parte deles não possuem destinação final e tratamento adequado.

Conforme estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2017), 214.868 toneladas de resíduos são produzidas por dia no Brasil, sendo que 18.818 toneladas não possuem destinação apropriada. De acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004), os resíduos sólidos urbanos englobam os resíduos domiciliares, agrícolas, industriais, resíduos de limpeza urbana, quais sejam os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços, como o lodo proveniente de Sistemas de Tratamento de Água.

O lodo, segundo Richer (2009), é produzido na fase de coagulação do tratamento de água, em que são adicionados produtos químicos, os quais desestabilizam as suspensões coloidais de partículas sólidas que se encontram na água bruta; sendo assim, são formados flocos que, ao passarem pelo processo de decantação, sedimentam-se e ficam retidos no fundo dos decantadores. Um dos grandes problemas que as ETAs enfrentam é a disposição final desse material, pois, de acordo com Hoppen *et al.* (2005), representa cerca de 0,3 a 1,0% do volume total de água tratada; há dificuldade no tratamento e disposição final correta devido ao grande volume produzido.

Ainda hoje a maioria das ETAs lança diretamente seus lodos nos corpos d'água mais próximos. O setor de saneamento ambiental precisa ter uma visão mais abrangente do sistema de tratamento de água. Atualmente ela é horizontal; há tendência internacional para se reduzir a quantidade de lodo produzido nas ETAs; o restante deve ser reciclado ou reusado e somente o que não puder ser aproveitado deve ser disposto (IE/SP, 2008).

Tendo em vista a destinação inadequada, esta pesquisa se justifica devido ao lodo, conforme Gervasoni (2014, *apud* MEGDA *et al.*, 2005) possuir características físicas próximas às da argila; sendo assim, visa a empregá-lo diretamente na construção civil, haja vista que a argila é um recurso natural não renovável utilizada em materiais da cerâmica vermelha. Portanto, tal prática visa a reduzir os impactos ambientais, possuindo, como vantagem, a diminuição do consumo de argila e uma possível solução ambientalmente correta para a destinação final do lodo.

O objetivo geral desta pesquisa consiste na determinação das propriedades físicas e mecânicas de elementos cerâmicos fabricadas com adição de lodo proveniente ETAs comparado com elementos convencionais utilizados na construção civil. Diante disso, pretende-se verificar a aptidão da mistura argilosa para o uso como elemento de cobertura em edificações e assim avaliar uma possível substituição de argila por lodo da ETA na fabricação desse material. Como objetivos específicos, busca-se determinar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais fabricados com substituição de argila por lodo da ETA; analisar o comportamento mecânico do lodo quando ocorre a união com a argila; realizar um comparativo dos elementos compostos por 100% argila com os produzidos com diferentes percentuais de lodo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a população e para garantir o bem-estar dos habitantes quanto à qualidade de vida e saúde pública. Precisa-se ter um sistema de abastecimento e tratamento de água potável e de efluentes, a fim de aproveitar corretamente os recursos hídricos (GRASSI, 2001). As ETAs no Brasil, segundo Pereira (2011), em sua maioria, possuem sistema de tratamento convencional com ciclo completo, ou seja, são constituídas de unidades de mistura rápida, floculadores, decantadores ou flotadores, unidades de desinfecção e unidades de correção de pH.

Os resíduos provenientes do tratamento de água são conhecidos como lodo e são produzidos na etapa de coagulação, em que há adição de um agente coagulante, usualmente o sulfato de alumínio (FERREIRA *et al.*, 2009). Essa atividade produz uma grande quantidade de resíduos, os quais, no processo de decantação, separam-se da água e sedimentam-se no fundo dos tanques. Devido a esse processo, por ano são produzidos 4 milhões de toneladas de lodo no Brasil (SILVA, 2011); ademais, Hoppen *et al.* (2005), concluem que uma ETA convencional com capacidade de tratamento de 2400l/s consegue produzir 1,8t/dia de lodo.

Países como Taiwan (República Ocidental da China), na tentativa de controlar os grandes volumes descartados pelas ETAs realizam a incineração desses resíduos para reduzirem os seus pesos e volumes (WANG *et al.*, 2005). Já no Brasil, conforme Katayama (2012), tem-se a disposição final em aterros sanitários, além de aplicação em solos para controle do pH. Todavia, grande parte do lodo gerado ainda é disposta em cursos hídricos; Di Bernardo (2012) confirma que 67,4% dos municípios brasileiros despejam os resíduos em rios, geralmente sem qualquer tipo de tratamento. Esse processo de descarte pode alterar consideravelmente as características das águas do corpo receptor, provocando assoreamento e mudança na cor, turbidez e composição química, além da possibilidade de contaminação do lençol freático (REIS *et al.*, 2007).

Outro fator de destaque é que os decantadores em que ficam retidos os resíduos necessitam de limpeza constante dos filtros; sendo assim, de acordo com Usepa (2000), os filtros são geralmente lavados com água limpa, necessitando de uma grande vazão

para liberar o material sólido retido, havendo um gasto excessivo, como demonstra a Figura 1.

**Figura 1** — Limpeza de um decantador



Fonte: SAAE, 2014.

Em consonância com Reali (1999), se se considerar que milhões de toneladas desses resíduos são dispostos anualmente no ambiente, pode-se classificar os lodos formados como um subproduto com potencial poluidor, devido a seus efeitos químicos, físicos e biológicos. A utilização benéfica do lodo pode ser considerada uma oportunidade de redução de custos e impactos ambientais associados a esse resíduo (HOPPEN *et al.*, 2006). Entre as alternativas utilizadas para o seu aproveitamento, pode-se destacar o emprego desse material na construção civil (FERREIRA *et al.* 2009), mais especificamente na incorporação em elementos da cerâmica vermelha, a fim de reduzir o impacto ambiental e trazer vantagens como a diminuição do consumo da matriz principal, a argila.

A argila é a matéria-prima bruta utilizada na produção de cerâmica vermelha e é comumente encontrada na natureza. Por outro lado, a forte demanda no setor de construção civil tem exigido cada vez mais o aumento na produção de produtos, sendo isso uma consequência direta dessa situação, pois há um aumento significativo na extração e no consumo de argilas pelo setor. Ceratec (1998) elucida que as propriedades químicas e físicas do lodo são similares às da argila natural. Tartari *et al* (2011) explicitam que, além disso, possui natureza heterogênea e não apresenta grande variação física, química e mineralógica.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa está embasada em três etapas de estudo, que são subdivididas conforme as atividades necessárias para atender o objetivo proposto. A primeira etapa está relacionada com a moldagem e substituição de argila por lodo em

corpos de prova. A segunda etapa baseia-se nos ensaios para a verificação da resistência à compressão, da tensão através do ensaio de flexão a três pontos e a absorção inicial. Por fim, na terceira etapa realizou-se uma comparação entre os materiais fabricados com 100% argila e os materiais com diferentes proporções de substituição de argila por lodo da ETA.

### 3.1 OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais que foram obtidos para a pesquisa são o lodo proveniente da ETA e a argila, ambos recolhidos no município de Patos de Minas (MG), uma vez que o primeiro foi coletado na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).

### 3.2 DETERMINAÇÃO DAS AMOSTRAS

O lodo empregado na pesquisa passou por um processo de secagem em estufa à 110°C por 48 horas para a retirada de sua umidade. Posteriormente, foi desaglomerado em moinhos de bola por 20 minutos. Em seguida, foi realizada a análise granulométrica de acordo com a ABNT NBR 7181 (2016) através do processo de peneiramento, sendo retiradas duas amostras de 300 gramas cada uma, com aferição da massa em balança com resolução de 0,1%; após isso, foram encaixadas as peneiras em ordem crescente da base para o topo e levadas ao agitador por cinco minutos.

Já as amostras utilizadas para a aplicação nos ensaios físicos e mecânicos seguiram as proporções mostradas na Tabela 1, de forma que a amostra padrão corresponde ao elemento de controle, ou seja, é composta apenas por argila. Isto se justifica pelo fato deste mineral ser matéria-prima na produção de elementos da cerâmica vermelha, sendo assim, as proporções foram determinadas em um intervalo de 0% a 40% de substituição de lodo por argila, pois de acordo com estudo prévio realizado por Nunes *et al* (2018), foram as proporções que obtiveram resultados satisfatórios.

**Tabela 1** – Número de amostras por percentual de substituição de lodo

Ensaio	Argila 100%	Lodo 10%	Lodo 20%	Lodo 30%	Lodo 40%
Resistência à compressão	6	6	6	6	6
Absorção	4	4	4	4	4

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Deve-se ressaltar que a substituição de lodo da ETA por argila se dá em finalidade da massa dos materiais, ou seja, é identificada a massa da argila, e a quantidade de lodo se dá proporcionalmente. Além disso, os corpos de prova foram moldados de acordo a ABNT NBR 7215 (2019) em moldes prismáticos, com dimensões de 40 milímetros x 40 milímetros x 160 milímetros, através de análise tátil-visual, conforme a Figura 02.

**Figura 2** – Corpos de prova



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

### 3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

As propriedades físicas foram analisadas nas amostras através do ensaio de absorção inicial, a qual é de grande relevância, pois identifica a ascensão capilar da água presente nos poros dos corpos de prova, o que pode gerar manifestações patológicas. Para essa determinação, os ensaios foram realizados de acordo com o Anexo D da ABNT NBR 15270-2 (2017) para indicação da massa úmida e massa seca, em que o índice de absorção d'água inicial (AA) de cada corpo de prova é determinado pela Equação 1:

$$(1) \text{ AA}(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100$$

Sendo que  $m_u$  e  $m_s$ , respectivamente, representam a massa úmida e a massa seca expressa em gramas.

Para analisar a capacidade mecânica das amostras, foram realizados os ensaios de resistência à compressão e tensão à flexão a três pontos, de acordo com a ABNT NBR 15270-2 (2017), como demonstra a Figura 03. Salienta-se que essa norma foi adotada como referência pelo fato de não haver norma específica para os ensaios de corpos de prova com lodo da ETA.

**Figura 3** — Ensaio de resistência à compressão, realizado através da prensa Emic.



Fonte: Arquivo dos autores, 2019.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção estão elucidados os resultados experimentais da caracterização do lodo da ETA por meio das resistências à compressão e a tração na flexão, além da relação desses resultados com o índice de absorção das amostras definidas anteriormente na

metodologia desta pesquisa. Buscou-se discutir os resultados em relação com os de demais autores para qualificar a viabilidade dos ensaios descritos.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Conforme esclarecido na metodologia, o lodo foi submetido à determinação da composição granulométrica com base na ABNT NBR 7181 (2016). Foram obtidos os valores da massa específica e diâmetro máximo, apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Resultados do módulo de finura e diâmetro máximo dos agregados

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Diâmetro Máximo (μm)
Lodo	2,76	31,10

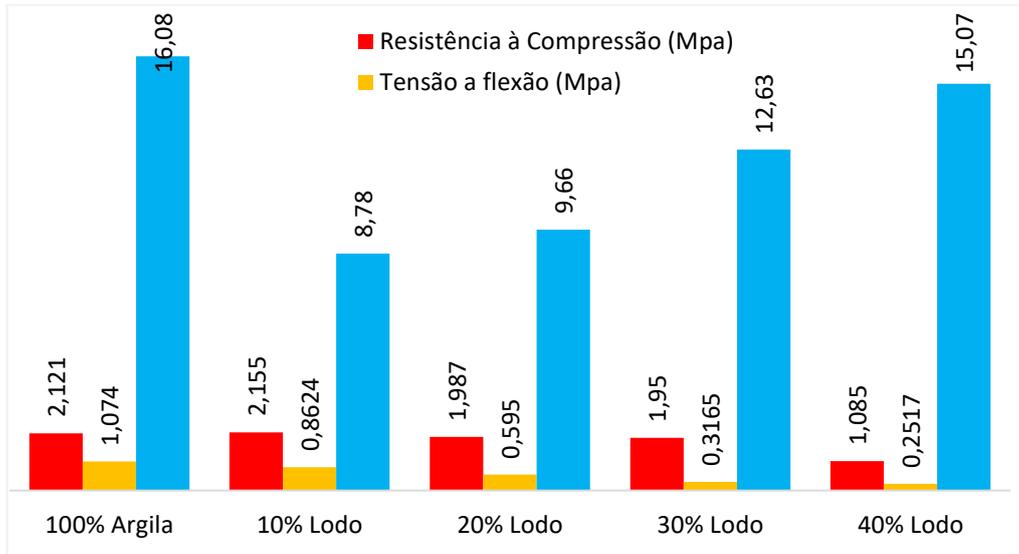
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Conforme apresentado por Souto (2016), o diâmetro médio do lodo é de 35,12 μm; o procedimento foi realizado por granulometria a laser uma faixa de 0,10 a 500,00 μm com o material fino da concha passante da peneira 200, que justifica essa variação de 11,44%. Devido ao fato de material apresentar características distintas de uma região para a outra, essa faixa de variação é aceitável para a determinação da mistura. Nesse mesmo sentido, Souto (2016) analisou a massa específica do material trabalhado e determinou uma média de 2,90 g/cm<sup>3</sup>, resultando em uma variação de 4,82%, porém o modelo do ensaio também foi através de granulometria a laser justificando a possibilidade de variação.

#### 4.2 CORRELAÇÃO ENTRE ABSORÇÃO INICIAL, RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

Posteriormente, foi analisado o índice de absorção das misturas, juntamente com as resistências à compressão e a tração na flexão, para que fosse feita a comparação com o nível máximo atendido pelas telhas cerâmicas. O Gráfico 01 apresenta os valores dos ensaios realizados. Deve-se ressaltar que a proporção das amostras adotadas nesta pesquisa foi baseada na pesquisa de Nunes (2018 *et al.*), que percebeu que, nas misturas acima de 50%, não houve resultados satisfatórios para aplicação em elementos cerâmicos, haja vista que as misturas abaixo de 40% apresentaram potencial para aplicação em elementos cerâmicos.

Gráfico 01 – Resultados dos ensaios de absorção, compressão e tração na flexão

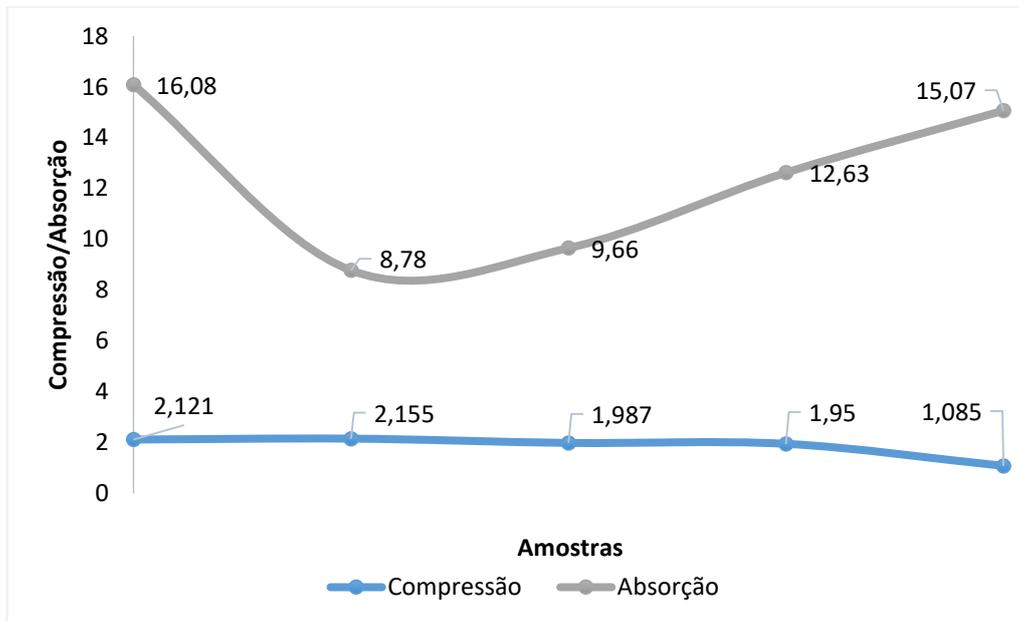


Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Percebe-se que os valores de absorção inicial atendem o critério normativo da ABNT NBR 15310 (2009), que é de 20%. Observou-se que, com uma maior proporção de lodo na mistura, o índice de absorção seguiu a mesma linha de variação, porém, mesmo com a proporção de 40%, obteve-se uma redução de 6,28% em relação à amostra padrão. Conclui-se que, em todas as porcentagens de misturas estudadas, é permitido utilizar o material na produção de telhas cerâmicas.

A absorção ou infiltração de água em excesso reduz a resistência mecânica da telha, representando um risco para a segurança do usuário, principalmente para profissionais que trabalham com o conserto de telhados. Além disso, o excesso de água aumenta a carga na estrutura de madeira que suporta as telhas, ocasionando, portanto, risco de desabamento. Nesse sentido, percebe-se que, tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração na flexão, à medida que a absorção reduz, a resistência mecânica aumenta gradativamente. Diante do exposto, verifica-se que, com 10% de lodo, a resistência à compressão é de 2,15 MPa, enquanto com 40% de lodo essa mesma resistência é igual a 1,08 MPa, resultando em uma variação de aproximadamente 50%, que representa um desvio padrão considerável.

Outro ponto que merece destaque é a comparação isolada do índice de absorção com a resistência à compressão das amostras estudadas nesta pesquisa, conforme apresenta o Gráfico 2. Como citado na análise fundamentada pelo Gráfico 1, percebeu-se uma relação inversa entre a resistência à compressão e a absorção inicial, exceto na amostra padrão de argila.

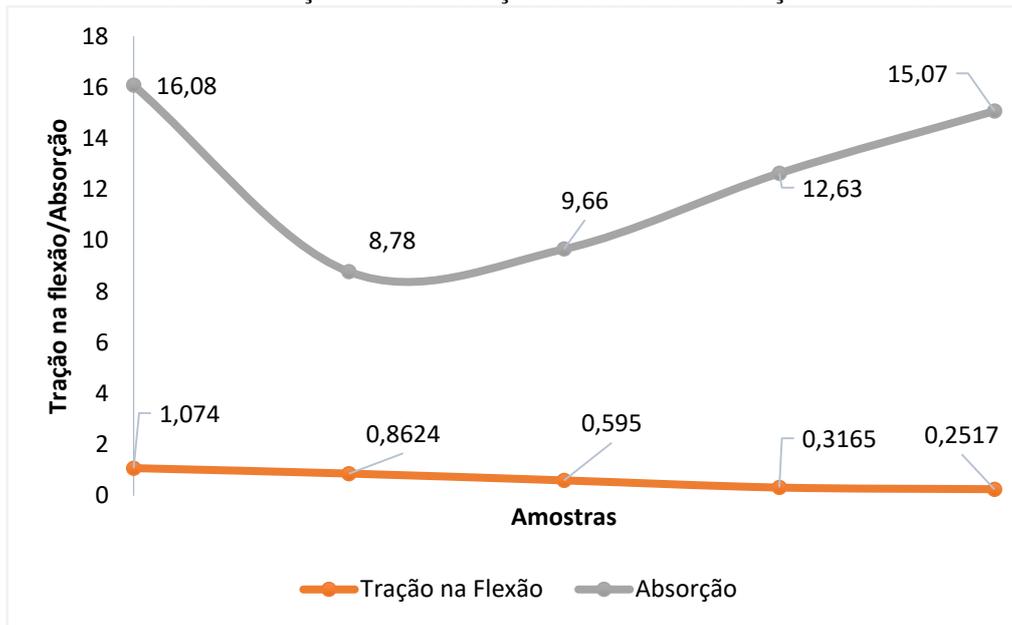
**Gráfico 2 – Relação entre absorção e resistência à compressão**

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Nesta análise, a substituição de material residual, ou seja, o lodo de ETA, prejudica a resistência mecânica, mesmo que o índice de absorção seja reduzido. Esse fato pode ser visto em Paixão (2008), que estudou a adição de lodo nas misturas cerâmicas na mesma porcentagem de 10%; também houve uma redução na resistência mecânica, comparado com a amostra padrão. Uma solução apontada pelo autor foi beneficiar o lodo por meio de calcinação e moagem, antes de adicioná-lo à composição da massa cerâmica. Nessa mesma perspectiva, Waijarean *et al.* (2014) investigaram a utilização de lodo de ETA como matéria-prima fonte de aluminossilicatos para sintetizar geopolímeros. Os resultados obtidos em ensaios de resistência à compressão revelaram que o material produzido com lodo sem calcinação só desenvolveu resistência mecânica após os 60 dias de idade (0,76 MPa), pois não ocorreu a formação de geopolímero nas idades iniciais.

O mesmo caso acontece para a resistência à tração na flexão, pois, como observado no Gráfico 3, à medida que a proporção de lodo aumenta na mistura, o índice de absorção inicial também sofre uma adição, exceto na mistura padrão.

Gráfico 3 – Relação entre absorção e resistência à tração na flexão



Fonte: Dados da pesquisa, 2020

Teixeira *et al.* (2011), ao incorporarem lodo de ETA na composição de materiais cerâmicos, observaram o aumento da absorção de água e a diminuição concomitante da massa específica aparente e da resistência à flexão das amostras. Associaram esses efeitos, principalmente, à concentração elevada de matéria orgânica no lodo (29%), cuja combustão estaria aumentando a porosidade do material durante a queima. Rodrigues e Holanda (2013), ao empregarem lodo de ETA na composição de tijolos solocimento, constataram a diminuição da resistência mecânica dos corpos cimentícios. Relacionaram tal resultado, dentre outros fatores, à elevada proporção de matéria orgânica presente na amostra, de 25,85%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na pesquisa experimental realizada, concluiu-se que a incorporação de lodos de ETA causa danos na composição da mistura, principalmente quando o produto final for utilizado como material cerâmico. Foi percebido que as misturas que apresentaram maiores taxas de adição de lodo sofreram uma queda na resistência devido à permeabilidade provocada por esse material. Ademais, mesmo com o lodo passando por todo o processo de secagem, a matéria orgânica presente na composição provoca todos os efeitos de falhas estruturais ilustrados ao longo da pesquisa. Outro ponto que merece destaque foi a análise granulométrica, pois, através desse procedimento, evidencia-se que as partículas do lodo podem ser ajustadas de acordo com os parâmetros adotados no beneficiamento da mistura. Além do mais, foi percebido que, em altas temperaturas, as misturas com a presença de lodo foram mais susceptíveis

a falhas, causando uma redução tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração na flexão. Com base nessa explanação, foi elucidado que a adição de lodo de ETA na argila para a fabricação de telhas cerâmicas alterou as propriedades mecânicas e físicas do produto final, porém, na mistura de 10%, é recomendável o uso na construção civil.

Os resultados obtidos neste trabalho proporcionam uma discussão quanto à utilização do lodo gerado no processo de tratamento de água. Se, devidamente beneficiado, pode ser inserido na cadeia produtiva da construção civil. Nesse sentido, sugere-se que o resíduo estudado pode ser utilizado como substituto parcial de argilas, na produção de materiais cerâmicos. Conclui-se, portanto, que lodos de ETA podem ser convertidos em matérias-primas econômica e ambientalmente sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Brasil produz mais lixo, mas não avança em coleta seletiva**. 2017.

Disponível em: <http://abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248**: Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7215**: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15310**: componentes cerâmicos: telhas: terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

CERATEC. **Brick Making**. 1998. Disponível em: <http://www.ccex.org/tables/projects.htm>.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2012.

FERREIRA, B. S; REGO, V. B; CALIARI, P. C. Caracterização de lodo de ETA para a incorporação em concreto e fabricação de tijolos. **2º Encontro Nacional de Tecnologia Química**, Salvador, 17 jul. 2009.

GERVASONI, R. **Caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo de estações de tratamento de água do estado do Paraná**. 2014. 144 f. Tese (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2014.

GRASSI, M. T. As águas do planeta terra. **Química Nova na Escola**, São Paulo, 2001.

HOPPEN, C. *et al.* Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmicas**, v. 51, p. 85 – 95, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/26326/1/S0366-69132005000200003.pdf>

HOPPEN, C. *et al.* Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. 2006. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 79-84, 2006.

INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO – IE/SP. Relatório de conclusões do seminário nacional sobre tratamento, usos benéficos e disposição final de lodos de Estações de Tratamento de Água. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE TRATAMENTO, USOS BENÉFICOS E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA, 2008. **Anais [...]** São Paulo, IE, 2008.

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. 2012. 11f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2005.

NUNES, C. K. D.; MARQUES, L. M.; PEREIRA, A. C. R.; CARMINATI, V. Utilização de lodo das estações de tratamento de água na produção de elementos cerâmicos. SUSTENTABILIDADE URBANA, JORNADA URBENERE, 14. E JORNADA CIRES 2., **Anais [...]** Vila Velha (ES), 2018.

PAIXÃO, L. C. C., YOSHIMURA, H. N., ESPINOSA, D. C. R. *et al.*, Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa, **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, p. 63-76, 2008.

- PEREIRA, Sabrina Livia de Medeiros. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
- REALI, M. A. P. **Projeto PROSAB: noções gerais de tratamento e disposição final de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- REIS, E. L.; COTRIM, M. E. B.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O.; ROCHA, S. M.; CUTOLO, S. A. Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 865-872, 2007.
- RICHER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.
- RODRIGUES, L.P., HOLANDA, J.N.F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento, **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, p. 551-556, 2013.
- SAAE Guanhães. **Unidade de Tratamento de Resíduos**. 2014. Disponível em: <https://saaeguanhaes.com.br/?r=agua&p=model/model4&id=15>.
- SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – IPEN/ Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SOUZA, J. A. **Caracterização de caulinita natural e quimicamente modificada com ureia e aplicação em processo de absorção com metais pesados – cinética e termodinâmica do processo**. 2008. Dissertação ( Mestrado em Química ) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, 2008.
- SOUTO, K. R. de S. **Aproveitamento de lodo de esgoto e concha de liliu (Anomalocardia brasiliana) em argamassa**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- TARTARI, R.; DIAZ-MORA, N.; MODENES, A. N.; PIANARO, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. **Cerâmica** [online], 2011, v. 57, n. 343, p.288-293.
- TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; SOUZA, A. E. *et al.* The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials, **Applied Clay Science**, v. 53, p. 561-565, 2011.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Guide to field storage of biosolids and other organic by-products used in agriculture and for soil resource management**. EPA/832-B-00-007. Washington, cap. 1, 2000.

WAIJAREAN, N.; ASAVAPISIT, S.; SOMBATSOMPOP, K. Strength and microstructure of water treatment residue-based geopolymers containing heavy metals. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 486-491, 2014.

WANG, K. S.; CHIOU, I. J.; CHEN, C. H.; WANG, D. Lightweight properties and pore structure of foamed material made from sewage. **Construction and Building Materials**, v. 19, p. 627-633, 2005.

# Estudo luminotécnico – Laboratório de Eletrônica do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM

*Luminothetic study – Electronics Laboratory of the Centro  
Universitário de Patos de Minas – UNIPAM*

**Gabriela Raissa Assunção de Andrade**

Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo (UNIPAM)

E-mail: [gabriela\\_raissa.andrade@hotmail.com](mailto:gabriela_raissa.andrade@hotmail.com)

**Wesley Pereira Marcos**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [wesleypm@unipam.edu.br](mailto:wesleypm@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Diante da relevância de uma iluminação de excelência nas instituições de ensino e da importância do Centro Universitário de Patos de Minas na oferta de ensino de qualidade, o presente trabalho objetivou avaliar a influência dos fatores de iluminação tanto no período diurno, quanto no período noturno, levando em consideração os aspectos que influenciam, direta e indiretamente, na qualidade luminotécnica do Laboratório de Eletrônica. Os resultados obtidos mostraram que, no período diurno, existe uma variedade bastante considerável de iluminação e que os níveis de luz natural, nos pontos mais próximos às janelas, são bem elevados, e, à medida que cada ponto vai se afastando, o nível de luz fica cada vez mais baixo, causando uma grande desuniformidade de luz no laboratório. No período noturno, por sua vez, a iluminação no teto deve ser associada com outros pontos de luz, a fim de obter bons resultados.

**Palavras-chave:** Iluminação. Laboratório acadêmico. Incidência luminosa.

**Abstract:** Given the relevance of excellent lighting in educational institutions and the importance of the Centro Universitário de Patos de Minas in providing quality education, this study aimed to assess the influence of lighting factors both during the day and at night, taking into account the aspects that influence, directly and indirectly, the luminotechnical quality of the Electronics Laboratory. The results obtained showed that, during the day, there is a considerable variety of lighting and that the levels of natural light, in the points closest to the windows, are very high, and, as each point moves away, the level of light gets lower and lower, causing a great unevenness of light in the laboratory. At night, in turn, the lighting on the ceiling must be associated with other points of light in order to obtain good results.

**Keywords:** Lighting. Academic laboratory. Light incidence.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A iluminação passou por diversas transformações ao longo dos anos, o que ocasionou o melhoramento dos desenvolvimentos técnicos preexistentes. Com a

evolução tecnológica e a crescente preocupação ambiental, surgem novas lâmpadas no mercado mundial, as quais se caracterizam por serem mais eficientes e ecologicamente corretas. (WANDERLEY, 2014).

Os projetos de iluminação, por sua vez, são guiados por diretrizes, as quais definem que uma boa iluminação ocorre quando as pessoas desempenham suas atividades habituais de maneira eficiente. Além disso, uma iluminação eficiente não pode comprometer a saúde visual dos usuários. Destaca-se que a iluminação pode ser fornecida por meio de recursos naturais ou artificiais, bem como por ambos os recursos simultaneamente (CARDOSO, 2016).

Para uma adequação geral nos processos projetuais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta as normativas referentes aos parâmetros que contribuem para um ambiente luminoso. Dentre eles, a iluminância e sua distribuição, o ofuscamento, o direcionamento de luz, os aspectos da cor da luz e superfícies, a cintilação, a luz natural e manutenção são condições cruciais para o sucesso de uma excelência luminotécnica. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROOCEL) e a NBR ISO/CIE 8995-1:2013 somam-se às fundamentações legais.

De acordo com Barrett *et al.* (2015), a ausência de iluminação adequada em ambientes, no geral, bem como o não atendimento às normas vigentes acarretam sérios problemas relacionados à saúde vital dos usuários. Nos ambientes de ensino, a iluminação inadequada ou a sua ausência é um agravante que torna a situação ainda mais crítica. É necessário considerar que a concepção do ambiente escolar é relevante no desenvolvimento intelectual humano, uma vez que é nesse meio em que se estabelecem as relações com o mundo e as pessoas. Desse modo, quaisquer aspectos que estão diretamente ligados a esse meio estão suscetíveis a interferências diretas.

A iluminação em ambientes escolares é de grande impacto. Perante diversos casos, as iniciativas para corrigir problemas correlacionados requerem ações corretivas simples, as quais acarretam custos-benefícios satisfatórios e eficientes em prol do desenvolvimento acadêmico do aluno. (BARRETT *et al.*, 2015).

Em síntese, o presente trabalho tem como diretriz formentar estudos e análises luminotécnicos, apresentando recursos que gerem benefícios à saúde visual dos usuários. Ressalta-se, por fim, que a eficiência nos projetos de iluminação é de suma importância para agregação de ensino de qualidade.

## 2 JUSTIFICATIVA

A luz, natural ou artificial, é essencial para a execução de tarefas e o desempenho de atividades rotineiras e cotidianas, pois torna possível que as informações visuais cheguem até as pessoas. Além disso, a luz é responsável por, aproximadamente, 80% da percepção humana. Nas instituições de ensino, o fornecimento de uma iluminação eficiente, capaz de garantir conforto luminoso e bem-estar aos usuários, é de grande relevância, pois o processo de ensino-aprendizagem é diretamente influenciado por ela.

Diante da relevância de uma iluminação de excelência nas instituições de ensino e da importância do Centro Universitário de Patos de Minas na oferta de ensino de qualidade, pesquisas que abordem os aspectos luminotécnicos e que proponham melhorias nas salas de aulas e laboratórios nas dependências do campus são de grande importância. Além disso, a apresentação de propostas que possibilitem tornar a iluminação na instituição mais eficiente e sustentável pode contribuir para um maior conforto luminoso aos usuários dessa instituição educacional, bem como favorecer a saúde humana.

### 3 OBJETIVOS

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar a eficiência luminotécnica do Laboratório de Eletrônica Básica do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Os objetivos específicos são (a) avaliar as condições de iluminação artificial e natural dos laboratórios em períodos diurnos e noturnos; (b) estudar os níveis de iluminância conforme o posicionamento, a configuração e a função dos sistemas existentes no local escolhido; (c) verificar a concordância do laboratório para com os requisitos da norma técnica vigente; (d) propor medidas para o melhoramento técnico luminotécnico consolidado considerando os aspectos de viabilidade econômica.

### 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Visto que a educação tem enorme importância para a formação de profissionais capacitados, neste capítulo são tratadas referências que apontam que o aprendizado do aluno está diretamente ligado às condições das edificações escolares: aspectos ergonômicos, aproveitamento de iluminação natural, aspectos artificiais e conforto visual. Este capítulo, em questão, complementa a ideologia de que a iluminação é um fator primordial para maximizar o desempenho e o rendimento de aprendizagem, tendo como ênfase a importância da eficiência energética e sustentabilidade em projetos luminotécnicos, assim como o embasamento das normativas nesses projetos.

#### 4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

No final do século XX, as discussões sobre a relevância da preservação ambiental, bem como sobre a necessidade de se obter mais eficiência energética, foram iniciadas mundialmente. Na década de 70, verificou-se o surgimento de diversas linhas de pensamento preventivas e corretivas no que tange às condições climáticas globais. Ressalta-se que, durante esse período, diversos países do mundo enfrentavam impactantes crises no setor petrolífero, o que tornava ainda mais urgentes medidas para a sustentabilidade mundial. Dessa forma, esse momento proporcionou o

desenvolvimento de estudos, conferências e a elaboração de documentos expondo medidas e atitudes a serem tomadas para preservação planetária. Portanto, o momento foi decisivo para o surgimento de diversas fontes energéticas alternativas (CARDOSO, 2016).

Diante da necessidade de preservar o meio ambiente e de garantir condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da vida, houve um aumento na responsabilidade social das empresas. Essas responsabilidades deixaram de visar apenas a um bom desempenho econômico e começaram a levar em consideração aspectos sociais, ambientais e políticos na tomada de decisão. Assim, as empresas passaram a ser observadas como instituições sociopolíticas que visam à sustentabilidade. Nesse cenário, surge também a preocupação das empresas com a eficiência energética (CARDOSO, 2016).

Cabe ressaltar que a relação entre o desempenho e o consumo energético que um determinado sistema ou equipamento que dependa de energia elétrica para funcionar é definida como eficiência energética. Outro fator relevante para a eficiência energética é a otimização dos recursos para minimização do desperdício. Esse processo de otimização resulta no desenvolvimento sustentável e na redução de custos, além de gerar atitudes de responsabilidade social e cidadania (SEBRAE-SP; ABESCO, 2015).

#### 4.2 IMPORTÂNCIA DA ILUMINAÇÃO E DO PROJETO LUMINOTÉCNICO

A sensação de bem-estar e as atividades hormonais humanas são influenciadas pela qualidade e pelo brilho da iluminação (OSRAM, 2008). De acordo com Bigoni (2007), 80% da percepção humana é visual. Entretanto, Rezende (2014) afirma que a luz é responsável por, aproximadamente, 85% da capacidade de percepção humana.

Bocchese (2011) afirma que o homem depende da luz para viver e desempenhar atividades no contexto social. A iluminação, natural ou artificial, está presente nas atividades rotineiras e cotidianas das pessoas. Nesse contexto, evidencia-se que a iluminação tem a capacidade de influenciar diretamente o desempenho das atividades, pois a luz é indispensável para que as informações visuais cheguem até as pessoas. Salienta-se que o conceito de iluminar pode ser compreendido como a utilização da luz na criação de condições que possibilitem a execução de atividades com conforto e eficiência. Dessa forma, iluminar é muito mais amplo que a simples destinação de um fluxo luminoso a uma determinada superfície ou espaço (MORAES, 2006).

Diante disso, destaca-se a relevância de projetos luminotécnicos desenvolvidos de forma consciente e adequada para que se atinjam os objetivos propostos com eficiência (REZENDE, 2014; LIMA, 2010). Bocchese (2011) também destaca a importância de adotar sistemas luminícos para suprir as necessidades visuais humanas. Ainda segundo o autor, a luz é fundamental não apenas para que tarefas sejam executadas, mas também para que os usuários disponham de conforto e bem-estar.

Em relação aos projetos luminotécnicos, destaca-se que não se obtém uma boa iluminação de forma isolada, visto que ela é concebida a partir da sincronização com os aspectos arquitetônicos do ambiente. Assim, cada projeto luminotécnico deve atender as

necessidades específicas, o que o torna único em comparação aos demais projetos (CHOU, 2007; LIMA, 2010).

Barbosa (2010) destaca a importância de se considerar a iluminação de fundo. Além disso, esse autor afirma que atenção especial no desenvolvimento de projetos luminotécnicos deve ser direcionada a proporcionar um descanso visual, o qual é indispensável. Ademais, torna-se essencial não se preocupar exclusivamente com os pontos focais. Nesse contexto, enfatiza-se a relevância de se conhecer as características do usuário, visto que elas interferem na acuidade visual. Além disso, a faixa etária dos usuários e as diferenças particulares de cada indivíduo também afetam a acuidade visual.

#### 4.3 ILUMINAÇÃO NA GERAÇÃO DE CONFORTO E BEM-ESTAR

De acordo com Osram (2008), o bom desempenho lumínico só será obtido quando se ilumina bem o ambiente. Entretanto, não se deve confundir iluminar bem com iluminar excessivamente. A iluminação deve ser realizada de modo a garantir conforto luminoso. Este, por sua vez, relaciona-se ao nível de esforço de adaptação do usuário. Dessa forma, quanto menor for o nível de esforço, maior a sensação de conforto.

O desconforto visual decorre de alguns fatores, como a falta de contraste, o ofuscamento em excesso e a ausência de brilho. Já em relação ao conforto luminoso, destaca-se que os fatores que mais exercem influência são a quantidade e a qualidade da luz, a distribuição luminosa no ambiente e os contrastes. Destaca-se que a qualidade da luz afeta a percepção psicológica da iluminação. Com luz de qualidade, os usuários dispõem de condições emocionais de maior agradabilidade e de orientação cronológica, espacial, cultural e histórica (AMARAL; GONÇALVES, 2002; BARBOSA, 2010).

#### 4.4 ILUMINAÇÃO E LUMINOTÉCNICA NO AMBIENTE DAS SALAS DE AULA

A iluminação é um fator decisivo no ambiente da sala de aula, uma vez que o nível de iluminamento influencia diretamente na percepção e no rendimento dos alunos. Além disso, outro aspecto relacionado à iluminação neste ambiente é a fadiga visual, a qual pode afetar negativamente os usuários (ANJOS; MARIBONDO, 2009).

De acordo com Hybiner (2015), a iluminação nas instituições de ensino é um tema que não deve ser negligenciado, sendo de suma importância o direcionamento de atenção especial aos aspectos que envolvem a luminotécnica. Ainda segundo essa autora, a iluminação está diretamente relacionada ao desenvolvimento do aluno e ao processo de ensino e aprendizagem. A ausência da luz natural e dos sistemas de iluminação artificial e o dimensionamento incorreto ocasionam consequências no bem-estar e na saúde dos usuários que utilizam um determinado espaço.

De acordo com Frandoloso (2011), o conforto visual é de grande importância nas edificações que ofertam ensino, visto que são frequentes as atividades visuais no processo de aprendizagem, dentre as quais se destacam a escrita e a leitura. Dessa forma, nas edificações atuais, a iluminação é considerada um requisito funcional que reflete em eficiência. A iluminação tem sido tratada como essencial para a execução de tarefas. A produção humana será maior, mais rápida e com menor fadiga visual quando dispõe de um sistema luminotécnico eficiente e eficaz (VIANNA; GONÇALVES, 2011).

Uma iluminação eficiente contribui para o processo de ensino-aprendizagem, pois garante conforto visual e favorece a percepção dos alunos na sala de aula. Os fatores relacionados às condições do ambiente desempenham um papel decisivo no processo de aprendizagem, pois os estímulos educacionais são transmitidos a partir das percepções sensoriais, sendo a visão um dos estímulos mais importantes (BERTOLOTTI, 2007).

Nesse contexto, o desempenho visual é favorecido pelas boas condições de iluminação em um determinado ambiente. A luz natural, por exemplo, além de favorecer a reprodução das cores, proporciona maior facilidade na identificação dos contrastes e auxilia na percepção de formas tridimensionais. A qualidade da luz também é crucial para a saúde dos olhos, os quais são responsáveis por coletar e converter a luz visível a partir dos nervos óticos. Nesse processo, a luz é convertida em vinte e quatro impulsos elétricos, os quais são direcionados à região cerebral. Salienta-se que a luz natural é responsável por fornecer o mais rico espectro de luz e por atenuar o esforço implícito durante a realização de tarefas visuais.

#### 4.5 NORMATIVAS

As normas vigentes auxiliam diretamente na verificação do dimensionamento do projeto luminotécnico dos ambientes. A Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 5413 (Iluminância de interiores) (ABNT, 1992) define a iluminância como a quantidade de luz incidente numa superfície: “limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para o zero”.

Publicada em 21 de março de 2013 e validada em 21 de abril de 2013, a NBR ISO 8995-1 entrou em vigor como a norma mais atualizada de luminotécnica. É de autoria da Comissão de Estudo CE-03:034.04 (Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei). Ela se destaca pelos requisitos a serem avaliados: controle de ofuscamento, índice de reprodução da cor (RA), iluminação de tarefas e critérios quantitativos, como o atendimento aos níveis de iluminância. Além disso, determina requisitos para aumentar a eficiência no ambiente corporativo, especificando os requisitos de iluminação para locais de uso interno e as circunstâncias para que os ocupantes realizem funções visuais de forma eficaz.

A Figura 1 demonstra os valores de iluminância de acordo com a classe de tarefas visuais e seu tipo de atividade executada, enquanto a Figura 2 indica a iluminância indicada para determinados ambientes.

**Figura 1** – Tabela com índices de iluminação, conforme classificação.

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de Atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupa.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais muito exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas e prolongadas, montagem de microeletrônica.
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413, 1992

**Figura 2** – Tabela com índices de iluminação, conforme uso.

Ambientes	Iluminância (Lux)
<b>Barbearias</b>	
– Geral	150 - 200 - 300
<b>Bibliotecas</b>	
– Salas de Leitura	300 - 500 - 750
– Recinto das estantes	200 - 300 - 500
– Fichário	200 - 300 - 500
<b>Escolas</b>	
– Salas de Aulas	200 - 300 - 500
– Quadros negros	300 - 500 - 750
– Salas de trabalhos manuais	200 - 300 - 500
– Laboratórios	
.Geral	150 - 200 - 300
.Local	300 - 500 - 750
– Anfiteatros e Auditórios	
.Platéia	150 - 200 - 300
.Tribuna	300 - 500 - 750
– Sala de desenho	300 - 500 - 750
– Sala de Reuniões	150 - 200 - 300
– Salas de Educação física	100 - 150 - 200
<b>Escritórios</b>	
– Sala de:	
.Registros, cartografia, etc	750 - 1000 - 1500
.Desenho, engenharia mecânica e arquitetura	750 - 1000 - 1500
.Desenho decorativo e esboço	300 - 500 - 750

Fonte: NBR 5413, 1992

## 5 METODOLOGIA

O Laboratório de Eletrônica é contemplado por segregações de espaços como a área de soldagem e de almoxarifado; entretanto, para esta pesquisa, foi definido apenas o espaço de maior acesso e de uso contínuo dos usuários. A avaliação das condições dos laboratórios foi realizada em cinco etapas de desenvolvimento. A primeira etapa consistiu no levantamento de dados práticos e mapeamento dos laboratórios. Nessa etapa, foram mensuradas as variáveis: área total dos laboratórios, tipologias de iluminação já existentes no local, tonalidade das paredes, altura do pé direito e a utilidade específica de cada ambiente.

Na segunda etapa, foram desempenhados procedimentos técnicos conforme estabelecido nas normas e manuais pertinentes à iluminância em ambientes escolares, os quais determinam os princípios de teste luminotécnicos, conforme regras nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Nessa etapa, foram coletadas as medições lumínicas, com o auxílio do luxímetro digital portátil. Ele foi calibrado e inspecionado em cada aferição a ser realizada. As medições tiveram horário programado, sendo o início da avaliação às 8 horas da manhã e a finalização às 20 horas. As aferições foram feitas com todas as esquadrias e dispositivos possíveis fechados, de modo que quaisquer fontes luminosas externas não influenciassem no processo de medição.

Na terceira etapa, foram analisados e avaliados, de modo analítico, todos os dados e informações levantados nas etapas anteriores. Nessa etapa, foi considerada a influência das alterações advindas do estado de uso, das condições climáticas dos dias de coleta das medições, dos horários de funcionamento, dos aspectos arquitetônicos e dos usuários dos laboratórios em questão.

Em relação à quarta etapa, foram apresentados resultados e discussões sobre a eficiência luminotécnica dos laboratórios institucionais. Portanto, na quinta e última etapa, foram feitas sugestões de melhorias com base nos índices de iluminação dispostos na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR ISO/CIE 8995-1:2013 e em normativas afins.

As medições foram coletadas com o auxílio do equipamento Termo-higro-anemômetro-Luxímetro Digital (LM – 8000 A). Tal equipamento é um dos mais indicados; tem quatro funções de medidas, o que o torna bastante versátil e preciso para medições profissionais. Com ele, podem-se realizar coletas de dados de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e luminosidade dos locais em análise. Em pauta, neste trabalho foram utilizadas as funções de medição da luminosidade, analisadas em lux e para a aferição das medidas de temperatura do ambiente.

Tais aferições foram feitas às 8h, 10h, 14h, 16h e 20h. Levando em consideração as bancadas dispostas no laboratório, foram coletados quatro pontos e, após medição, foi feita uma média de valores.

Outros pontos importantes estão ligados à confiabilidade do equipamento em uso e à previsão do tempo. Dessa maneira, assim como mostrada na figura abaixo, o equipamento também dispõe de um selo de calibração na data do dia 17/05/2019. Teve-se também o cuidado de ajustar o leitor de luminosidade para 0 lux antes de todas as coletas de medidas.

**Figura 3** — Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro Digital



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 4** — Coleta de amostragem



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 5** — Etiqueta de calibragem



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura em que foi realizado o recolhimento da iluminância foi de 92 cm acima do piso, o que equivale à altura da superfície de trabalho dos alunos, no caso, as bancadas. Teve-se o cuidado para evitar sombreamento próximo à área de medição para que não influenciasse nos resultados obtidos com valores em lux.

O dia escolhido para aferição foi 2 de setembro de 2019 – o tempo não estava nublado e as temperaturas mantiveram-se regulares durante todo o período do dia. Abaixo, encontram-se as fotografias das bancadas, fotografadas em horários distintos da disposição das nuvens no dia da coleta de dados. Em sequência, têm-se as tabelas dos dados das aferições.

**Figura 6** — Laboratório de Eletrônica, com luz artificial



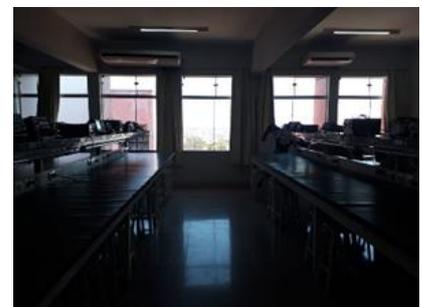
Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 7** — Laboratório com iluminação artificial e natural



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 8** — Laboratório com iluminação artificial e natural



Fonte: arquivos dos autores, 2019.

**Figura 9** – Foto mostrando vista da janela frontal



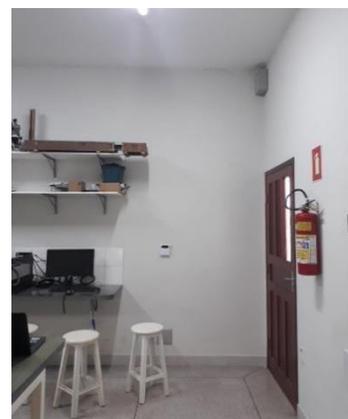
Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 10** – Foto mostrando vista da janela frontal



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Figura 11** – Foto interna do laboratório



Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Tabela 1** – Dados coletados, em relação à luz artificial, às 8 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz artificial – 22 °C – 8 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	31	52	24	54	36
2 ponto (Lux)	22	44	16	44	32
3 ponto (Lux)	26	41	22	45	33
4 ponto (Lux)	28	44	30	56	40
Média em lux	26,75	45,25	23	49,75	35,25

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 2** – Dados coletados, em relação à luz natural mais luz artificial, às 8 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz natural mais luz artificial – 22 °C – 8 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	74	119	89	136	81
2 ponto (Lux)	110	129	99	156	76
3 ponto (Lux)	194	265	213	277	153
4 ponto (Lux)	581	417	459	495	370
Média em lux	239,75	232,5	215	266	170

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 3** – Dados coletados, em relação à luz natural, às 8 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz natural – 22 °C – 8 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	7	35	20	37	10
2 ponto (Lux)	46	46	47	37	19
3 ponto (Lux)	135	227	93	156	73
4 ponto (Lux)	333	525	415	382	256
Média em lux	130,25	208,25	143,75	153	89,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 4** – Dados coletados, em relação à luz artificial, às 10 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz artificial – 22 °C – 10 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	26	54	20	55	34
2 ponto (Lux)	23	52	11	45	29
3 ponto (Lux)	26	52	27	49	41
4 ponto (Lux)	15	35	33	61	38
Média em lux	22,5	48,25	22,75	52,5	35,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 5** – Dados coletados, em relação à luz natural mais luz artificial, às 10 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz natural mais artificial – 22 °C – 10 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	98	141	129	175	112
2 ponto (Lux)	132	155	164	195	138
3 ponto (Lux)	273	268	289	322	269
4 ponto (Lux)	470	581	568	696	546
Média em lux	243,25	286,25	287,5	347	266,25

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 6** – Dados coletados, em relação à luz natural, às 10 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz natural – 22 °C – 10 horas da manhã					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	39	53	57	63	27
2 ponto (Lux)	85	66	86	94	41
3 ponto (Lux)	171	252	217	292	168
4 ponto (Lux)	380	566	535	558	474
Média em lux	168,75	234,25	223,75	251,75	177,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 7** – Dados coletados, em relação à luz artificial, às 14 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz artificial – 22 °C – 14 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	28	54	23	42	Em uso
2 ponto (Lux)	26	51	16	46	Em uso
3 ponto (Lux)	25	46	21	51	36
4 ponto (Lux)	25	26	31	59	40
Média em lux	26	44,25	22,75	49,5	38

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 8** – Dados coletados, em relação à luz natural mais luz artificial, às 14 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz natural mais artificial – 22 °C – 14 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	81	127	97	183	Em uso
2 ponto (Lux)	121	159	122	177	Em uso
3 ponto (Lux)	226	299	194	355	224
4 ponto (Lux)	445	758	414	688	611
Média em lux	218,25	335,75	206,75	350,75	417,5

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 9** – Dados coletados, em relação à luz natural, às 14 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz natural mais artificial – 22 °C – 14 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
Os usuários do laboratório estavam em atividade nesse momento. A análise luminotécnica com apenas a luz natural ficou impossibilitada.					

Fonte: Arquivos dos autores, 2019.

**Tabela 10** – Dados coletados, em relação à luz artificial, às 16 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz artificial – 25 °C – 16 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	49	76	36	86	55
2 ponto (Lux)	47	72	36	70	44
3 ponto (Lux)	51	74	36	70	50
4 ponto (Lux)	54	74	48	74	62
Média em lux	50,25	74	39	75	52,75

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 11** – Dados coletados, em relação à luz natural mais luz artificial, às 16 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019.

Luz natural mais artificial – 23.6 °C – 16 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	134	155	139	204	143
2 ponto (Lux)	267	180	178	236	155
3 ponto (Lux)	615	393	315	460	302
4 ponto (Lux)	645	895	802	1012	880
Média em lux	415,25	405,75	358,5	478	370

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 12** – Dados coletados, em relação à luz natural, às 14 horas, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz natural – 23.6 °C – 16 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	47	59	73	82	57
2 ponto (Lux)	93	71	110	121	85
3 ponto (Lux)	215	247	256	276	209
4 ponto (Lux)	620	808	838	933	673
Média em lux	243,75	296,25	319,25	353	256

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Tabela 13** – Dados coletados, em relação à luz artificial, às 20 horas da manhã, no município de Patos de Minas, MG, no ano 2019

Luz artificial – 22 °C – 20 horas					
Pontos	Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3	Bancada 4	Bancada 5
1 ponto (Lux)	35	48	26	40	43
2 ponto (Lux)	34	51	29	44	36
3 ponto (Lux)	37	52	24	53	38
4 ponto (Lux)	25	29	29	60	42
Média em lux	32,75	45	27	49,25	39,75

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Ao se observarem os resultados, percebe-se que a iluminação dentro do laboratório não é uniforme. Ela é mais intensa nos 4º pontos das bancadas, os quais estão próximos às janelas, e a iluminação do teto é direta sobre as bancadas. Durante o dia, os níveis de luz natural, nos pontos mais próximos às janelas, são bem elevados e, à medida que cada ponto vai se afastando, o nível de luz vai ficando cada vez mais baixo, causando uma grande desuniformidade de luz nas salas. No período noturno, observou que existem outros fatores a serem analisados, pois, se existe uma variedade maior de uso, no laboratório em questão há computadores acessíveis aos alunos, utilizados em determinadas aulas. A iluminação acoplada nas bancadas deve ser mais bem analisada, uma vez que elas podem ser usadas paralelamente.

O maior valor encontrados foi de 1012 lux e o menor de 7 lux. Dessa forma, é possível predeterminar que apenas a iluminação natural ou apenas as luzes artificiais do teto não atendem o estabelecido por norma. O uso exclusivo de apenas um desses recursos é insuficiente para atender a demanda necessária no ambiente.

Em resumo, há dificuldade em obter resultados sem alterar o fluxo de funcionamento dos laboratórios.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos dados analisados, a norma não é atendida em todos os pontos do laboratório, entretanto, existe uma preocupação de oferecer recursos cabíveis para diferenciação de iluminação conforme atividade realizada. O edifício, por exemplo, é composto de brises de alvenaria que impedem que a incidência solar seja excessiva. A utilização de um quadro branco permite que não cause distração aos usuários, o que melhora o rendimento deles. Também há luzes acopladas nas bancadas, que podem ser acessadas conforme necessidade. Estudos mais precisos sobre a verdadeira eficiência desses recursos extras são de extrema importância para melhor entender a iluminação do laboratório em questão, uma vez que, dependendo do uso, tais iluminações podem prejudicar a atividade de outro usuário que esteja próximo.

Observou-se que a setorização de cada espaço aprimora a esquematização e o detalhamento técnico necessário no laboratório. Em outros casos, é possível observar que a iluminância está acima do máximo e há a incidência direta de raios solares na sala. Para haver uma distribuição uniforme e correta da iluminação para conforto e não prejuízos aos usuários, a cortina do laboratório deve ser utilizada, sempre que houver variações significativas na incidência.

Em relação à luz artificial do teto, há necessidade de otimização, uma vez que a ela não tem incidência uniforme sobre a bancada. Uso de rebaixamento de gessos, sobre as vigas existentes, pode ser uma boa aplicação, pois tornaria dispensável o uso de iluminação extra e tornaria adequado o controle, o que traria menos gastos de energia com iluminação e mais conforto e bem-estar dos usuários aumentado.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Juliana Vervloet do; GONÇALVES, Aldo Carlos de Moura. Análise de Iluminação de Lojas de Moda: visando Conforto e Eficiência. **NUTAU' 2002: sustentabilidade, arquitetura, desenho urbano**. São Paulo, 2002. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/25841>.

ANJOS, Gilney Christierny Barros dos; MARIBONDO, Juscelino de Farias. Estudo luminotécnico em ambientes de sala de aula: análise em um curso de administração de uma universidade federal. **Revista Qualitas**, 2009. Disponível em: <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/379>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5382/1985: verificação de iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

BARBOSA, Cláudia Verônica Torres. **Percepção da iluminação no espaço da arquitetura**: preferências humanas em ambientes de trabalho. 2010. 238 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARRETT, P. *et al.* The impact of classroom design on pupil's learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. **Building and Environment**, [s. l.], v. 89, 2015.

BERTOLOTI, D. **Iluminação natural em projetos de escolas**: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. São Paulo: [s. n.], 2007.

BIGONI, Silvia. **A importância da iluminação como suporte de vendas**. 2007. Disponível em: <http://paulooliveira.wordpress.com/2007/04/11/a-importancia-da-iluminacao-comosuporte-devendas/>.

BOCCHESI, M. F. **Projeto luminotécnico em escola no município de Feliz**: otimização do aproveitamento de luz natural. 2011, 92 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARDOSO, Isabela Loureiro. **Projeto luminotécnico e iluminação eficiente e iluminação eficiente energeticamente no setor supermercadista**. 2016. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/eficiencia/projeto\\_luminotecnico\\_eficiente\\_supermercados.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/eficiencia/projeto_luminotecnico_eficiente_supermercados.pdf).

CARVALHO, I. C. Linha histórica da arquitetura escolar no Brasil. *In*: \_\_\_\_\_. **Projeto arquitetônico escolar**: uma proposta voltada à educação ambiental. Pará: [s.n.], 2011. Disponível em: <http://germinai.wordpress.com/textos-classicos-sobreeducacao/linha-historica-da-arquitetura-escolar-do-brasil/>.

CHRISTIERRY, Gilney Barros dos Anjos; MARIBONDO, Juscelino de Farias. Estudo luminotécnico em ambientes de sala: análise em um curso de administração de uma universidade federal. **Revista Qualitas**, 2009. Disponível em: <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/379/277>.

CHOU, Ivone. Iluminação de espaços comerciais. **Revista Lume Arquitetura**, São Paulo, n. 24, p. 54-57, fev./mar. 2007.

FRANDOLOSO, M. A. L. **Crterios de projeto para escolas fundamentais bioclimáticas**. 2001, 233 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HYBINER, Juliana Mara B. H. **Análise da iluminação em salas de aulas de escolas da rede de ensino pública das superintendências regionais de ensino de Juiz de Fora, Ponte Nova e Ubá, MG.** Viçosa, MG, 2015. Disponível em:  
<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7662>.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, Mariana Regina Coimbra de. **Percepção visual aplicada à arquitetura e iluminação.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2010.

MORAES, Douglas Teixeira. **Efeitos dos programas de luz sobre o desempenho, rendimento de abate, aspectos econômicos e resposta imunológica em frangos de corte.** 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006. Disponível em:  
[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/HESA-6ZQP72/douglas\\_teixeira\\_moraes.pdf?sequence=1/](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/HESA-6ZQP72/douglas_teixeira_moraes.pdf?sequence=1/).

OSRAM. **Iluminação: conceitos e projetos.** 2008. Disponível em:  
<http://www.osram.com.br>.

REZENDE, Cristina Carvalho. **Fundamentos para projetos luminotécnicos comerciais: enfoque em livrarias.** 2014. Disponível em:  
<https://revistas.ufg.br/reec/article/download/25841/17039/>.

REZENDE, Débora; lisita, Orlando. Fundamentos para projetos luminotécnicos comerciais: enfoque em livrarias. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 1, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/25841/17039>.

RODRIGUES, Pierre. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel. **Manual de Iluminação Eficiente.** 2002. Disponível em:  
[http://www.cqgp.sp.gov.br/gt\\_licitacoes/publicacoes/procel%20predio\\_pub\\_manual\\_iluminacao.pdf](http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_iluminacao.pdf).

SEBRAE-SP E ABESCO. **Comércio e serviços: economize energia para lucrar mais.** 2015. Disponível em:  
[https://www.ambienteenergia.com.br/wpcontent/uploads/2015/09/comercio\\_servicos\\_economize\\_energia\\_para\\_lucrar\\_mais.pdf](https://www.ambienteenergia.com.br/wpcontent/uploads/2015/09/comercio_servicos_economize_energia_para_lucrar_mais.pdf).

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

WANDERLEY, Thiago Costa. A evolução das lâmpadas e a grande revolução dos LEDs. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 1, n. 9, dez. 2014.

# Sensações e percepções advindas do espaço arquitetônico constituídas através das leis harmônicas musicais

*Sensations and perceptions arising from the architectural space  
constituted through musical harmonic laws*

**Leonardo Henrique Ferreira da Cruz**

Graduando do curso de Arquitetura e Urbanismo (UNIPAM)

E-mail: leonardohenriquef@outlook.com

**Bruno Batista Gonçalves**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: brunobg@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Ao longo da história, o ser humano preocupou-se com a estética em suas criações, entremeadas de ciência e arte. Há uma relação entre música e arquitetura, mas, devido à complexidade inerente a essa análise, ela se torna quase subjetiva aos pesquisadores e usuários. No presente trabalho, procurou-se analisar a relação entre música e arquitetura quanto às sensações definidas pela harmonia funcional e sua materialização nas edificações, com objetivo de se avaliar se as sensações produzidas seriam equivalentes. Foi possível inferir que há similaridade entre as sensações dos usuários e as relações de aspectos arquitetônicos equivalentes às leis harmônicas musicais para quatro edificações analisadas.

**Palavras-chave:** Arquitetura. Harmonia. Harmonia funcional.

**Abstract:** Throughout history, human beings have been concerned with aesthetics in their creations, interspersed with science and art. There is a relationship between music and architecture, but due to the complexity inherent in this analysis, it becomes almost subjective to researchers and users. In the present work, we tried to analyze the relationship between music and architecture regarding the sensations defined by functional harmony and its materialization in buildings, with the objective of evaluating whether the sensations produced would be equivalent. It was possible to infer that there is similarity between the users' sensations and the relations of architectural aspects equivalent to the harmonic musical laws for four buildings analyzed.

**Keywords:** Architecture. Harmony. Functional harmony.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história o homem tem se preocupado com a noção da estética em suas criações. A necessidade o fez criar a ciência, e as artes sempre acompanharam esse progresso, por vezes se entranhando de tal forma que difícil é separar um aspecto do

outro. Arquitetos, por exemplo, desde a época da arquitetura clássica grega, empenharam-se em desenvolver edificações que retratassem o senso de estética, através das proporções e do equilíbrio. A música foi empregada por arquitetos no desenvolvimento de algumas edificações. Assim, o ritmo se traduziu na elaboração e disposição dos elementos geométricos componentes da arquitetura, por exemplo, e até mesmo elementos gráficos, como o pentagrama musical, foram representados nas edificações.

A criação de música adaptada às edificações se consolidou com compositores medievais, como Guillaume Dufay (1397-1474), época em que a música era constituída de simples melodias vocais que foram projetadas para ressoar no volume de grandes catedrais, com longos tempos de reverberação. A música foi sendo adaptada a esses espaços à medida que compositores criaram obras cada vez mais complexas. Ao final da Segunda Guerra Mundial, a ideia de que música poderia parecer arquitetura ganhou mais impulso. Essa correlação foi empregada pelo compositor e arquiteto Iannis Xenakis (1922-2001), que definiu os paralelos entre a forma das estruturas musicais e das construídas, resultando no Philips Pavilion em 1958.

A linha de pesquisa da Arquitetura Participativa, originada durante as décadas de 60 e 70, parte da premissa de estabelecer a relação entre música e edificações. Essa ideia tem antecedentes, incluindo compositores como Benjamin Britten e Edgard Varèse, e arquitetos como Renzo Piano e Carlo Scarpo. Na Austrália, o Instituto Real de Tecnologia de Melbourne, SIAL – Laboratório de Arquitetura da Informação Espacial, dedica-se a pesquisar a ecologia de sons e estruturas.

Sabe-se que a harmonia musical causa sensações nos ouvintes conforme as relações harmônicas que são empregadas. A harmonia funcional, um ramo mais recente, se preocupa em estabelecer essas percepções frente às relações determinadas pelas leis da harmonia tradicional. Vários pesquisadores analisaram a relação música  $\times$  arquitetura e até mesmo estabeleceram algumas analogias. No entanto não foi considerado, em tais análises, se as percepções advindas da materialização daquelas leis nas edificações ocasionariam as mesmas percepções intrínsecas à música. Tal questionamento constituiu-se na problemática aqui investigada. Assim, o objetivo é analisar se as relações harmônicas que foram materializadas em edificações causam as mesmas impressões ao usuário do que aquelas definidas pela harmonia funcional.

Em relação aos benefícios dessa constatação, pode-se considerar que, assim como a música clássica de Mozart ou Beethoven, a arquitetura deve conter um clímax, possuir uma sensação psicológica positiva (TWOMBLY, 1987). Essa condição pode ser ainda mais elevada considerando-se as impressões dos usuários. Assim, o design poderia fluir harmoniosamente em um relacionamento interpessoal, por exemplo, fazendo com que o arquiteto se torne o músico daquela obra. Portanto, a música e a arquitetura podem se relacionar na própria noção de ordem e tempo, inextricavelmente ligado à memória espacial e emocional do apreciador; atualmente, através da expressão digital, a arquitetura poderia, assim, alcançar novos patamares de supremacia criativa.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

## 2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

Por volta de 530 a.C., o matemático grego Pitágoras e seus discípulos acreditavam que o raciocínio matemático alimentava os pensamentos e o número natural não era visto como abstrato. Dessa forma, o matemático passou a ver os números naturais como o princípio de todas as coisas, e a música, parte da existência de uma harmonia universal. Através de estudos acerca dos sons, os pitagóricos formularam uma escala que se tornou a base da música ocidental.

Segundo Rasmussen (1964), Pitágoras iniciou seus estudos sobre os sons harmônicos a partir das marteladas de um ferreiro, concluindo que o som tinha relação entre as medidas e a razão entre o tamanho dos objetos que o produz. Após, Pitágoras passou a estudar a combinação de sons em um monocórdio, inferindo que as relações de comprimento de corda formados por razões numéricas inteiras produziam intervalos sonoros. Quando a corda do monocórdio estivesse esticada, equivalia a um som uníssono (1:1), ao pressionar a corda pela metade, produzia-se o diapasão (1:2), ou intervalo de uma oitava acima (ABDOUNUR, 2006).

Pitágoras, ao dividir a corda sucessivamente, encontrou relações matemáticas entre cada som, possibilitando o surgimento da escala diatônica pitagórica de sete sons harmônicos. A escala é formada por uma sucessão de quintas, e foi utilizada como base para a música medieval até o fim da era renascentista.

Para os discípulos pitagóricos, havia relações entre a música, a astronomia e a matemática. Assim surge a harmonia como parâmetro ordenador, para aquilo que é audivelmente agradável e em perfeita consonância. Passa-se a haver uma regência do mundo pela harmonia, e as leis das proporções harmônicas eram assim aceitas em todas as artes (RABELO, 2007).

Ao progredir em suas observações, os pitagóricos descobriram os números irracionais e delimitaram os princípios da razão áurea: razão harmônica entre dois segmentos. Se um seguimento de linha está dividido em duas partes desiguais, das quais a primeira (a) está para a segunda (b) assim como a segunda está para o todo, encontra-se assim a razão para o número de ouro, *phi* ( $\Phi = 0,618; 1,618$ ) (RASMUSSEN, 1964).

Nos templos da arquitetura clássica, observam-se os ideais de proporções e equilíbrio, tanto em suas plantas quanto em suas fachadas, como no Partenon de Atenas com suas precisões de medidas e razões. Suas colunas representam ritmos proporcionais fortes e fracos alternantes. As colunas frontais correspondem à razão 3:4, um intervalo de quarta musical, e a planta baixa corresponde à razão 2:3, um diapente (DOCZI, 2005).

## 2.2 HARMONIA MUSICAL

Segundo Freitas (1997), a harmonia trata da disposição numa forma bem ordenada das partes de um todo. Em música, a harmonia tonal trata do estabelecimento de relações que são dispostas para determinadas finalidades e, portanto, articuladas em

“progressão” e não amontoadas em “sucessão”. Assim, a harmonia define as relações entre acordes e/ou aquelas constitutivas aos acordes (FREITAS, 1995).

A harmonia pode ser analisada também como um sistema, segundo Freitas (1997), uma vez que ela indica uma ordem e/ou um modo de discurso, o qual é constituído apenas quando suas partes constitutivas exercem influência recíproca. A harmonia é considerada tonal na condição de que todos os parâmetros envolvidos remetem a um único princípio, o qual aparece como fundamento tônico. Assim, todos os dados musicais se organizam entorno desse único centro, o qual é culturalmente definido como tonalidade (FREITAS, 1995).

A harmonia funcional estuda as sensações que os acordes e seus encadeamentos transmitem ao ouvinte. Simplificadamente, há três principais funções harmônicas: a) tônica: transmite uma sensação de repouso, estabilidade e finalização; promovendo, assim, a ideia de conclusão; b) dominante: transmite uma sensação de instabilidade e de tensão, criando a preparação para a tônica; c) subdominante: localiza-se entre as duas funções anteriores, gerando uma sensação de preparação com menor intensidade, podendo migrar tanto para a função dominante (intensificando a tensão) quanto para a tônica (repousando).

Uma distinção básica entre harmonia funcional e tradicional está na sequência dos acordes. Na harmonia funcional, os acordes são blocos “prontos” que resumem a relação entre as vozes que os formam. Portanto, a condução de vozes não entra em mérito na harmonia funcional (ALMADA, 2010). Obviamente, há várias outras diferenças entre essas duas acepções de estudo da harmonia, e é importante ressaltar que a harmonia funcional possui sua base sobre a tradicional e, em decorrência da necessidade prática, ela vem se distinguindo e se consolidando.

### 2.3 HARMONIA NA ARQUITETURA

Por séculos, arquitetos propuseram teorias de proporção como justificativa estética para suas escolhas, de tal forma que essas geometrias unificassem a construção visual, com senso de ordem e continuidade. Conforme Biembegut (1996), onde houver harmonia lá se encontra o número de ouro. Esse pensamento se desdobrou e permeou além da cultura clássica, conforme Rabelo (2007).

Harmonia na arquitetura é criar ordem com simetria, como um senso universal de beleza que pode ser aplicado tanto aos seres humanos quanto às formas (MALLGRAVE, 2005). Conforme as crenças de Vitruvius (80 – 15 a.C.), a estrutura do design se baseia nas leis universais de proporção e simetria, e tais leis se comparam com a simetria do corpo humano.

Assim também são os fundamentos do filósofo e arquiteto Leon Battista Alberti (1404-1472), que declara a harmonia como uma relação de todas as partes entre si e que tudo era alimentado pelas leis matemáticas. O arquiteto descreve que cada parte do edifício é constituída de números, escala e ordem, que compõem os lineamentos do todo. Em sua visão, os lineamentos não são materiais, mas como uma projeção geral da forma (HENDRIX, 2004).

Charles-Edouard Jeanneret-Gris (1887-1965), conhecido como Le Corbusier, melhorou a aparência do design ao utilizar proporções do corpo humano de Vitruvius e tomou como referência do seu sistema modular a sua própria estatura, a razão áurea e os números de Fibonacci (PADOVAN, 1999).

Portanto, a ideia principal da simetria é trazer uma distribuição igual de formas ou peso para a estrutura, projetando assim um equilíbrio. O desenho é visto em duas partes de um eixo, onde existe a mesma quantidade de peso em cada lado. Na arquitetura clássica grega, essa simetria era geralmente centralizada no layout espacial do design, projetando a mesma imagem em ambos os lados. Assim, além de trazer o conceito de equilíbrio com simetria, é uma reflexão de beleza esteticamente agradável.

As proporções humanas encontram-se também na filosofia da perfeição, desde a inscrição a arquitetura (ROSSI, 2007). O equilíbrio simétrico dos gregos e egípcios era um objetivo sistêmico para seu ideal de perfeição; essa teoria percorreu o mundo e afetou diversos movimentos arquitetônicos.

No entanto, na década de 1920 e 1930, a arquitetura foi influenciada pela filosofia modernista de Bauhaus e sua distribuição assimétrica. Alguns arquitetos consideraram a assimetria como uma abordagem mais moderna e dinâmica, com uma distribuição desigual de peso, mas ainda trazendo equilíbrio ao espaço. O arquiteto alemão Walter Gropius (1883-1969), fundador da escola Bauhaus, sempre projetou com proporções assimétricas e objetivava criar uma impressão provocativa dos elementos da edificação. Semelhante ao conceito de Mies Van der Rohe, que procurava combinar simetria e design assimétrico, seu ideal era utilizar espaços usando contrastes de densidade, abertura, assimetria e simetria, convencido de que tal contraste provocaria tensão e proporcionaria uma experiência dinâmica (DROSTE, 2006).

De acordo com Hoffman (1993), após o período Bauhaus, a influência da assimetria se tornou mais regular. Elementos de ordem ainda continuaram a crescer, mas usando o caminho de uma estrutura mais natural chamada “estrutura orgânica” para produção de desenhos mais harmoniosos. Arquitetos como Frank Lloyd Wright (1867-1959), que empregou volumes equilibrados na expressão de projetos contextuais orgânicos com assimetria, ampliam essa noção. Assim, o design assimétrico foi o começo de uma solução não convencional de harmonia, influenciando a futura geração de arquitetos.

A arquitetura orgânica é baseada nas formas da natureza e como a arquitetura pode se integrar a ela. Santiago Calatrava (1951 - presente) não foi influenciado pelas medidas do corpo humano, mas pela incorporação de formas existentes do corpo humano dentro da arquitetura, através da observação de seus movimentos, gestos, posturas, fluxo e estrutura. Seu trabalho no planetário em Valência, o Olho da Sabedoria, foi construído para representar um olho completo devido à reflexão sobre a água (SHAHSHAHANI, 2004). Já a arquiteta Zaha Hadid (1950-2016) empregou em seu trabalho uma geometria irregular em formas orgânicas, a fim de traduzir a proporção harmoniosa em um processo dinâmico contemporâneo. No Museu Guggenheim em Taichung, a ideia ambiciosa de dois corredores principais que se fundem na parte central da arquitetura de forma natural sobrepõe a intervenção matemática para a junção das partes (MERTINS; SCHUMACHER, 2006).

## 2.4 RITMO MUSICAL E ARQUITETÔNICO

O termo ritmo (do grego *rhuthmos* – movimento regular) indica algo que flui, que apresenta movimento regular. Em música, o ritmo pode ser entendido como um movimento coordenado de pulso forte ou fraco. O ritmo é importante para se determinar a duração de cada som na música e a duração dos silêncios (MONTEIRO; ARTAXO, 2000). Na música, os componentes básicos do ritmo são o som e o silêncio, que são combinados para se formar determinados padrões sonoros. Tais padrões são repetidos ao longo de uma obra, que pode ter uma batida constante ou variável.

Outro conceito vinculado ao ritmo é o do compasso. De acordo com o tipo de compasso empregado, define-se o acento que as notas musicais assumirão na obra musical. O compasso determina como se dará a velocidade, a divisão e o agrupamento rítmico das notas (MONTEIRO; ARTAXO, 2000). Uma vez que a música é também considerada uma linguagem, pode-se avaliar o ritmo através do estudo da entoação e intensidade do discurso musical, definido como prosódia musical.

O ritmo transcende a música e compõe no espaço, para a arquitetura, intervalos entre elementos que fazem com que o usuário desfrute de sensações e de um movimento organizado. Como exemplos da aplicação de ritmo em edificações, pode-se citar o Coliseu Romano, um exemplar histórico de ritmo e repetição através de seus arcos.

De acordo com Ferreira (1999), o ritmo designa um movimento apresentado de uma maneira particular; observado através de elementos em uma composição ou de corpos à medida que avançam em uma sequência de espaços. Usando formulários repetidos, o padrão de mesmo tamanho, forma ou cor, podem-se sofrer alterações de quaisquer seções, porém a expressão rítmica permanecerá igual. Isso pode ser observado nas fachadas de um edifício, em que o ritmo pode ser regular, fluente ou progressivo.

O ritmo regular provém da repetição de um elemento por recorrência regular, em que os elementos repetidos são semelhantes em tamanho ou comprimento. Já o ritmo fluente fornece a sensação de movimento e é de natureza orgânica. Tal estado pode ser obtido através da transformação do elemento, porém mantendo o intervalo de movimento semelhante e o mesmo número de vértices e/ou polígonos do elemento (CHAN, 2012). O ritmo progressivo é a reverberação da forma ou formato de um ponto que cresce adicionalmente em uma determinada direção. Por exemplo, a forma com ritmo poderia ser gerada de maneira radial ou concêntrica sobre um ponto ao longo de um caminho com um intervalo gradual (CHING, 2015).

## 2.5 PERCEPÇÕES DE VOLUME E ESPAÇO NA ARQUITETURA

O espaço oferece possibilidades além do puramente visual e pode alcançar todos os sentidos do homem. “Você está na mesa embaralhando papéis e deixa cair alguma coisa. [...] Leva um ou dois segundos antes que você perceba e, mesmo assim, você só o conhece como uma distorção sem forma do espaço abundante em torno de seu corpo.” (DELILLO, 2002, p. 52).

Embora o ser humano esteja consciente até certo ponto de seu envolvimento visual no espaço e no tempo, sua qualidade multissensorial é reduzida quando se move através do espaço, ao longo de intervalos de tempo. Na arquitetura ocidental, a visão tem sido o mais importante dos sentidos, e como argumenta Pallasmaa (2002), o olho tende a levar ao desapego e seduzir pelo encontro enigmático e narcisista com as qualidades objetivas do mundo.

A exemplificação para o espaço em suas diferentes conotações é o Museu Judaico em Berlim, do arquiteto Daniel Libeskind (1946 - presente). Ele expressou, através de sua arquitetura, os ideais de ausência e invisibilidade, como forma de simbolizar o desaparecimento da cultura judaica; por meio de produção narrativa e emocional, ocasiona aos usuários sensação de “uma presença ausente” (SCHNEIDER; LIBESKIND, 1999).

## 2.6 ANALOGIA ENTRE MÚSICA E ARQUITETURA

Há diversas analogias música  $\times$  arquitetura, porém o estudo a respeito das leis harmônicas e sua correlação arquitetônica ainda é escasso, em contrapartida com as inúmeras inferências de ritmo, timbre, entre outros sobre a edificação. Dentre essas comparações, serão citadas nesta seção duas inferências e percepções realizadas por Jencks (2013).

Os templos gregos sintetizaram a construção em torno da performance musical, com atenção ao material empregado para a verberação do som. Suas colunas e intercolúnios criavam uma batida constante de sólido e vazio, similar ao staccato (ponto de diminuição, colocado abaixo ou acima da nota, visando diminuir o valor de uma figura musical em som e silêncio em iguais proporções). Os arquitetos convencionalizaram tais ritmos em função do espaço e do diâmetro da coluna, criando o picnostilo (1  $\frac{1}{2}$  diâmetro), a batida mais rápida do intercolúnio; o sistilo (2 diâmetros) e eustilo (2  $\frac{1}{4}$  diâmetros), usados para velocidades médias; e o diastilo (3 diâmetros) e areostilo (4 diâmetros) para ritmos lentos e imponentes. Apesar da harmonia geométrica, quando as colunas são vistas de forma oblíqua, a ondulação ornamental emerge em ritmos verticais mais acelerados.

No Museu do Holocausto, do arquiteto Peter Eisenman (1932 - presente), pode-se notar a arquitetura como arte percebida de forma variável, experimentado a partir de distâncias e velocidades de movimento, outra exemplificação de composição staccato. Eisenman descreveu seu projeto em um clima amedrontador que experimentou quando se perdeu em um milharal, sem qualquer sinal de orientação ou escala. Seu vasto e ondulado campo de blocos de concreto expressa essa sensação de pânico até o ápice de agorafobia<sup>1</sup>. Assim como nos templos gregos, Eisenman utiliza o mesmo princípio musical, uma batida isolada e em staccato, e converge em presença e ausência, significado enfatizado quando os usuários do local aparecem e desaparecem aleatoriamente devido ao terreno irregular.

---

<sup>1</sup>Fobia de se achar ou de atravessar sozinho grandes espaços abertos.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia envolveu o aprofundamento conceitual nos tópicos inter-relacionados da música e da arquitetura e de aspectos históricos no desenvolvimento da arquitetura baseada na música. De modo geral, a metodologia envolveu:

- seleção de obras arquitetônicas: escolha das obras a serem analisadas, considerando-se aspectos como período, região, tipologia da edificação e arquitetos responsáveis.
- análise harmônica musical x arquitetural: análise das leis harmônicas musicais estabelecidas e suas funções, a fim de definir os padrões e as sensações provocadas nos ouvintes, e investigar sua possível materialização nas edificações.
- aspectos arquitetônicos funcionais: ponderações acerca das sensações que a edificação provoca ao usuário e se elas têm correlação para com aquelas definidas pela harmonia funcional.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES<sup>2</sup>

Oukawa (2010) infere análise musical como um assunto consolidado enquanto disciplina, diferente da análise arquitetônica; e quando comparados, vê-se a análise da arquitetura como algo útil e necessário. A falta dessa disciplina compromete, por exemplo, o desempenho da crítica arquitetônica, da prática de projeto, e permite análises subjetivas para tal exercício, já que ambos dependem do domínio da linguagem do projeto arquitetônico.

Assim sendo, a análise arquitetônica, embasada nos próprios parâmetros da arquitetura, não objetivou definir correspondências fixas nem mesmo uma tradução literal, apenas evidenciar as suspeitas necessárias para se desenvolver um estudo comparativo. Segundo Costa (2005), uma ferramenta analítica necessita de flexibilidade, que não pretenda ser absoluta, impossibilitando a criação de um roteiro único tanto para a análise musical quanto para a análise arquitetônica, dado que o complexo artístico e o processo criativo são um organismo vivo e de constante evolução.

Diante ao exposto, foi empregado como ponto de partida para análise comparativa a relação definida por Oukawa (2010), o qual consiste em um quadro sinóptico proposto para a análise arquitetônica relacionando aspectos como a forma e a plasticidade, uso e ocupação do solo com os acabamentos e elementos de superfície das edificações. Considerando o problema aqui investigado, a investigação foi conduzida

---

<sup>2</sup> Nesta seção, empregam-se termos, notações e simbologias utilizadas na harmonia tradicional e funcional. Para tal, aconselha-se aos que não estejam familiarizados com essas expressões o trabalho de FREITAS, S. P. R. *Teoria da harmonia na música popular: uma definição das relações de combinação entre os acordes na harmonia tonal*. 1995. Dissertação (Mestrado em Artes) – UNESP, São Paulo, 1994.

frente aos aspectos de forma e plasticidade correlacionados com os aspectos da estrutura e da fachada. Para tal análise, foram escolhidas as obras arquitetônicas elencadas na Tabela 01 e ilustradas na Figura 01.

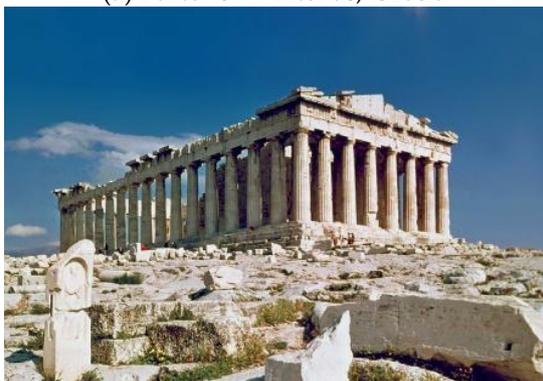
**Tabela 1** – Identificação das obras arquitetônicas

Identificação	Período	Região	Arquiteto (a)
<b>Paternon</b>	Clássico	Atenas, Grécia	Calícrates e Ictinos
<b>Catedral de Notre-Dame de Paris</b>	Gótico Francês	Paris, França	Jean-Baptiste A. Lassus, Jean de Chelles, Jean le Bouteiller, Jean Ravy, Pierre de Montreuil e Raymond du Temple
<b>Edifício Copan</b>	Arquitetura Moderna	São Paulo, Brasil	Oscar Niemeyer
<b>Museu Judaico de Berlim</b>	Arquitetura Contemporânea	Berlim, Alemanha	Daniel Libeskind

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Figura 1:** Obras arquitetônicas selecionadas

(a) Partenon – Atenas, Grécia



Fonte: Swayne, 1978.

(b) Catedral de Notre-Dame de Paris – França



Fonte: <https://pixabay.com/pt>

(c) Edifício Copan – São Paulo, Brasil



Fonte: Pereira, 2019

(d) Museu Judaico de Berlim – Berlim, Alemanha



Fonte: Anabella F. Coria

As obras indicadas na Tabela 1 foram escolhidas devido ao seu valor cultural e social e por abarcarem períodos importantes da história da arquitetura, possibilitando assim uma análise mais generalizada. A análise foi pautada na relação intervalar dos graus musicais e comparada aos arquetônicos. Considerou-se a frequência das notas musicais e as relações intervalares, sucessão de acordes e funções harmônicas estabelecidas pela harmonia funcional.

#### 4.1 PARTENON

O Partenon de Atenas, localizado na cidade-estado da Grécia, foi construído no século V a.C. em homenagem à deusa Atena Pártenos, símbolo de sabedoria e proteção, e para substituir o antigo templo destruído durante a invasão persa em 480 a.C. O símbolo da derrota de uma cidade durante esse período se dava pela tomada e destruição de seus templos, dessa forma a Acrópole de Atena, caracterizada pelo estilo clássico grego e a mesclagem do estilo dórico e jônico, permeia ideais de imponência e proteção. A edificação, além de um símbolo de adoração, era utilizada para guardar as reservas de moeda e metais preciosos da cidade (CHING, 2015).

Como rápida descrição dos elementos analisados que compõem a edificação, esta possui 30 x 69 metros, oito colunas em sua fachada frontal e posterior e dezessete colunas em suas fachadas laterais. Quanto ao estilo, Mattos (2007) define a arquitetura clássica grega como promotora de uma arte de qualidade técnica e idealização própria do pensamento grego através de medidas ideais, proporções fixas e padrões predeterminados.

Se comparada a razão entre o número de colunas da fachada frontal e o da lateral, chega-se a uma relação intervalar de quinta justa (I grau – tônica, V grau – dominante), tal intervalo tem a sensação de completude quando soados juntos, se soados como I - V - I, o quinto grau funciona como um grau dominante e requer conclusão sobre a tônica, essa sequência é utilizada na música com ideia de objetividade, equilíbrio e completude. Tais percepções são adequadas àquelas que se observam da arquitetura clássica grega. No aspecto arquetônico, o centro tonal é a fachada frontal; ao observador

que a contempla tem-se a impressão de que o olhar repousa na fachada frontal, caminha pela fachada lateral e tende a voltar para a fachada frontal novamente, transmitindo uma impressão de completude e imponência quanto ao externo. Importante ressaltar que, se a observação ficar detida na fachada lateral, há uma sensação de insegurança, de necessidade de um centro tonal como referência.

**Figura 2** – Partenon de Atenas



Fonte: Swayne, 1978.

Para a razão comparada entre colunas e intercolúnios, pode-se estabelecer uma relação intervalar de meio tom cromático na fachada lateral ( $V - V^\#$ ), o qual reforça a incompletude, porém, na fachada frontal, a mesma razão assemelha-se a um tom inteiro ou intervalo de segunda maior ( $I - II$ ), o qual transmite sensação de certeza. Outro aspecto é que o segundo grau possui uma função harmônica de subdominante, sendo o grau com relação mais forte na substituição do quarto grau (subdominante), o qual é também um intervalo de quarta justa, e que, se vistos como encadeamento, o segundo grau é supertônico, ou seja, pode deslocar ou reforçar a ideia do centro tonal. Tais condições reforçam a sensação de equilíbrio alcançada pela fachada frontal; o edifício é visto como um todo harmônico.

Importante lembrar que a arquitetura clássica obedecia a uma razão harmônica entre dois segmentos, como medidas múltiplas ou submúltiplas do diâmetro médio de sua coluna, ou seja, uma relação intervalar. No Partenon, diferentes segmentos dividem o monumento das colunas ao topo, e em seus pontos de encontro se forma um retângulo perfeito. Observa-se, assim, a aplicação da razão áurea na edificação, conforme percebido também por Doczi (2005).

Pode-se perceber, portanto, similaridades entre as relações intervalares da música, tanto em análise de bloco harmônico, funções harmônicas ou encadeamento de vozes com as relações dos elementos arquitetônicos considerados na análise; as

sensações e percepções transmitidas ao observador são análogas às aquelas definidas pela harmonia funcional.

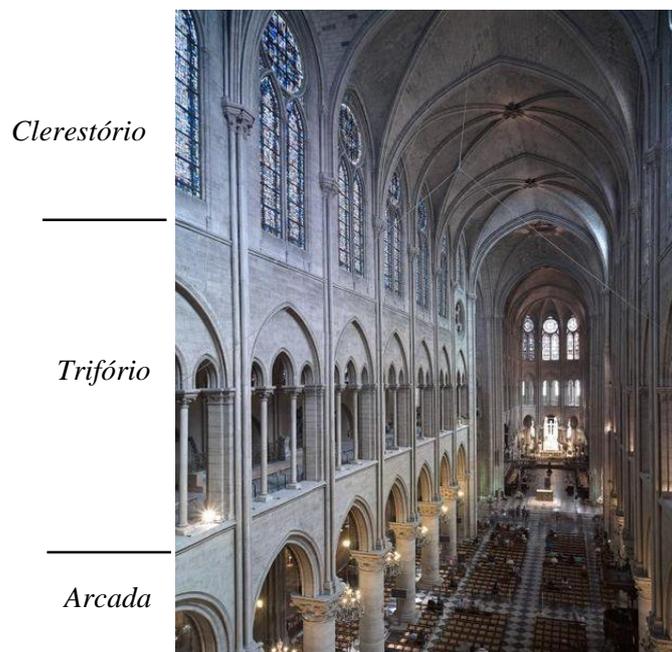
#### 4.2 CATEDRAL DE NOTRE-DAME DE PARIS

A Catedral de Notre-Dame de Paris foi proposta pelo rei Luís VII (1120-1180) e pelo bispo Maurice de Sully (1120-1196). Os trabalhos de construção se iniciaram em 1163 e foram oficialmente completados em 1345, sendo idealizada como símbolo da crescente importância de Paris para os europeus na época. O terreno em que a catedral ocupa já foi local de um templo pagão durante os tempos romanos. Além de um símbolo teológico e artístico, Notre-Dame de Paris tornou-se referência mundial por sua arquitetura gótica, desde seus arcos até as suas estátuas e gárgulas (PEREIRA, 2019).

O período artístico de estilo gótico iniciou-se entre 1050 e 1100 e perdurou por 400 anos aproximadamente, em que seu desenvolvimento se baseou na religiosidade, sendo Deus um elemento supremo. Dessa forma, percebe-se a renovação de estilo caracterizada pela verticalidade e exatidão do traçado para transcender a harmonia divina, se comparado a seu antecessor, o estilo românico (PANOFSKY, 2001).

Foi considerada em análise a elevação interna da nave. Com relação a esses elementos, a Catedral de Notre-Dame possui aproximadamente 43 metros de pé direito, a elevação do interior da nave assim como no coro é dividida em arcada (35 pés), trifório (26 pés) e clerestório (41 pés), subdivididos em arcos ogivais (Figura 03).

**Figura 3** – Elevação interna da nave – Notre-Dame de Paris



Fonte: Adaptado de Pereira, 2019.

Se comparada a razão entre as dimensões da arcada e do trifório, componentes da elevação interna da nave, chega-se a uma relação intervalar de quarta justa que é subdominante ao centro tonal (I grau – tônica, IV grau – subdominante). Tal intervalo transmite a sensação de caminhamento e tem o arbítrio de repousar no centro tonal ou seguir para outros graus. Partindo de um dos princípios do estilo, a verticalidade, ao continuar a análise comparando a razão entre as dimensões do trifório e do clerestório, o resultado equivale a uma relação intervalar de sexta maior que é superdominante à tônica (I grau – tônica, VI grau – superdominante) e que reitera a ideia de caminhamento. O VI grau pode ser aplicado até mesmo para alterar o centro tonal, assim tem-se uma verticalidade tonal formada pela relação I – IV (I) – II M composta (VI M). Quando comparadas aos ideais arquitetônicos, as igrejas góticas utilizavam da verticalidade como ascensão ao ser supremo e minoração do usuário, levando este a elevação de seu olhar e a busca por Deus como salvação, assim como era pregado na Idade Média. A possibilidade de mudança de centro tonal pode ser análoga à transição de sujeitos, partir de uma arquitetura de caráter religioso com predominância verticalizada para simbolizar o caminho para se alcançar um ser supremo.

Para a razão comparada entre os vazios dos mesmos elementos analisados anteriormente, a relação de quantidade de espaços abertos da arcada e do trifório é similar à relação intervalar de quarta justa também, reiterando as noções de equilíbrio e harmonia e a de caminhamento ascensional. Porém quando é analisada a razão de espaços entre trifório e clerestório, chega-se a uma relação intervalar de quinta justa (I grau – tônica, V grau – dominante) que transmite a ideia de necessidade de completude. Assim, analisado o arranjo como um todo, percebe-se a alteração do centro tonal de forma ascendente a cada mudança de elemento, mantendo-se, porém, um equilíbrio harmônico através de relações intervalares justas e maiores que não se afastam do discurso harmônico. Tais condições geram sensação de harmonia, equilíbrio, ascensão e completude apoteótica, o que pode permitir que o olhar do usuário sempre se eleve e repouse no clerestório e abóbodas como sinal de plenitude.

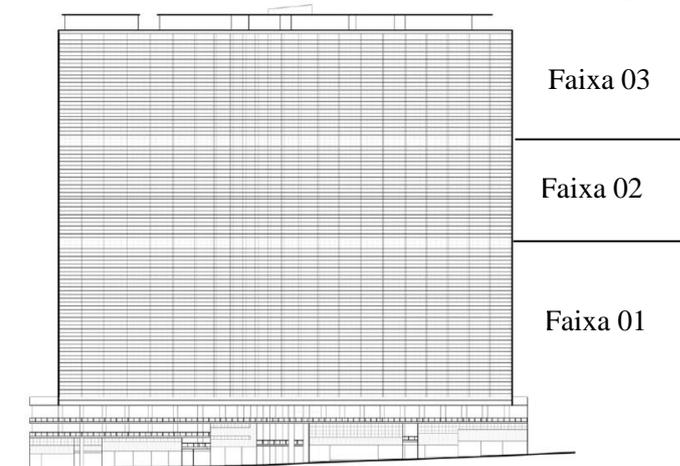
Há uma pequena variação dos elementos vazios na elevação vertical no coro da catedral, porém a razão obtida através do trifório e clerestório assemelha-se a uma relação intervalar dominante de quinta justa. Conforme já explicado, tal relação denota uma necessidade de repouso sobre o centro tonal, o qual se reflete exatamente sobre o altar. Aqui há uma noção de completude não ascensional. Tais características são, por assim dizer, adequadas às sensações desejadas e postas aos usuários. Deve-se salientar que tais condições foram geradas pela noção da estética, equilíbrio, harmonia arquitetônica e funcional dos projetistas, não necessariamente fundamentadas sobre teorias musicais vigentes (ressalvado, aqui, a reverberação sonora desejada pelos projetistas para a sustentação do canto gregoriano), e que comparados às sensações analisadas pela harmonia funcional moderna denotam uma explícita relação existente entre a forma-sonora e a forma-objeto.

### 4.3 EDIFÍCIO COPAN

O Edifício Copan, obra do arquiteto Oscar Niemeyer (1907-2012) iniciada em 1951 e um dos símbolos da arquitetura moderna brasileira, surgiu no contexto de expansão vertical da cidade de São Paulo e contava inicialmente com uma edificação de uso misto que comportaria 900 apartamentos e uma galeria comercial em dois níveis, além de um edifício anexo projetado para fins de hotelaria. Após diversos imprevistos financeiros e mudança de investidores, o hotel se tornou sede de um banco, e a edificação sinuosa se manteve. A edificação residencial com trinta e dois andares encontra-se acima de um piso transitório, o qual possui geometria irregular que comporta acesso independente aos seis blocos, além de comércio, um teatro e um cinema. A torre foi projetada a partir de seções circulares que resultaram em uma lâmina curva, similar a letra S de maior raio (OUKAWA, 2010).

Segundo Oukawa (2010), a Arquitetura Moderna se baseou nos ideais da Idade Moderna e ganhou proporção a partir da Revolução Industrial. No Brasil, tal movimento foi influenciado pelas discussões realizadas durante a Semana de Arte Moderna de 1922 e teve seu auge entre 1930 e 1950. O movimento idealizava a expressão dos elementos nacionais contrapondo o estilo europeu.

**Figura 4** – Elevação sudeste – Edifício Copan



Fonte: Adaptado de Oukawa, 2010.

Em análise à elevação vertical sudeste, esta é composta por brises de concreto armado seccionados horizontalmente e agrupados em três “faixas” de tamanhos diferentes. Foi realizada uma análise similar à seção anterior quanto à comparação entre as razões das dimensões verticais das três “faixas”, conforme Figura 5.

Se comparada a razão entre as alturas das faixas 01 e 02, observa-se uma equivalência à relação intervalar de sexta maior, enquanto a razão entre as alturas das faixas 02 e 03 é similar a um intervalo de segunda menor. Contudo, tal relação, expressa somente por intervalos entre notas, não parece demonstrar alguma correlação específica

com funções harmônicas. Dessa forma, a análise passou a considerar que os graus representem acordes dentro de um campo harmônico, assim a relação entre as faixas 02 e 03 equivale a um acorde de quinta aumentada; observa-se uma função dominante com resolução sobre o acorde de tônica (faixa 03). Conforme análise das funções de acordes triádicos aumentados, tais acordes podem causar o efeito de acorde tônico ou de uma tensão seguida de uma resolução, ou seja, dominantes, como é o caso aqui em análise.

Um acorde dominante de quinta aumentada funciona como uma nota de passagem, como uma pequena distorção sobre o centro tonal; tal recurso é aplicado em música para se alterar a monotonia da já esperada resolução V – I, e é um recurso comumente empregado na música popular brasileira, como pode ser visto na canção *Carinhoso*, do compositor Pixinguinha (1897-1973). A sucessão de acordes II – V (5#) – I é usualmente empregada em música e, ao se analisarem tais condições – considerando a resolução sobre o terceiro grau componente do acorde tônico – observa-se similaridade com as condições intervalares entre as faixas da edificação.

Quanto às características arquitetônicas, para o observador a faixa inferior não lhe traz um sentimento pleno de tranquilidade, de repouso, mas uma necessidade de movimento e progressão, seguindo para a segunda faixa que se estreita e causa uma súbita tensão, e exige resolução, a qual ocorre na terceira faixa. Assim sendo, as proporções entre as distribuições dos brises na fachada sudeste do edifício proporcionam um encadeamento de acorde para se chegar à tônica, usando de um acorde aumentado com efeito dominante; tal condição impele o usuário a contemplar o todo de forma ascensional, transpondo sensações de movimento, tensão e repouso.

#### 4.4 MUSEU JUDAICO DE BERLIM

Segundo Schneider e Libeskind (1999), o Museu Judaico de Berlim é uma das principais obras do arquiteto e músico Daniel Libeskind, que buscou através dele retratar o sofrimento e a angústia durante perseguições e assassinatos de mais de seis milhões de judeus durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945). Ao caminhar pelos corredores da edificação, o usuário experimenta sensações e emoções similares aos fatos e efeitos desencadeados durante o holocausto. O arquiteto expressou, por meio da ausência e invisibilidade, sentimentos que representassem a aniquilação da cultura judaica, utilizando a arquitetura como contadora de história.

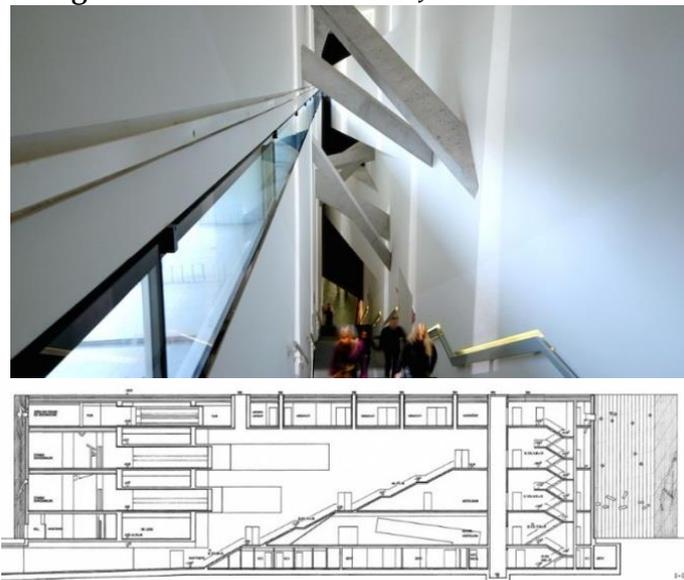
Foi considerada para análise a escadaria que permeia diferentes andares da edificação, representada na Figura 4. Ao passar pela escadaria, percebe-se a propensão do usuário a se sentir constrangido por paredes em um espaço de pouca largura e grande extensão, sob um teto composto por vigas oblíquas difusas que se repetem em uma espécie de eco. Essa atmosfera do local remete a uma ideia de afastamento de uma zona de repouso indo para uma condição de pânico, em um sentido descendente.

A escadaria é composta por seis lances de escadas, dispostos em uma caixa cuja relação intervalar remete a uma oitava, similar aos seis graus componentes da escala entre a tônica e a sua repetição (oitava); contudo, ao se observar a relação intervalar entre eles, não se tem uma escala musical completa. Tomando a relação intervalar entre os

lances sucessivos da escada e o espaço crescente acima destes (pé direito), tem-se uma relação intervalar idêntica à descrita por uma escala menor diatônica descendente, porém chegando-se somente até o terceiro grau, ou seja, incompleta. Lembrando que escalas menores são mais propensas em causar sensações de tristeza ao ouvinte. Assim os lances sucessivos descendentes remetem a relações intervalares equivalentes a VII m, VI m, V, IV aum. (ou V dim.), IV e III M<sup>3</sup>. Ressalta-se a alteração do terceiro grau de menor para maior, uma condição que gera certo desconforto na relação intervalar de uma escala menor. Outro aspecto notório é a similaridade intervalar com a linha melódica descendente do Adágio em Sol menor do compositor barroco italiano Tomaso Albinoni (1671-1750), escrita em escalar menor e cuja ideia melódica é uma sucessão melancólica e repetitiva de uma sonoridade descendente e angustiada.

Caso transponham tais análises para os aspectos arquitetônicos e conceituais da edificação, pode-se inferir que talvez tenha sido intencional a inserção de elementos intervalares pautados no campo harmônico de uma tonalidade menor com certas peculiaridades de efeito harmônico, adicionado a formas e estética que criassem o todo de sensações que se desejavam imprimir ao usuário. Importante notar que não se têm somente aqui elementos de proporção empregados com similaridade à harmonia musical, mas a complementação de variados elementos arquitetônicos que complementem a experiência.

**Figura 5:** Escadas do Museu Judaico de Berlim



Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br>.

<sup>3</sup> Graus componentes da escala diatônica menor: I, II M, III m, IV, V, VI m e VII m.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar das dificuldades ao longo do desenvolvimento deste trabalho, como a subjetividade e complexidade intrínseca da interrelação arquitetônica e musical, cuja falta de parâmetros e diretrizes prévios possam deixar lacunas, tal condição não impossibilitou que se aplicasse como método a análise de relações intervalares em alguns elementos das edificações investigadas – como elementos estruturais e de fachada, chegando-se a resultados comprobatórios entre as sensações ocasionadas ao usuário e aquelas descritas pela harmonia funcional.

Através das análises desenvolvidas, pode-se dizer que há, de fato, relações harmônicas materializadas em edificações que causam sensações aos usuários conforme as funções harmônicas musicais, sendo estas realizadas de forma deliberada ou não. Tais condições permitem concluir que a razão e a proporcionalidade das formas guardam estreita relação com as razões intervalares sonoras.

Trabalhos de outros pesquisadores, como alguns dos aqui discutidos, demonstram uma lógica comparativa entre música e arquitetura, mesmo quando analisados de outros aspectos. Comprova-se com esta pesquisa uma relação sensorial mais aprofundada que se baseia nas próprias relações e leis constituintes da música. Tal condição bem dominada e aplicada pode proporcionar à arquitetura, como arte baseada no ritmo, proporção e harmonia, uma enorme variedade e alcance de supremacia criativa.

## REFERÊNCIAS

- ABDOUNUR, O. J. **Matemática e música**: o pensamento análogo na construção de significados. 4. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.
- ALMADA, C. **Harmonia funcional**. Campinas: Editora da Unicamp, 2010.
- BIEMBEGUT, M. S. **Número de ouro e secção áurea**. São Paulo: Edifurb, 1996.
- CHAN, C. S. Phenomenology of rhythm in design. *In*: WANG, J. **Frontiers of architectural research**. Beijing: Higher Education Press Limited Company, 2012. p. 253-258
- CHING, F. D. K. **Architecture: form, space and order**. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- COSTA, R. L. M. Apontamentos sobre o estudo da harmonia: por uma abordagem abrangente. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA DA ANPPOM, 15., 2005, Rio de Janeiro . **Anais [...] Rio de Janeiro, UFRJ, 2005.**

- DELILLO, D. **The body artist**: a novel. New York: Simon & Schuster, 2002.
- DOCZI, G. **The power of limits**: proportional harmonies in nature, art, and architecture. Colorado: Shambhala, 2005.
- DROSTE, M. **Bauhaus**. Colónia: Taschen, 2006.
- FERREIRA, A. B. H. **Aurélio século XXI**: o dicionário da Língua Portuguesa. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FREITAS, S. P. R. **Teoria da harmonia na música popular**. 1995, 174 f. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 1995.
- HENDRIX, J. S. **Neoplatonic aesthetics**: music, literature & the visual art. Buffalo: Peter Lang, 2004.
- HOFFMANN, D. **Frank Lloyd Wright's Fallingwater**: the house and its history. New York: Dover Publications, 1993.
- JENCKS, C. Architecture becomes music. In: MOLLARD, M. **The Architectural Review**. London: EMAP Publishing, 2013. p. 91-108.
- MALLGRAVE, H. F. **Architectural theory**: volume I: an anthology from Vitruvius to 1870. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2005.
- MATTOS, P. V. F. B. **Apropriações de imagens artísticas e arquitetônicas pela mídia**. 2007. 351 f. Tese (Doutorado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo) – Departamento de História e Fundamento da Arquitetura e do Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MERTINS, D.; SCHUMACHER, P. **Zaha Hadid**. Upper East Side: Guggenheim Museum, 2006.
- MONTEIRO, G. A.; ARTAXO, M. I. **Ritmo e movimento**. São Paulo: Phorte, 2000.
- OUKAWA, C. S. **Edifício Copan**: uma análise arquitetônica com inspiração na disciplina análise musical. 2010, 212 f. Dissertação (Mestrado em Projeto de Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- PADOVAN, R. **Proportion**: science, philosophy, architecture. Oxfordshire United Kingdom: Taylor & Francis, 1999.

PALLASMAA, J. **The eyes of the skin: architecture and the scenes.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

PANOFSKY, Erwyn. **Arquitetura gótica e escolástica.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

PEREIRA, C. *et al.* O incêndio da Catedral de Notre-Dame. **ISTOÉ**, São Paulo, ano 42, n. 2573, p. 42-47, 24 abr. 2019.

RABELO, F. A. **Arquitetura e música: interseções polifônicas.** 2007, 130 f. Dissertação Mestrado em Arquitetura) – Universidade de Goiânia, Goiânia, 2007.

RASMUSSEN, S. E. **Experiencing architecture.** 2nd. Massachusetts: The MIT Press, 1964.

ROSSI, C. **Architecture and mathematics in ancient egypt.** England: Cambridge University Press, 2007.

SCHNEIDER, B.; LIBESKIND, D. **Daniel Libeskind: Jewish Museum Berlin** (Architecture). Munique: Prestel, 1999.

SHAHSHAHANI, S. **Body as medium of meaning.** Münster: Lit Verlag, 2004.

TWOMBLY, C. **Frank Lloyd Wright, his life and architecture.** Hoboken: John Wiley & Sons, 1987.

# Processo inicial de recuperação de área degradada em imóvel rural no município de Patos de Minas – MG

*Initial process of recovery of degraded area in rural property in the municipality of Patos de Minas, MG*

**Júnia Cristina Ferreira Sousa**

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária (UNIPAM)

E-mail: [junia.ferr@outlook.com](mailto:junia.ferr@outlook.com)

**Vinicius de Moraes Machado**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [viniciusmm@unipam.edu.br](mailto:viniciusmm@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O presente artigo teve como objetivo analisar a influência da semeadura direta das espécies de *Crotalaria ochroleuca*, *Sesamum indicum* e *Cajanus cajan* no controle cultural de espécies invasoras, em uma área degradada. Após a aplicação das sementes, foi realizado o método amostral de quadrado inventário. Os núcleos foram fotografados utilizando-se uma câmera GoPro Hero. As imagens foram processadas pelo programa SisCob1.0, com o intuito de se obter a porcentagem de cobertura exercida pela vegetação (%V) e pelo solo (%S). A quantidade de indivíduos de adubação verde foi de 293 enquanto de espécies invasoras foi de 49. Os tratamentos testemunhas (T1R1 e T1R2) apresentaram alto percentual de infestação de plantas invasoras. As densidades absolutas foram de 167,43 (ind/m<sup>2</sup>) para espécies de adubação verde e 28 (ind/m<sup>2</sup>) para as invasoras. Concluiu-se que houve a diminuição da infestação de espécies invasoras em decorrência da cobertura das espécies de *Cajanus cajan*.

**Palavras-chave:** Plantas Daninhas. Feijão Guandu. Leguminosas. Controle cultural.

**Abstract:** This article aimed to analyze the influence of direct sowing of *Crotalaria ochroleuca*, *Sesamum indicum* and *Cajanus cajan* species on the cultural control of invasive species in a degraded area. After the application of the seeds, the sampling method of square inventory was carried out. The cores were photographed using a GoPro Hero camera. The images were processed by the SisCob1.0 program, in order to obtain the percentage of coverage exercised by the vegetation (% V) and the soil (% S). The number of individuals with green manure was 293 while the number of invasive species was 49. The control treatments (T1R1 and T1R2) showed a high percentage of infestation of invasive plants. The absolute densities were 167.43 (ind / m<sup>2</sup>) for green manure species and 28 (ind / m<sup>2</sup>) for invasive species. It was concluded that there was a decrease in the infestation of invasive species due to the coverage of *Cajanus cajan* species.

**Keywords:** Weeds. Guandu beans. Legumes. Cultural control.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Recentemente a preservação da biodiversidade retrata um dos maiores obstáculos, em função do alto grau de distúrbios provocados por atividades antrópicas dos ecossistemas naturais presentes no Brasil (CHAVES *et al.*, 2013). Com a finalidade de salvaguardar a qualidade de vida no planeta, Irias *et al.* (2004) ressaltam que, nas últimas décadas, os temas ambientais têm sido estudados, articulados e subordinados aos mais diversos recursos legais em todo o mundo.

Direcionando a discussão para o bioma Cerrado, Menezes *et al.* (s.d.) ressaltam que, na década de 70, o Cerrado tornou-se uma nova e relevante fronteira agrícola brasileira, por meio da criação de programas de desenvolvimento, créditos rurais, auxílio técnico, subsídios, benefícios fiscais, entre outros.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), esse bioma é o segundo maior da América do Sul, classificado de formação savânica mais abundante do mundo. Possui cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, ocupando aproximadamente 25% do território brasileiro e cerca de 60% do estado de Minas Gerais (INPE, s.d.). De acordo com o Romeiro (s.d.), o Cerrado abrange 11 estados e o Distrito Federal, além de apresentar relevância elementar para sociedade brasileira em condições de biodiversidade, conservação dos recursos naturais, em especial recursos hídricos.

Por meio de mapeamento sistemático produzido pelo INPE por intermédio do PRODES Cerrado, no período de 2017 a 2018 foram registrados 6.657 quilômetros quadrados de desmatamento nesse bioma. Dentre as atividades antrópicas que contribui para esse número, destaca-se a pecuária, que, por meio da implantação de pastagens, ocupa um total de 60 milhões de hectares, representando 30% do bioma, à medida que a agricultura anual e a perene totalizam 24 milhões de hectares, 12% do bioma (INPE, s.d.).

Nesse viés, Cunha *et al.* (2008) consideram que o modelo de exploração agrícola adotado, ocorrido em busca do aumento da produtividade, utilizando, além de outras técnicas, o uso intensivo do solo para atividades agropecuárias, afetou a sustentabilidade ecológica, com significativa tendência à degradação ambiental, e representa, na contemporaneidade, o maior problema na região dos cerrados.

Desde o início da expansão das atividades agropecuárias, as espécies de quase todos os grupos taxonômicos vêm sendo conduzidas para fora das fronteiras naturais que demarcavam seu arranjo inicial (SAMPAIO *et al.*, 2013). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, espécies invasoras são reconhecidas como uma das principais causas de ameaça à diversidade biológica (MMA, 2018).

Marchante *et al.* (2014) afirmam que a grande utilização de espécies invasoras pode ser explicada pelo aspecto positivo: são formadoras de pastos, devido ao rápido crescimento e à grande facilidade de dispersão. As principais consequências estão ligadas à competição com espécies nativas, causando a extinção gradativa de espécies locais, impactando o ecossistema como um todo e alterando as fisionomias existentes (PIVELLO *et al.*, 2011).

Algumas linhas de pesquisa têm explorado o uso de espécies de cobertura, sobretudo leguminosas, no controle de plantas invasoras. A eficiência de coberturas vivas de leguminosas forrageiras na redução da germinação e da produção de gramíneas

invasoras, em especial *Urochloa decumbens*, foi atestada pelo estudo desenvolvido por Severino e Chistoffoleti (2001). Da mesma forma, Silva, Hirata e Monquero (2009) atestaram a redução da população infestante em cultura de tomateiro devido plantio de leguminosas forrageiras.

Os resultados positivos proporcionados ao desenvolvimento dessas espécies são analisados em especial no solo, devido à fixação de oxigênio e multiplicação de fungos micorrízicos provenientes do solo, que, quando associados às raízes das plantas, elevam a sua eficiência de absorção de água e nutrientes (SILVEIRA, 1992).

Rodrigues (2010) pontua que, em processos de recuperação de uma área degradada, um dos estágios mais delicados e dispendiosos é o controle de espécies invasoras, sendo necessário, portanto, o desenvolvimento de metodologias que apontem técnicas que reduzam custos dessa ação. O autor complementa ainda que as espécies invasoras se adaptam ao novo meio, além de desempenhar papel de dominância sobre a biodiversidade local, modificando o desempenho dos processos naturais e reduzindo as espécies nativas locais. Para Pitelli (2007), é válido considerar que a manipulação de espécies invasoras em recuperação e reabilitação de áreas degradadas é uma recente linha de pesquisa em que são necessários dados concretos da real interferência dessas plantas no controle dessas populações.

Baseando-se nessas informações, é imprescindível o planejamento do uso do bioma cerrado por meio do desenvolvimento de técnicas sustentáveis que busquem aprimorar, contribuir e viabilizar a recuperação e a reabilitação de áreas degradadas ocupadas por espécies invasoras.

Objetivou-se, nesse estudo, analisar a influência da semeadura direta das espécies *Crotalaria ochroleuca* (Crotalária), *Sesamum indicum* (Gergelim) e *Cajanus cajan* (Feijão Guandu) no controle cultural de espécies invasoras, em uma área degradada em processo inicial de recuperação ambiental, em propriedade rural, no município de Patos de Minas, estado de Minas Gerais.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 BIOMA CERRADO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Pinto e Coronel (2013) afirmam que as transformações desfavoráveis realizadas no meio ambiente seguem o desenvolvimento da humanidade, devido ao invento de novas tecnologias e técnicas de produção econômica. Os autores ressaltam ainda que essas modificações têm promovido diversos embates para a sociedade. Entre estes, a degradação ambiental tem ganhado grande evidência dentro do debate sociopolítico atual. Apresentando uma posição divergente, Sawyer (2002) e Gasques *et al.* (2011) acrescentam que o progresso da agricultura e a multinacionalização do mercado indicam vertentes mais sustentáveis. Além disso, denotam que o aperfeiçoamento da produtividade é o principal fator causador do crescimento da agricultura nos últimos anos.

Proporcionando uma visão mais ampla, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), por meio da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), indica que se almeja que a degradação ambiental seja mitigada pela introdução de iniciativas ambientais de conservação, abrangendo o desenvolvimento de técnicas de plantio sustentável, buscando a transformação de ambientes degradados (FAO, 2015).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, sendo inferior em extensão somente em relação à Amazônia. O clima é caracterizado por apresentar um período chuvoso, que permanece de outubro a março, com média de precipitação anual de 1.500 milímetros, sendo seguido por um período seco, de abril a setembro, apresentando temperaturas habitualmente amenas no decorrer do ano, entre 22°C e 27°C em média (KLINK; MACHADO, 2005).

Na década de 60, o Estado considerou o setor agrícola como um modelo promissor para consolidação na economia internacional. Para isso, introduziram-se novas formas de produção e inauguração de uma agricultura moderna, intitulada “Revolução Verde” (MATOS e PESSÔA, 2005). Menezes *et al.* (s.d.) ressaltam que o recurso crucial para a ocupação dos cerrados foi a constituição de centros especializados, incumbidos de desenvolverem plantas mais persistentes a pragas que se adaptem aos solos com menor aptidão de retenção de água e de baixa fertilidade. A presença de atributos peculiares em termos de localização, infraestrutura e disponibilidade hídrica fez com que o cerrado tornasse alvo da centralização de atividades produtivas, sendo as agropecuárias de grande magnitude para a economia (FERNANDES *et al.*, 2005).

As formações de pastagens constituem-se como o suporte da atividade pecuária, tornando-se condição decisória do mercado, em que a produção advém, em grande parte, de pastagens (DIAS FILHO, 2016). Sendo extensivamente encontradas em regiões tropicais e subtropicais, as espécies exóticas, principalmente do gênero *Urochloa* (*Syn. Brachiaria*), foram trazidas para o Brasil na década de 50 pelo Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPEAN). Destacaram-se pelo seu excelente potencial como forrageiras para o gado, espalhando-se rapidamente por grandes extensões de paisagens naturais (KLINK; MOREIRA, 2002; KELLER-GREIN; MAASS; HANSON, 1996).

O grande atrativo visto por pecuaristas pelas espécies do gênero é atribuído à sua resistência ao pisoteio e à rápida formação de cobertura contínua (RIBEIRO *et al.*, 2005). Por esse motivo, essas espécies são encontradas frequentemente nos habitats antrópicos, sendo utilizadas como parâmetro para avaliar o nível de interferência humana nos ecossistemas (SILVA, 2017a).

Corrêa e Santos (2003) complementam que espécies do gênero tiveram papel extremamente importante, pois viabilizaram a pecuária de corte nos solos ácidos e de baixa fertilidade, características predominantemente encontradas nos solos da região dos cerrados.

Retratando uma visão mais vasta, Barbosa *et al.* (2008) apontam que grande biodiversidade do bioma cerrado está sendo rigorosamente ameaçada por uma série de espécies invasoras trazidas ao país para o desenvolvimento da pecuária. Discorrendo sobre a temática, Andrade *et al.* (2015) pontuam que o cerrado brasileiro dispõe de 203,4 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 24% da extensão nacional e é

responsável por 55% da produção de carne brasileira, boa parte dos cerca de 53 milhões de hectares com pastagens cultivadas.

## 2.2 RECUPERAÇÃO E REABILITAÇÃO DE AMBIENTES DEGRADADOS

Tão notável é a potencialidade de espécies invasoras de transformar sistemas naturais, que são consideradas, na atualidade, umas das maiores ameaças mundiais à biodiversidade, ficando atrás apenas da destruição de habitats pela exploração humana (ZILLER, 2001).

A procura de particularidades coletivas a todas as espécies invasoras apresenta o resgate de uma definição lacônica da ecologia, fundamentado na competição entre espécies. Isso se justifica pelo fato de que as espécies invasoras são notadamente superiores por rapidamente expandirem sua área de ocupação e aumentarem a densidade de seus indivíduos (VALÉRY *et al.*, 2008).

Ampliando essa discussão, Pivello *et al.* (2011) ressaltam que a competição entre espécies nativas e invasoras afeta diretamente o desenvolvimento do processo de recuperação e reabilitação ambiental. Para Pereira e Campos (2001), a predisposição de espécies se tornarem invasoras está relacionada à sua facilidade de adaptação a diferentes tipos de clima e solo, além de apresentarem baixa exigência em condições de fertilidade. Ademais, a pequena cobertura do dossel formado possibilita que gramíneas se desenvolvam sob mudas, dificultando a fixação delas para avançar a sucessão ecológica (SILVEIRA *et al.*, 2013).

O poder invasor de gramíneas no Brasil está associado às suas características biológicas: possuem elevadas taxas de desenvolvimento, rebrotamento e regeneração; são tolerantes ao desfolhamento e à herbivoria; apresentam o metabolismo C<sub>4</sub>, sendo aclimatadas para colonizar áreas abertas e ensolaradas; dispõem de alto rendimento fotossintético, possibilitando sua sobrevivência em solos menos férteis; têm rápido ciclo reprodutivo e intensa produção de sementes (PIVELLO *et al.*, 1999).

Técnicas e estratégias de controle de gramíneas invasoras em áreas em processo de recuperação estão sendo estudadas, com o propósito de acelerar a sucessão ecológica (FLORIDO, 2015). Nesta perspectiva, Martins (2011) salienta que, nesses processos, busca-se por técnicas de baixo impacto ambiental. Barbosa *et al.* (2018) consideram que é possível encontrar diferentes estratégias para controle, como o mecânico (capina), o químico e o cultural (fogo e pastoreio), a associação, entre outras. O método aplicado deve estar em conformidade com o objetivo do projeto e as tecnologias disponíveis, entretanto pode apresentar papel prejudicial para a biodiversidade nativa (SIGG, 1999).

Em áreas de preservação e conservação ambiental, busca-se a contenção permanente; em áreas em processo de restauração e recuperação florestal, a aplicação de técnicas de controle deve ser realizada no início do processo, evitando-se, assim, interferência no desenvolvimento das espécies nativas utilizadas (MARTINS, 2011).

O controle de pragas pela introdução de outra espécie competidora é alcançado por espécies nomeadas “coberturas vivas”, sendo a maioria leguminosa, as quais não desenvolvem conduta invasiva, e podem ser removidas do ambiente facilmente

(ALCÂNTARA, 2000). Entre os efeitos proporcionados pelas leguminosas está a ação alelopática. Ao longo do crescimento vegetativo e do processo de decomposição, algumas espécies desempenham inibição interespecífica, por meio da geração e da liberação de substâncias químicas que intervêm no desenvolvimento de outras espécies (ERASMO *et al.*, 2004).

### 2.3 ADUBAÇÃO VERDE

Um das técnicas mais antigas na agricultura, a adubação verde teve registros por volta dos anos 4.000 a 5.000 a.C. ao longo das margens dos lagos suíços. A primeira transcrição da prática em território brasileiro foi registrada no estudo de D'utra, que, no ano de 1919, utilizou a expressão "culturas de enterrio". (SOUZA, 2014).

As culturas de enterrio são definidas por Agostinetto, Vargas e Bianchi (2015) como uma prática física e mecânica de controle de plantas daninhas por meio do sombreamento e consequentemente da mortalidade delas por falta de luz para realizar fotossíntese.

As espécies leguminosas têm-se destacado nessa prática em razão da sua capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, da reciclagem de nutrientes e da fácil decomposição (ALVARENGA *et al.*, 1995; KLUTHCOUSKI, 1992).

Proporcionando uma visão numa perspectiva mais ampla, Miyasaka *et al.* (1984) relatam que o principal benefício é o alto teor de compostos orgânicos nitrogenados e a presença de um sistema radicular profundo e ramificado, permitindo a retirada de nutrientes de camadas mais profundas do solo, além de fixação do nitrogênio atmosféricos pela simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium/Bradyrhizobium*.

Direcionando a discussão para uma vertente da aplicação química e mecânica nos melhoramentos de solos, alguns cientistas acreditaram que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) seria capaz de disputar com os fertilizantes minerais (PEREIRA; SOARES; PEREIRA, 2012).

Souza (2014) enfatiza que a principal fonte de nitrogênio total gerado no planeta é a fixação biológica, que responde por 56 % da produção, sendo complementado pelas descargas elétricas, que correspondem a 6 %, e a fixação industrial, que representa 26%. A autora acrescenta ainda que o nitrogênio é o macronutriente essencial para as plantas e um dos maiores limitantes para o pleno desenvolvimento da planta, sendo encontrado no solo nas formas iônicas NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato), NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrito) ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amônia) e associado, principalmente, às frações húmicas.

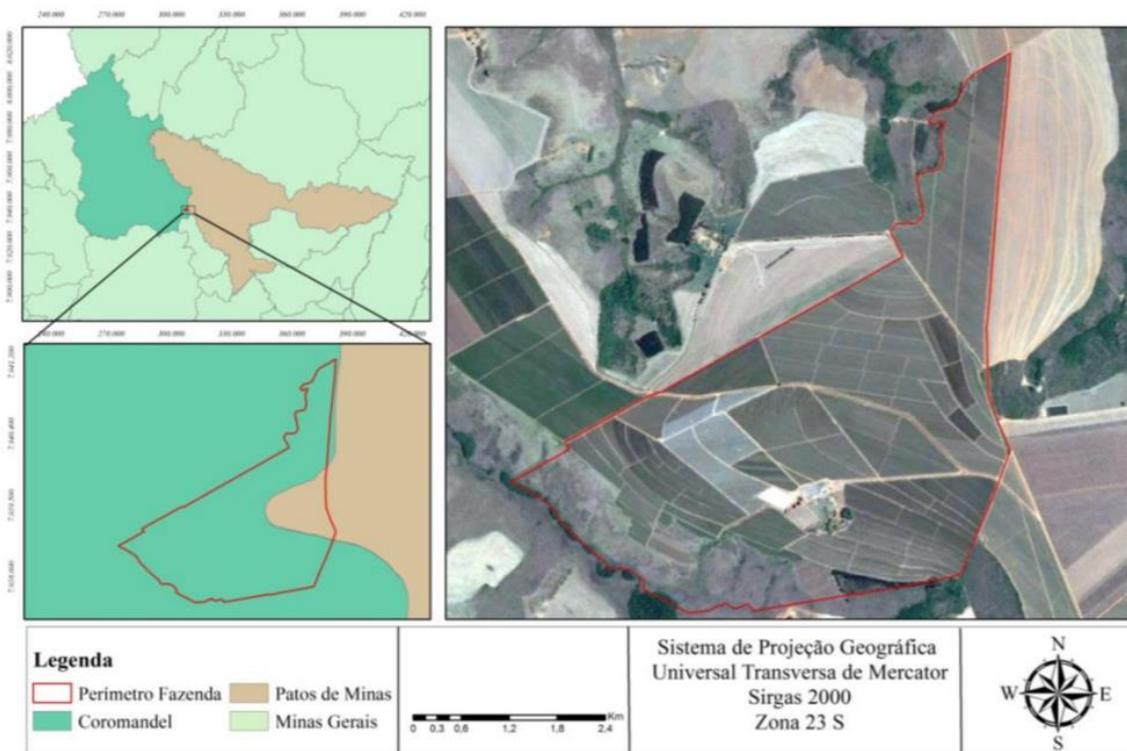
Para mais, Cardoso *et al.* (2013) acrescenta que quanto mais a cobertura é proporcionada pelo adubo verde, melhor é a proteção do solo, pois protege contra o impacto direto da chuva na superfície do solo (erosão hídrica) e, consequentemente, reduz o escoamento superficial e aumenta a capacidade de infiltração.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi conduzida entre março e novembro de 2019 na Fazenda Pântano, localizada no distrito de Pântano da Santa Cruz, no município de Patos de Minas, extremo oeste de Minas Gerais (Figura 1). Reconhecida pela atividade cafeeira, pertence à Microrregião Patrocínio e à Mesorregião do Alto Paranaíba, com sede sob as coordenadas geográficas 18°37'54,00" S e 46°49'27,20" W.

**Figura 1** - Representação da localização da Fazenda Pântano no município de Coromandel e Patos de Minas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A área está inserida em uma região de clima correspondente ao tropical de altitude, sendo que no mês mais quente do ano atinge-se uma média de 22°C e nos meses mais frios, junho e julho, é registrada uma temperatura média de 16°C (CLIMA TEMPO, 2019), classificado de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger como Aw (SILVA, 2017b). As precipitações ocorrem preferencialmente de outubro a março, sendo que nos meses de dezembro (332 mm) e junho (6,8 mm) são registrados o maior e o menor valor, respectivamente (CLIMA TEMPO, 2019).

A altitude média regional está em torno de 800 a 900 m, sendo a altitude mínima de 693m, registrada à noroeste do município, na margem do rio Paranaíba, e máxima de 1.258m, na Serra das Pedras, à sudeste do território municipal (ÁGUA e TERRA, 2006).

No que tange à vegetação, a área de estudo e respectivos entornos localizam-se na zona fitogeográfica do cerrado, encontrando-se bastante descaracterizada em função das atividades antrópicas. Na área do experimento, era desenvolvida, segundo Silva (2017b), a pecuária, sendo, portanto, grande parte preenchida com gramíneas de pasto, em sua maioria com características invasoras (*Melinis minutiflora* e *Urochloa decumbens*), além de resquícios de capim nativo (não identificado).

### 3.2 ESPÉCIES UTILIZADAS E TRATAMENTOS APLICADOS

O experimento foi instalado na área de Reserva Legal da Fazenda Pântano, em março de 2019. Na área de estudo, foram alocadas 14 parcelas circulares, dispostas espaçadamente a uma distância de 10 a 20 metros umas das outras, constituídas pela mesma espécie central com 60 a 70 centímetros de altura, já presente no local e em estágio consolidado de desenvolvimento.

A partir da espécie central, foi realizada a remoção das espécies invasoras presentes nos núcleos, em março de 2019, preservando um raio de, no mínimo, um metro, atingindo assim uma área de aproximadamente 3,14 metros quadrados por parcela amostral (Figura 2). O experimento foi instalado em um delineamento com dois tratamentos, sendo a testemunha com duas repetições.

**Figura 2**— Núcleo após o plantio das sementes das espécies de adubação verde



Fonte: Registro feito pelos autores, 2019.

Com o objetivo de avaliar técnicas de controle de espécies invasoras, foram selecionadas para a realização deste estudo sementes de duas espécies de leguminosas (Feijão Guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*)) e uma espécie oleaginosa (gergelim (*Sesamum indicum*)), sendo espécies utilizadas como adubação verde, que se

adaptam facilmente em solos arenosos e de baixa fertilidade, além de adaptarem-se ao clima e serem tolerantes à seca.

As atividades de plantio foram realizadas em março de 2019, de forma manual e direta, feitas a lanço de um coquetel de sementes, em sulcos abertos, a uma profundidade média de três centímetros. Posteriormente, foram recobertas com solo local, possibilitando a distribuição uniforme das sementes por todo o núcleo. Na Tabela 1, é apresentado maior detalhamento sobre as espécies utilizadas e quantitativo aplicado.

**Tabela 1** – Especificação e quantitativo das espécies utilizadas em cada repetição, sendo: MS a massa de sementes por núcleo e NS número aproximado de sementes aplicadas por núcleo

Nome Popular	Nome Científico	Família	Porcentagem Germinação (%)	Porcentagem Pureza (%)*	MS (g)
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Leguminosas	92,00	99,50	214
Crotalária	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Leguminosas	75,00	98,00	210
Gergelim	<i>Sesamum indicum</i>	Oleaginosas	80,00	98,00	70

\*Dados disponibilizados pelo fornecedor.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

### 3.3 PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO

Posteriormente à implantação do experimento, foram realizadas avaliações entre maio e setembro de 2019, perfazendo duas avaliações. Para que fosse possível acompanhar a germinação e a mortalidade durante o período de avaliação, não foi realizada a eliminação de nenhum indivíduo.

Com a finalidade de avaliar os padrões da estrutura dos componentes herbáceos e estabelecer a porcentagem de cobertura viva desenvolvida sobre os núcleos, foram utilizados dois procedimentos de avaliação: método fotográfico e caracterização fitossociológica realizada através do método de quadrantes.

#### 3.3.1 Determinação de cobertura do solo por método fotográfico

No intuito de avaliar o nível de cobertura do solo com o auxílio de uma estrutura de 3 metros (Figura 3), os núcleos foram fotografados com uma câmera *GoPro Hero + 8.1 Megapixel*, com distância focal e horário padronizados, aos 50 e 190 dias após a semeadura (maio e outubro de 2019, respectivamente) para quantificar a porcentagem de cobertura de copa exercida pela vegetação (%V) e a porcentagem de cobertura exercida pelo solo exposto (%S), por meio do programa *SisCob1.0 (Software para Análise da Cobertura do Solo)* (JORGE; SILVA, 2009), disponibilizado pela Embrapa Instrumentação Agropecuária.

**Figura 3-** Estrutura metálica utilizada para obtenção de fotografia panorâmica dos núcleos



Fonte: Registro feito pelos autores, 2019.

No *software* Siscob V.1.0, foi definida uma escala de cor, estabelecendo a relação de cores que representam os percentuais de cobertura de gramíneas, cobertura exemplar arbóreo, cobertura espécie invasora e solo descoberto.

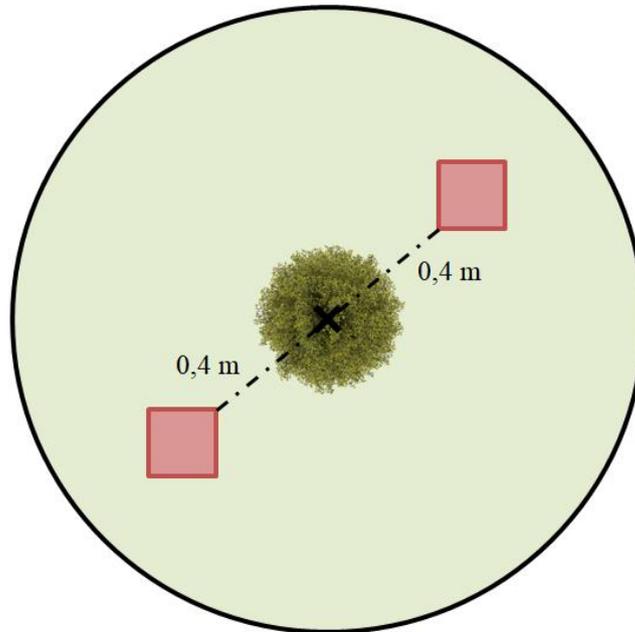
As classes padrões determinadas servem de entrada para RNA (Rede Neural Artificial). A próxima etapa do processo é realizada por meio do processamento e da classificação da imagem, em que são extraídos os componentes de cada pixel e realizado o processamento com base nas informações determinadas. Por fim, foi calculado o percentual de cada classe na imagem, com base no total de pixels da imagem de origem. O sistema informa o percentual final de cada classe padrão e produz uma imagem saída, ilustrando as variações de padrões.

### 3.3.2 Caracterização fitossociológica realizada utilizando-se o método de quadrado inventário

A análise fitossociológica foi efetuada empregando-se o método amostral de quadrado inventário, com estimativa visual de cobertura para cada espécie presente na área amostral. Foram realizadas duas amostragens por núcleo, perfazendo um total de 28. Para padronização da localização, foi considerada a linha perpendicular distante 0,4 metros a partir da espécie central que compõe o núcleo (Figura 4). A seleção da área e

do local de amostragem tem por base permitir que a composição de espécies e comunidades estejam adequadamente representadas, aos 150 dias após o plantio.

**Figura 4** — Representação Esquemática: em cor verde o núcleo e em cor vermelha os quadrados inventários, que serão aplicados a uma distância padrão de 0,4 metros da espécie central



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

O quadrado foi produzido por meio da aplicação de uma estrutura de madeira de 0,0626m<sup>2</sup> (0,25m x 0,25m), subdividida em nove células. Nessas células, registrou-se a presença/ausência de cada uma das espécies presentes (PINHO, 2010).

### 3.3.2.1 Coeficientes Analisados

Segundo Braun-Blanquet (1979) e Martins (1991), a caracterização fitossociológica pode ser feita mediante cálculos de densidade e frequência. Para determinação de índices fitossociológicos, foram determinados os seguintes parâmetros, calculados para cada espécie individualmente:

- **Densidade Absoluta (DA)**

$$\text{Densidade Absoluta (DA)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de indivíduos da espécie}}{\text{Área total amostrada}}$$

- **Densidade Relativa (DR)**

$$\text{Densidade Relativa (DR\%)} = \frac{\text{Densidade absoluta da espécie}}{\sum \text{DA de todos os indivíduos}} \times 100$$

- **Frequência Absoluta (FA)**

$$\text{Frequência Absoluta (FA)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de unidades amostrais que a espécie ocorre com a espécie}}{\text{n}^\circ \text{ total de unidades amostrais}}$$

- **Frequência Relativa (FR)**

$$\text{Frequência Relativa (FR\%)} = \frac{\text{Frequência absoluta (FA) da espécie}}{\sum \text{FA de todas as espécies}} \times 100$$

A avaliação dos resultados obtidos utilizou o cruzamento e a análise dos parâmetros de nível de cobertura do solo e a caracterização fitossociológica para estimar a acurácia dos dados obtidos, permitindo compreender o local em estudo.

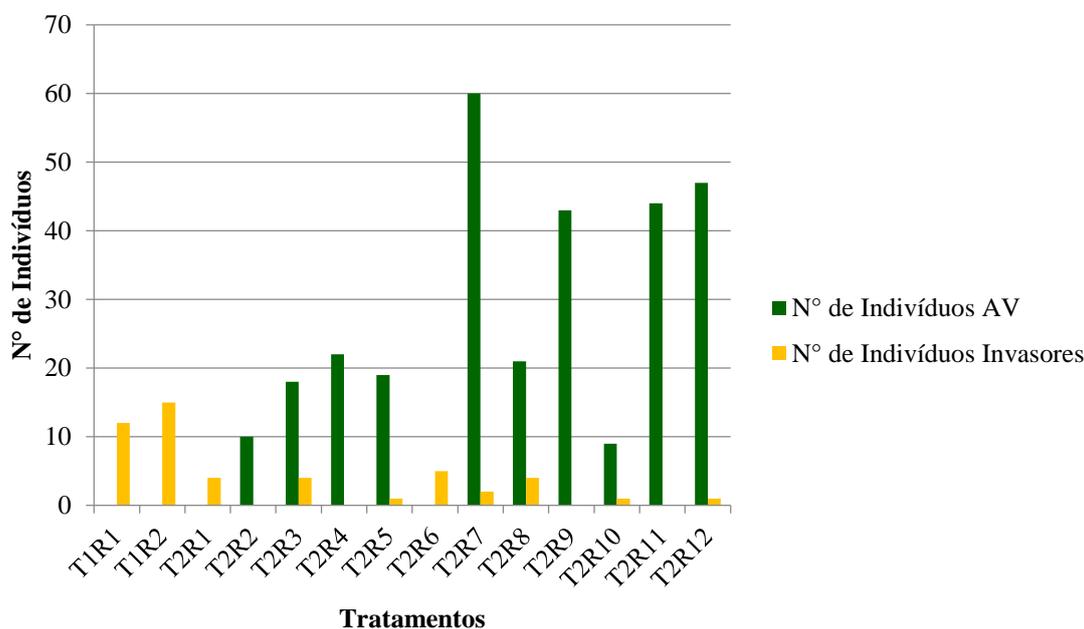
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA REALIZADA UTILIZANDO-SE O MÉTODO DE QUADRADO INVENTÁRIO

Das três espécies de adubação verde utilizadas na área do experimento, apenas o Feijão Guandu teve presença detectada. Favero *et al.* (2001) salientam que o Feijão Guandu apresenta baixa eficiência de cobertura de solo e, por isso, sua capacidade de supressão de plantas daninhas nos seus primeiros estádios de crescimento também é pequena.

No Gráfico 1, são apresentados o número de indivíduos de adubação verde e o de invasores obtidos na caracterização fitossociológica. Analisando-se os aspectos gerais da caracterização total da área amostrada, a quantidade de indivíduos de adubação verde foi de 293 enquanto a de espécies invasoras foi de 49 indivíduos.

**Gráfico 1** — Distribuição do nº de indivíduos de adubação verde (AV) e de invasores por tratamento aplicado 150 dias após o plantio na área de Reserva Legal da Fazenda Pântano, Patos de Minas – MG



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Verificou-se, na área de estudo, que os tratamentos testemunhas (T1R1 e T1R2) apresentaram alto percentual de infestação de plantas invasoras quando comparados aos tratamentos que continham as espécies de adubação verde, enquanto o tratamento T2R7 apresentou o maior número de indivíduos de adubação verde (Gráfico 1). Os resultados reforçam as conclusões obtidas por Severino e Chistoffoleti (2001), em que as leguminosas *Crotalaria juncea* e *Cajanus cajan* atingiram uma redução relevante no número de plantas daninhas, sobretudo de *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum* e *Bidens pilosa*.

De acordo com Cava *et al.* (2008), o potencial de supressão de plantas daninhas pelos adubos verdes ocorre em virtude do rápido crescimento delas, aumentando a competição, principalmente por luz, diminuindo a probabilidade de perpetuação de algumas espécies invasoras de difícil controle.

Como se observou no Gráfico 1, o número médio de plantas daninhas foi inferior ao das de adubação verde, justificando os resultados obtidos para densidade. A partir dos dados apresentados na Tabela 2, pode-se afirmar que a densidade absoluta dos indivíduos de adubação verde foi de 167,43, enquanto as invasoras apresentaram 28 indivíduos por metro quadrado, correspondendo a 86% e 14% de densidade relativa, respectivamente. Assim, pressupõe-se que a cultura da espécie de Feijão Guandu pode ter beneficiada pela baixa presença de espécies daninhas. Esse resultado é considerado alto quando comparado com o valor obtido por Silva (2017b), que encontrou o valor

máximo de densidade de 89,33 de indivíduos arbóreos por metro quadrado, no tratamento onde ocorreu a transposição, roçada e retirada do solo.

**Tabela 2**— Cálculo dos índices fitossociológicos obtidos pelo método amostral de quadrado inventário 150 dias após o plantio na área de Reserva Legal da Fazenda Pântano, Patos de Minas – MG

Espécies	Dens. Abs. Ind/m <sup>2</sup>	Dens. Rel. %	Freq. Abs.	Freq. Rel.
A.V	167,43	86,00	0,71	50,00%
Invasora	28,00	14,00	0,71	50,00%

\* Dens. Abs.: Densidade Absoluta; Dens. Rel.: Densidade Relativa; Freq. Abs.: Frequência Absoluta; Freq. Rel.: Frequência Relativa; AV- Espécie de adubação verde.

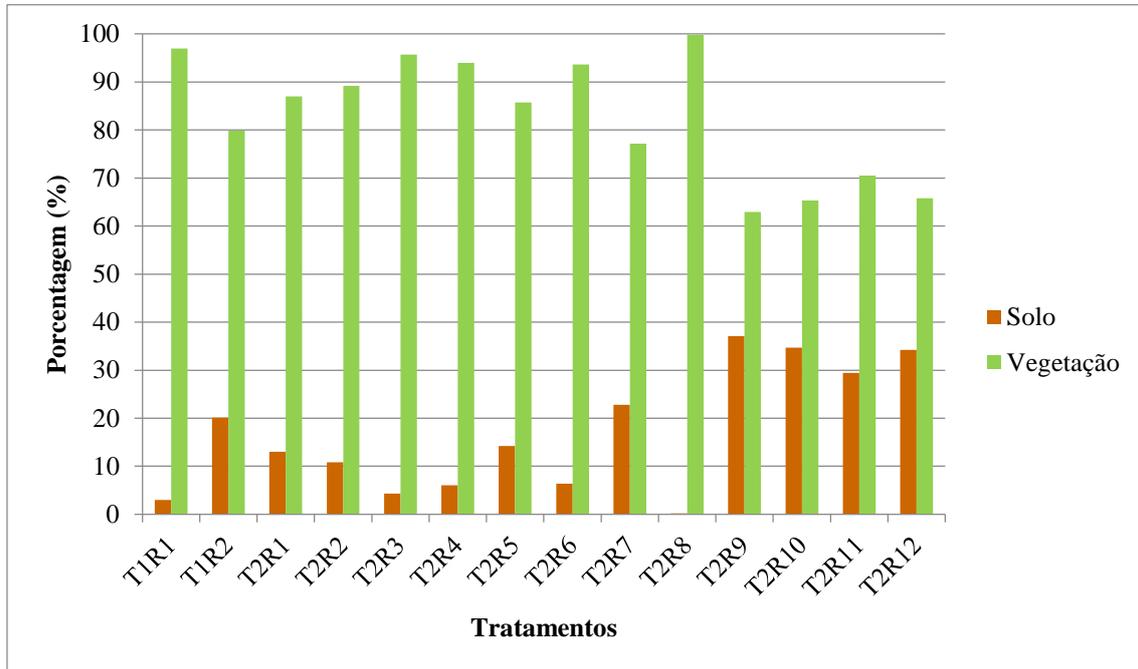
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Embora o número de indivíduos de adubação verde seja mais expressivo, constatou-se a presença de espécies invasoras em 10 dos 14 tratamentos realizados, correspondendo a uma frequência relativa de 50,00%. A incidência das plantas daninhas em grande parte dos núcleos pode ser justificada devido ao banco de sementes existente na área, dificultando o manejo ao longo dos anos em áreas com alta incidência de plantas daninhas (LIMA *et al.*, 2014). Teodoro *et al.* (2011) e Favero *et al.* (2001) acrescentam ainda que espécies com desenvolvimento lento, como o Feijão Guandu, possuem baixo nível de competição com as plantas invasoras, possibilitando o desenvolvimento delas na área.

#### 4.1.1 Determinação de cobertura do solo por método fotográfico

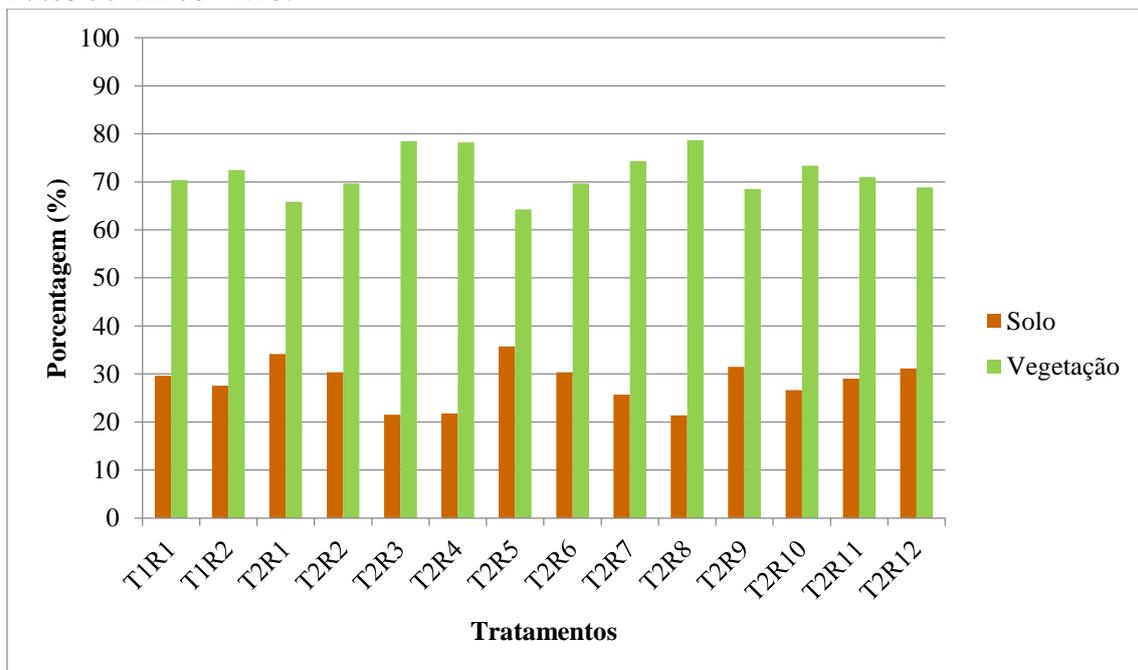
Com o auxílio do *Software* Siscob 1.0, foi possível estimar a porcentagem de cobertura vegetal. No Gráfico 2 e no Gráfico 3, são apresentados os resultados obtidos na primeira e na segunda avaliação, realizadas aos 50 e 190 dias após o plantio, respectivamente.

**Gráfico 2** — Determinação de cobertura do solo por método fotográfico, com o auxílio do Software SisCob V.1.0 para Solo (S.%) e vegetação (V.%), dos tratamentos realizados na 1ª Avaliação (50 dias após o plantio)



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**Gráfico 3** — Determinação de cobertura do solo por método fotográfico, com o auxílio do Software SisCob V.1.0 para Solo (S.%) e vegetação (V.%), dos tratamentos realizados na 2ª Avaliação (190 dias após o plantio) na área de Reserva Legal da Fazenda Pântano, Patos de Minas – MG.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para os tratamentos T2R9, T2R10, T2R11 e T2R12, observou-se que houve diminuição do solo exposto e aumento da vegetação. Constatou-se uma cobertura média de 66,14% e 70,41% para a 1ª e a 2ª avaliação, respectivamente. Esses valores são considerados altos quando comparados com os valores obtidos por Souza (2010), em que foi verificado que as plantas emergentes cobriram o solo em média de 18,75% na primeira análise e 43,28% na segunda.

Fazendo um paralelo com a seção *Caracterização fitossociológica realizada utilizando-se o método de quadrado inventário*, os tratamentos T2R7, T2R9, T2R10, T2R11 e T2R12 apresentaram maior quantidade de indivíduos de adubação verde, demonstrando assim que o percentual de cobertura obtido pelo método fotográfico não é representado por gramíneas invasoras.

Durante o período de avaliação, as porcentagens de cobertura vegetal dos tratamentos testemunhas (T1R1 e T1R2) e do tratamento 2 (T2R1, T2R2, T2R3, T2R4, T2R5, T2R6, T2R7 e T2R8) apresentaram decréscimo no decorrer dos meses, o que pode ser explicado por fatores ambientais essenciais para as plantas, como clima e precipitação. A área de estudo apresentou, nos últimos anos, uma média de precipitação anual de 1638 mm, compreendendo os meses de outubro a maio, e período de estiagem entre os meses de maio a setembro (SANTOS; RIBEIRO, 2004). Esse fato também pode ser justificado pela finalização do ciclo do feijão guandu, que varia de 150 a 360 dias (PEREIRA, 1985).

Para os tratamentos testemunhas (T1R1 e T1R2), embora constatada uma diminuição da porcentagem de vegetação entre as avaliações, conforme apresentado na seção *Caracterização fitossociológica realizada utilizando-se o método de quadrado inventário*, houve maior participação de gramíneas invasoras, demonstrando assim que nem todo percentual de cobertura vegetal é positivo, pois estes podem estar contaminados com gramíneas invasoras.

## 5 CONCLUSÃO

As diminuições da infestação de espécies invasoras ao longo da pesquisa, em decorrência da cobertura das espécies de Feijão Guandu e do sombreamento, evidenciam que técnicas relativamente simples de controle cultural aliadas à adoção de leguminosas podem contribuir, de maneira eficaz, para o controle e manejo de plantas invasoras, a diminuição do uso de agrotóxicos e, conseqüentemente, a redução dos custos de manutenção de reflorestamentos e a melhoria da qualidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; BIANCHI, M. A. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. Cap. 8, p. 169-184.

AGUA e TERRA. **Relatório de Controle Ambiental**: fazenda Lages, Lugar denominado Dois Irmãos (Patos de Minas – MG). Planejamento Ambiental.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; DE PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALVARENGA, R. C. *et al.* Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; SILVA, G. B. S.; NOGUEIRA, S. F.; VICTORIA, D. C.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: Inpe, 2015. p. 1585-1592. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123741/1/4481.pdf>.

BARBOSA, E. G.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S.T. Allelopathic evidence in *Brachiaria decumbens* and its potential to invade the Brazilian Cerrados. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 825-831, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132008000400021&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132008000400021&script=sci_arttext).

BARBOSA, J. B. M.; GOMES, W. B.; MALAQUIAS, J. V.; AQUINO, F. G.; ALBUQUERQUE, L. B. Métodos de controle de braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) em área de restauração ecológica de Mata Ripária, DF. **Ciência Florestal**, [s.l.], v. 28, n. 4, p.1491-1501, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835096>.

BRAUN-BLANQUET J. **Fitosociologia**: bases para el estudio de las comunidades vegetales. 3. ed. Madrid: Aum. Blume, 1979.

BRAUN-BLANQUET, J. **Sociologia vegetal**: estudio de las comunidades vegetales. Buenos Aires: ACME, 1950.

CARDOSO, Dione Pereira *et al.* Atributos fitotécnicos de plantas de cobertura para a proteção do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n. 1, p.19-24, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79513/1/cnpasa.pdf>.

CAVA, M. G. B. *et al.* Adubos verdes para a renovação de canaviais no sudeste goiano. *In*: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA NA CADEIA PRODUTIVA DA CANA, 2., 2008, Uberaba. **Anais [...]** Uberaba: FAZU. 2008.

CHAVES, A. D. C. G.; SANTOS, R. M. S.; SANTOS, J. O.; FERNANDES, A. A.; MARACAJÁ, P.B. A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas. **ACSA: Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 43-48, 2013. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/449/pdf>.

CLIMA TEMPO (Patos de Minas). **Climatologia Patos de Minas**. 2019. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/173/patosdeminas-mg>.

CORRÊA, L. A.; SANTOS, P. M. **Manejo e utilização de plantas forrageiras dos gêneros Panicum, Brachiaria e Cynodon**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudoeste, 2003.

CUNHA, N. R. S., LIMA, J. E., GOMES, M. F., BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 46, n. 2, abr./jun. 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-20032008000200002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032008000200002).

ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. 2004. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, [online], v. 22, n. 3, p. 337-342, 2004.

FAO - OCD. Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. **Revista Fao**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4761o.pdf>.

FAVERO, Claudenir; JUCKSCH, Ivo; ALVARENGA, Ramon Costa. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Embrapa Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v. 36, n. 11, p.1355-1362, nov. 2001.

FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. S.; SILVA, R. G. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s.l.], v. 43, n. 1, p.179-198, mar. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032005000100010>.

FLORIDO, F. G. **Controle de plantas competidoras na restauração ecológica**. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E.T.; BACCHI, M. **Produtividade e crescimento da agricultura brasileira**. 2011. Disponível em: <http://repiica.iica.int/docs/B1549p/B1549p.pdf#page=72>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **PRODES**: Incremento anual de área desmatada no Cerrado Brasileiro. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cerrado>.

IRIAS, L. J. M.; GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P.; ROSA, M. de F.; RODRIGUES, G. S. Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária: aplicação do Sistema Ambitec. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 23-39, 2004. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161835/1/2004SP-19-Irias-Avaliacao-6924.pdf>.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob**: manual de utilização. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B. L.; HANSON, J. Natural variation in brachiaria and existing germplasm collections. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. (ed.) **Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement**. Cali: CIAT, 1996. Cap. 2, p. 16 – 42. 1996. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/82023>.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Mega Diversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. Nova York: Columbia University Press, 2002.

KLUTHCOUSKI, João. **Leucena**: alternativa para a pequena e média agricultura. Goiânia: Embrapa Cnpaf, 1982.

LIMA, F. *et al.* Fitossociologia de Plantas Daninhas em Convivência com Plantas de Cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p.37-47, jun. 2014.

MARCHANTE, H.; M.; FREITAS, H.; MARSHANTE, Elizabete. **Guia prático para a identificação de plantas invasoras em Portugal**. Coimbra: University Press, 2014.

MARTINS, F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: Ed. UNICAMP, 1991.

MARTINS, A. F. **Controle de gramíneas exóticas invasoras em área de restauração ecológica com plantio total, floresta estacional semidecidual**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A modernização da agricultura no cerrado e os custos ambientais. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: USP, 2005. p. 11854 - 11865.

MENEZES, B. B. *et al.* **Uso e ocupação agropecuária no cerrado brasileiro; transformações da paisagem e seus impactos ambientais no estado de Goiás**. Disponível em:

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/26.pdf>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia de orientação para o manejo de espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 65 p. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/guia\\_de\\_orientacao\\_manejo\\_especies\\_exoticas\\_invasoras\\_ucs\\_2018.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/guia_de_orientacao_manejo_especies_exoticas_invasoras_ucs_2018.pdf).

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P. A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. Campinas. Fundação Cargill, 1984. Disponível em: <http://www.observasc.net.br/agriculturafamiliar/index.php/apostilhascartilhas/1932-2016-04-12-23-26-31>.

PEREIRA, J. R.; CAMPOS, A. T. **Controle da braquiária como invasora**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. (Instrução técnica para o produtor de leite, 26).

PEREIRA, João. O feijão guandu: uma opção para a agropecuária brasileira. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1985.

PEREIRA, Natanael Santiago; SOARES, Ismail; PEREIRA, Eva Sara Santiago. Uso de leguminosas como fonte alternativa de N nos agroecossistemas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 5, p.63-40, dez. 2012.

PINHO, R. M. F. **Monitorização da flora e vegetação dos sistemas húmidos do Baixo Vouga Lagunar**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) — Universidade de Aveiro, Portugal, 2010.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. A degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. **Observatorio de La Economía Latioamericana**, Málaga, n. 188, p.1-8, 2013.

PITELLI, R. A. Plantas exóticas invasoras. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JR, N. A. dos (org.). **A botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais**. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 2007. p. 409-412.

PIVELLO, V. R.; GARDENER, M. R.; BUSTAMANTE, R. R.; HERRERA, I.; DURIGAN, G.; MORO, M. F.; STOLL, A.; LANGDON, B.; BARUCH, Z.; RICO, A.; ARREDONDO-NÚÑEZ, A.; FLORES, S. Plant invasions research in Latin America: fast track to a more focused agenda. **Plant Ecology & Diversity**, v. 5, p. 225-232, 2011. Disponível em: [https://bdpi.usp.br/single.php?\\_id=001506034](https://bdpi.usp.br/single.php?_id=001506034).

PIVELLO, V. R.; CARVALHO, V. M. C.; LOPES P. F.; PECCININI, A. A.; ROSSO, S. Abundance and distribution of native and invasive alien grasses in a “cerrado” (Brazilian savanna) biological reserve. **Biotropica**, Washington, v. 31, p. 71-82, 1999.

RIBEIRO, K. T., FILIPPO, D. C., PAIVA, C. D. L., MADEIRA, J. A.; NASCIMENTO, J. D. Ocupação por *Brachiaria* spp.(Poaceae) no Parque Nacional da Serra do Cipó e infestação decorrente da obra de pavimentação da rodovia MG-010, na APA Morro da Pedreira, Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ESPÉCIES INVASORAS, 1., 2005, Brasília. **Anais [...]** Brasília, 2005. p. 1-17.

RODRIGUES, E. R. **Controle biológico de *Brachiaria decumbens* Stapf em área de reserva legal em processo de recuperação na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** 2010. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2010. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100639/rodrigues\\_er\\_dr\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100639/rodrigues_er_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

ROMEIRO, Mariane *et al.* **Cerrado: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável.** Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/publicacoes/cerrado-caminhos-para-ocupacao-territorial-uso-do-solo-e-producao-sustentavel-expansao-soja/>.

SAMPAIO, A. B.; SCHMIDT, I. B. Espécies exóticas invasoras em Unidades de Conservação Federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, DF, v. 3, n. 2, p.32-49, 2013. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/351>.

SANTOS, E. R.; RIBEIRO, A. G. Clima e agricultura no município de Coromandel (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.5, n. 13, p. 122-140, 2004.

SAWYER, D. População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado. *In*: HOGAN, D. J. *et al.* (Org.). **Migração e ambiente no Centro-Oeste.** Campinas: PRONEX/UNICAMP, 2002. p. 279-299.

SEVERINO, J. S.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes.** 2001. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo ESALQ/USP, Piracicaba, 2001.

SIGG, J. The role of herbicides in preserving biodiversity. **California Exotic Plant Pest Council News**, Summer/Fall 1999. Disponível em: <http://www.institutohorus.org.br/download/artigos/papelherb.pdf>.

SILVA, A. C.; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P.A. Produção de palha e supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura, no plantio direto do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 22-28, 2009.

SILVA, M. I. O. **Avaliação ecológica de áreas ciliares em processo de restauração florestal na Zona da Mata Norte, Pernambuco**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2017a.

SILVA, W. G. **Transposição de Topsoil e serapilheira como metodologia de restrição florestal em área degradada em Patos de Minas — MG**. 2017. 35 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) — Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, 2017b.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; SAITO, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.) **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p.257-282.

SILVEIRA, E. R. *et al.* Controle de gramíneas exóticas em plantio de restauração do cerrado. In: DURIGAN, G.; RAMOS, V. S. (Org.). **Manejo adaptativo: primeiras experiências na restauração de ecossistemas**. São Paulo: Páginas & Letras, 2013. v. 1. p. 5-7.

SOUZA, Bianca de Jesus. **Adubação verde: uso por agricultores agroecológicos e o efeito residual no solo**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SOUZA, Letícia Marrone de; COSTA, Mônica de Campos. **Análise do Método de nucleação na recuperação de áreas matas ciliares**. 2010. 35 f. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) — Curso de Ciências Biológicas e Profissões da Saúde, Universidade Sagrado Coração, Bauru, 2010.

TEODORO, Ricardo Borges *et al.* Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p.292-300, jun. 2011.

VALÉRY, L.; FRITZ, H.; LEFEUVRE, J. C.; SIMBERFF, D. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. **Biological Invasions**, Tampa, v.10, n. 8, p. 1345-1351, 2008.

ZILLER, S. R. Os processos de degradação ambiental originados por plantas invasoras. **Revista Ciência Hoje**, [online], n. 178, p. 77-79, 2001.

# **Análise do desempenho de telhas asfálticas em comparação aos produtos disponíveis no mercado de Patos de Minas e região**

*Performance analysis of asphalt shingles compared to products available on the market in Patos de Minas and region*

**Gisele Figueiredo Sanches**

Graduanda do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)

E-mail: giselesanches@unipam.edu.br

**Leonardo Willian Fidelis Silva**

Graduando do curso de Engenharia Civil (UNIPAM)

E-mail: leonardofidelis@unipam.edu.br

**Sheilla Pereira Vieira**

Docente do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM)

E-mail: sheilapv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** As telhas asfálticas são um exemplo de tecnologia do mercado construtivo atual, uma vez que seus fabricantes prometem diversas melhorias quando comparadas aos telhados convencionais utilizados no Brasil. A fim de compreender o porquê da não utilização desse produto nas edificações brasileiras, o presente estudo investigou as características das telhas asfálticas, seu desempenho e o seu custo de aquisição em Patos de Minas. Também foram feitos estudos em telhas cerâmicas, de concreto e fibrocimento, com o intuito de traçar resultados comparativos. O trabalho fundamentou-se em normas regulamentadoras, em referências bibliográficas e em ensaios em laboratório. Por fim, foi feito um comparativo entre os resultados obtidos, a fim de se chegar à conclusão da problemática citada.

**Palavras-chave:** Telhas asfálticas. Construção civil. Telhados.

**Abstract:** Asphalt shingles are an example of technology in the current construction market, since their manufacturers promise several improvements when compared to conventional roofs used in Brazil. In order to understand why this product is not used in Brazilian buildings, the present study investigated the characteristics of asphalt shingles, their performance and their acquisition cost in Patos de Minas. Studies were also carried out on ceramic, concrete and fiber cement tiles, in order to draw comparative results. The work was based on regulatory standards, bibliographic references and laboratory tests. Finally, a comparison was made between the results obtained, in order to reach the conclusion of the mentioned problem.

**Keywords:** Asphalt shingles. Construction. Roofs.

---

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o crescimento do ramo da construção civil e com a intensificação de estudos sobre o comportamento dos materiais, novas tecnologias surgiram com o intuito de trazer comodidade, praticidade e melhoria às edificações. As telhas asfálticas são um exemplo de tecnologia do mercado construtivo atual, uma vez que apresentam diversas melhorias quando comparadas aos telhados convencionais utilizados no Brasil.

Apesar de ser um produto pouco difundido no mercado brasileiro, as telhas asfálticas apresentam características específicas que as tornam únicas em relação aos telhados cerâmicos, de cimento e fibrocimento. Seus compostos principais são o asfalto, fibra de vidro, e materiais cerâmicos, podendo, em alguns casos, ser fabricadas reutilizando-se resíduos. (ROMANEK, 2016).

Além do viés de sustentabilidade, seus fabricantes afirmam que as telhas são mais leves, permitindo elementos estruturais menos reforçados, que são inquebráveis, o que evita desperdícios durante sua instalação. São adaptáveis a qualquer tipo de estrutura, abrindo uma gama de possibilidades para seus elementos estruturais, entre outras características, como impermeabilidade, e isolamentos térmico e acústico. (ZIEGEL TELHAS, s.d.)

A fim de compreender o porquê da não utilização desse produto nas edificações brasileiras, mesmo com a grande quantidade de benefícios apresentada pelos seus fabricantes, o presente estudo investigou as características das telhas asfálticas, seu desempenho quando sujeitas aos ensaios previsto em Normas Técnicas Brasileiras - NBR's, e o seu custo para aplicação em edificações do município de Patos de Minas.

Além de identificar as características dessas telhas, também foram feitos estudos em telhas cerâmicas, de concreto e fibrocimento da região patense, com o intuito de traçar resultados comparativos que mostrem pontos positivos e negativos, que justifiquem a sua pouca utilização.

O estudo teve como objetivo geral compreender as características das telhas asfálticas, a fim de analisar o desempenho delas quando sujeitas a ensaios, seu modo de aplicação nos elementos estruturais e seus pontos fortes e fracos se comparados às telhas convencionais utilizadas no mercado de Patos de Minas e região (cerâmicas, de concreto e de fibrocimento).

Para que o objetivo geral fosse alcançado, foram traçados objetivos específicos, utilizados para obtenção de resultados tanto para a telha asfáltica, quanto para as demais telhas citadas. Portanto, foram objetivos específicos:

- coletar características geométricas das telhas em estudo;
- realizar ensaios de flexão, impacto a corpo mole, a corpo duro e a cargas acidentais de telhado, para obtenção da resistência das telhas;
- estudar a impermeabilidade e absorção de água do material conforme estabelecido pelas normas técnicas;
- pesquisar o valor de cada tipo de telha no mercado, para traçar parâmetros de custo-benefício;

- discutir e comparar os resultados obtidos, a fim de se levantarem hipóteses acerca da pouca utilização das telhas asfálticas na região de Patos de Minas - MG.

A investigação realizada neste trabalho possui pertinência frente à pouca utilização das telhas asfálticas, em relação à quantidade de benefícios que seus fabricantes atribuem a elas.

Com o crescimento da construção civil, a modernização dos projetos arquitetônicos e a busca por materiais mais leves que permitem projetos mais ousados, novas tecnologias como telhas asfálticas devem ser exploradas, já que apresentam uma grande possibilidade de utilização.

No decorrer das pesquisas, foi possível perceber a ausência de estudos mais aprofundados sobre as telhas asfálticas, portanto iniciar uma pesquisa que compare telhas asfálticas com as tradicionais, usadas em Patos de Minas e região, pode contribuir para o esclarecimento de dúvidas de clientes e profissionais da construção civil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TELHADOS

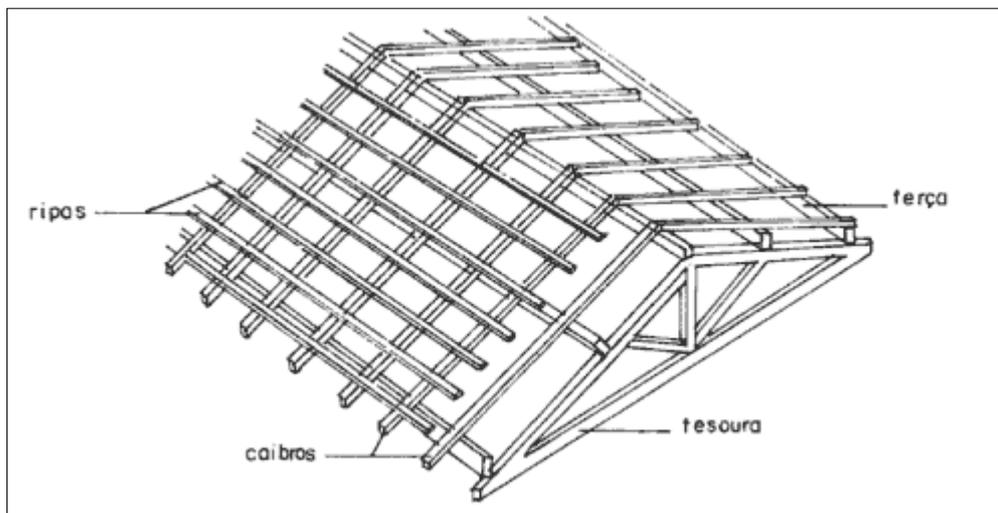
De acordo com Moliterno (2010), o telhado é o elemento responsável pela proteção da edificação às intempéries do meio em que está inserida. Essas intempéries são chuvas, ventos, raios solares, neve, e demais agentes climáticos.

Moliterno (2010) afirma que os telhados convencionais são compostos por duas partes principais: a cobertura e a armação. A armação é responsável pela sustentação da cobertura e é composta por caibros, ripas, tesouras, contraventamentos e outros elementos estruturais que variam de acordo com cada aplicação. Já a cobertura é composta pelas telhas e é responsável por impedir o contato da edificação com os efeitos climáticos e cargas acidentais.

Atualmente, existe uma grande variedade de produtos disponíveis para a composição da armação e da cobertura. Estruturas metálicas, de madeira, de concreto ou até mesmo mistas são apenas algumas das possibilidades oferecidas pelo mercado da construção civil, portanto, cabe ao engenheiro adotar o método mais viável tanto funcionalmente, quanto financeiramente. (CALIL JÚNIOR; MOLINA, 2010)

No Brasil, em edificações residenciais, a madeira é o material mais utilizado na armação. A figura 1 mostra os elementos estruturais mais comuns.

**Figura 1** — Elementos Estruturais do Telhado



Fonte: <https://www.infoescola.com/engenharia-civil/telhados/>

Calil Júnior e Molina (2010) classificam esses elementos estruturais como:

- **ripos:** são apoiadas nos caibros, e utilizadas para receber as telhas no caso de estas serem pequenas;
- **caibros:** são apoiados nas terças e são utilizados para sustentação das ripas; seu vão será definido de acordo com a inclinação do telhado e o tipo de telha escolhido;
- **terças:** existem dois casos distintos de terças, as que servem de apoio para os caibros e as que servem de apoio para telhas (quando os caibros e ripas não são utilizados); geralmente são apoiados sobre a alvenaria ou sobre algum elemento estrutural, como as tesouras;
- **tesouras:** responsáveis por transferir as cargas das ripas, caibros e terças para a edificação.

Em relação à cobertura, também existe uma enorme disponibilidade de tipologias no mercado. Telhas cerâmicas, de concreto e de fibrocimento são apenas algumas das mais utilizadas atualmente, por serem de fácil execução e por estarem sendo usadas no país há bastante tempo.

## 2.2 TELHAS CERÂMICAS

Os materiais cerâmicos surgiram há milhares de anos. Entre 12.000 e 4.000 a.C., o homem iniciou o uso da argila por meio da confecção de jarros e vasilhas para armazenamento de seus alimentos. Com o avanço dos anos e com o aumento dos conhecimentos empíricos, iniciou-se o processo de queima da argila, possibilitando a criação de produtos cada vez mais resistentes, abrindo a possibilidade de emprego na construção civil. (ISAIA, 2010)

De acordo com Bauer (2011), cerâmica é uma pedra artificial resultante de processos aplicados na argila. Para obtenção desse material, a argila é moldada com a presença de água, pois, em tal situação, aquela se torna altamente plástica. Após a moldagem, há processos de secagem e cozadura, que resultam num produto resistente, que é altamente empregado em elementos das edificações.

As telhas cerâmicas são altamente utilizadas no Brasil e, devido à sua grande comercialização, são necessários parâmetros que exijam requisitos mínimos de qualidade. Portanto, a ABNT NBR 15310 (2009) regulamenta resistência, impermeabilização, absorção de água, formas, características geométricas, dentre outras características.

Ainda de acordo com a ABNT NBR 15310 (2009), as telhas cerâmicas são divididas em quatro tipos:

- telhas planas de encaixe: mais conhecidas como telhas francesas, encaixam-se por meio de saliências;
- telhas compostas de encaixe: conhecidas por telhas romanas, possuem a capa e o canal interligados, facilitando o encaixe dos elementos;
- telhas simples de sobreposição: mais conhecidas como telhas coloniais; nesse caso, a capa e o canal são independentes;
- telhas planas de sobreposição: não são muito utilizadas no Brasil, são apenas sobrepostas umas às outras.

Para cada tipo de telha, é exigida uma inclinação no telhado, que é informada pelo fabricante dela, a fim de se permitir melhor escoamento de águas pluviais, evitar quedas devido à força do vento e evitar a passagem de água para os demais elementos da edificação.

### 2.3 TELHAS DE CONCRETO

O concreto é, atualmente, o material construtivo mais utilizado no mundo. De acordo com Pedroso (2009), o concreto, em seu estado endurecido, é uma rocha artificial, que se forma por meio de misturas dosadas pelo ser humano. Em seu estado fresco, Pedroso (2009) denomina-o como um produto de comportamento plástico, uma vez que possui grande facilidade de se modelar de acordo com a forma em que é colocado.

As telhas de concreto são constituídas de cimento, agregados miúdos e uma pequena quantidade de água. Sua fabricação é feita utilizando-se moldes metálicos, onde o concreto é colocado com a finalidade de se obterem telhas com maior perfeição possível, para que o encaixe entre uma e outra ocorra de maneira fácil, evitando-se passagem de água pluvial e demais intempéries. (ISAIA, 2010)

Assim como as telhas cerâmicas, a qualidade das telhas de concreto também é regulamentada por normas. A ABNT NBR 13858-2 (2009) estabelece requisitos de fabricação, aspecto visual, dimensional, geométrico e físico, que devem ser adotados pelos fabricantes.

Geralmente essas telhas são encontradas no formato plano ou no ondulado, tendo tamanhos padronizados, que permitem melhor encaixe e facilidade na execução do telhado.

## 2.4 TELHAS DE FIBROCIMENTO

As telhas de fibrocimento são usadas em grande escala no Brasil. De acordo com Schelb (2016), o fibrocimento é um concreto com adição de fibras naturais ou artificiais e tem por principal função melhorar as características de resistência à tração e ductibilidade do concreto.

O principal motivo desse tipo de telha ser utilizada no Brasil é o seu baixo custo. Schelb (2016) afirma que, além de apresentarem um baixo custo de aquisição em relação às demais, as telhas de fibrocimento possibilitam grande economia no madeiramento do telhado, uma vez que, por serem grandes, excluem a necessidade de caibros e ripas para sua sustentação.

O processo de fabricação desse tipo de telha é conhecido como *Processo Hatscheck*. Nele, o cimento, a água, as fibras e os aditivos são colocados em um tanque cilíndrico que rotaciona até que a mistura se torne uma pasta. Após esse processo, a mistura é extraída e colocada em placas com molde das telhas. (ISAIA, 2010)

A ABNT NBR 7581-1 (2014) regulamenta as telhas de fibrocimento, classifica-as de acordo com as suas propriedades e características e estabelece os ensaios que controlam a qualidade de fabricação.

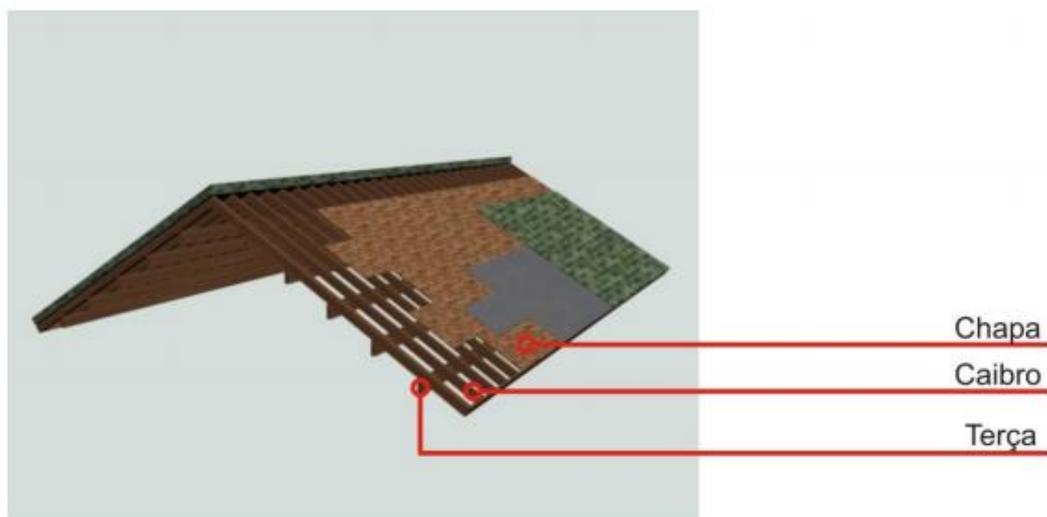
## 2.5 TELHAS ASFÁLTICAS

De acordo com a empresa Ziegel Telhas (s.d), as telhas asfálticas foram criadas no Canadá há mais de 150 anos. Segundo definição da empresa, elas são uma manta asfáltica que tem, em sua composição, asfalto, fibra de vidro e grânulos ceramizados. Cada material possui uma finalidade, sendo:

- **asfalto:** possibilita a aderência em qualquer superfície, além de ser impermeável, não permitindo o aparecimento de goteiras e infiltrações.
- **fibra de vidro:** proporciona às telhas uma estabilidade em seu tamanho, ou seja, quando submetidas a altas temperaturas, elas não se dilatam em uma escala muito grande.
- **grânulos ceramizados:** é um material de extrema importância para as telhas asfálticas, pois os grânulos oferecem proteção dos raios ultravioletas, além de melhorar a estética do telhado.

Para instalação das telhas asfálticas, os elementos de sustentação podem ser construídos tanto em estrutura metálica, quanto em madeira, e para que não existam dúvidas, a TC Shingle do Brasil (s.d) disponibiliza um manual. Como mostrado na Figura 2, o madeiramento do telhado é executado normalmente, e, acima das ripas, são aplicadas chapas metálicas, que receberão as telhas.

**Figura 2** — Instalação de telhas asfálticas



Fonte: <https://bit.ly/2NxT63h>.

Em relação a normas regulamentadoras, ainda não existem NBR's específicas para esse tipo de telha, porém elas podem ser submetidas a ensaios gerais para que haja uma forma de mensurar o seu desempenho. Ensaios como os da ABNT NBR 15220 (2005) e da ABNT NBR 15575-5 (2013) podem ser empregados, pois possibilitam o levantamento de dados sobre essas telhas.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho fundamentou-se primeiramente em uma pesquisa acerca de normas regulamentadoras e em referências bibliográficas sobre as tipologias de telhas citadas anteriormente.

As normas serviram de guia para todos os ensaios que foram realizados no decorrer da realização do projeto, e as pesquisas bibliográficas nos mostraram características já estudadas por outros pesquisadores e profissionais da construção civil.

Após finalizada a parte teórica, iniciaram-se os ensaios em laboratório, para que fosse feito um levantamento quantitativo do desempenho das quatro tipologias de telhas em estudo. Por fim, foi realizado um comparativo entre os resultados obtidos.

#### 3.1 NORMAS E ENSAIOS

Para que fossem realizados os ensaios citados nos objetivos específicos, foram utilizadas as seguintes normas:

**Tabela 1 – Ensaio e Normas Regulamentadoras**

<b>Objetivos</b>	<b>Normas</b>
<b>Impacto a corpo mole, a corpo duro e a cargas acidentais de telhado.</b>	ABNT NBR 15575:2013 – Desempenho de edificações habitacionais.
<b>Características geométricas, impermeabilidade, absorção de água e flexão.</b>	NBR 15310: 2009 – Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.  NBR 13858-2: 2009 – Telhas de concreto - Parte 2: requisitos e métodos de ensaio  NBR 7581-1: 2014 – Telha ondulada de fibrocimento - Parte 1: classificação e requisitos  NBR 7581-2: 2014 – Telha ondulada de fibrocimento - Parte 2: ensaios

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Para realização dos ensaios citados na Tabela 1, foram utilizadas telhas americanas para obtenção de resultados referentes às telhas cerâmicas, às telhas onduladas de fibrocimento, às telhas de concreto e às telhas asfálticas, conforme figuras 3, 4, 5 e 6.

**Figura 3 – Telha Cerâmica**



Fonte: Registro feito pelos autores, 2020

**Figura 4 – Telha de fibrocimento**



Fonte: Registro feito pelos autores, 2020.

**Figura 5**— Telha de concreto



Fonte: Registro feito pelos autores, 2020

**Figura 6** — Telha asfáltica



Fonte: Registro feito pelos autores, 2020.

As telhas cerâmicas, de fibrocimento e de concreto foram compradas na cidade de Patos de Minas. Já a telha asfáltica, por se tratar de um produto não difundido na região, foi adquirida em sites de venda online.

### 3.2 LOCAL DE PESQUISA E FORMA DE OBTENÇÃO DOS DADOS

A pesquisa teórica foi realizada em livros disponibilizados pela biblioteca central do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM e em recursos eletrônicos. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Tecnológicas de Materiais de Construção, também localizado nas instalações do UNIPAM.

### 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados qualitativa e quantitativamente. O estudo qualitativo foi feito a partir de uma fundamentação teórica, obtida através de estudos bibliográficos para obtenção de resultados já analisados por pesquisadores.

Já o estudo quantitativo foi realizado em laboratórios. Foram desenvolvidas planilhas para apresentação dos comparativos entre os resultados obtidos durante o ensaio dos quatro tipos de telhas.

Ao final dos dois estudos, as análises quantitativa e qualitativa, junto às diversas normas que exigem a qualidade mínima dos diversos processos construtivos

de uma edificação, identificaram a qualidade das telhas Single e sua relação com o desempenho das demais telhas.

#### 4 RESULTADOS

Para obtenção do valor de aquisição das telhas em estudo, foram realizados orçamentos em quatro lojas de Patos de Minas/MG e na região do Alto Paranaíba, no período de julho de 2019. Com o intuito de se traçar um comparativo entre os valores obtidos, a Tabela 2 apresenta o preço de um metro quadrado de cada tipologia de telha.

**Tabela 2** – Orçamento das telhas (Valor por m<sup>2</sup>)

Tipos de telhas	Loja 1	Loja2	Loja3	Loja 4	Menor valor
<b>Americana</b>	R\$ 18,72	R\$ 18,00	R\$ 17,16	R\$ 20,04	R\$ 17,16
<b>Fibrocimento</b>	R\$ 52,64	R\$ 43,36	R\$ 51,52	R\$ 46,72	R\$ 43,36
<b>Concreto</b>	-	R\$ 34,59	R\$ 33,28	R\$ 39,52	R\$ 33,28
<b>ASFÁLTICA</b>	-	R\$ 65,13	R\$ 58,71	R\$ 52,73	R\$ 52,73

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Conforme informações coletadas durante a pesquisa, a telha americana é a mais utilizada na região de Patos de Minas. Um fator de grande relevância para essa utilização é seu baixo custo de aquisição, sendo apenas 17,16 reais por metro quadrado, como pode ser visto na Tabela 2.

Em contrapartida, a telha asfáltica apresenta o maior valor entre todas as tipologias estudadas (cerca de 52,73 reais por metro quadrado), fato que pode estar diretamente ligado com a sua baixa utilização na região. Por não estar disponível na cidade, os valores citados na tabela 2, referentes às telhas asfálticas, foram orçados em sites de vendas online e não foi acrescido do valor de frete.

Tratando-se das características geométricas das telhas estudadas, foram aferidas medidas no material que, posteriormente, foram comparadas com as medidas verificadas e com o que é exigido em norma.

As tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam os valores fornecidos pelos fabricantes, os limites dimensionais segundo normas, média dos valores medidos nas telhas estudadas e a situação delas quanto à aprovação ou reprovação quanto aos requisitos exigidos.

**Tabela 3** – Especificações geométricas (telhas cerâmicas)

Telhas Americanas			
Valores	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Galga mínima (cm)
<b>Fabricante</b>	27,40	43,20	36,60
<b>Medido (média)</b>	26,90	43,60	36,40

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

As telhas americanas (tipologia de telha cerâmica utilizada no estudo) não possuem dimensões toleráveis na ABNT NBR 15310 (2009), portanto não foi possível estabelecer um parâmetro de aprovação ou reprovação delas, porém os valores aferidos estão de acordo com as especificações do fabricante.

**Tabela 4** – Especificações geométricas (telhas de fibrocimento)

<b>Telhas de fibrocimento</b>				
<b>Valores</b>	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Espessura (cm)	Situação
<b>Fabricante</b>	50,00	122,00	0,40	<b>Aprovada</b>
<b>Medido (média)</b>	50,70	121,30	0,43	
<b>Norma</b>	±1,00	±1,00	-0,40 e +10% da espessura	

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Para avaliação das telhas de fibrocimento, foi utilizada a ABNT NBR 15210-1 (2014), que trata das tolerâncias dimensionais desse tipo de telha. Após análise, foi possível concluir que as telhas em estudo estão de acordo com as tolerâncias da norma, ou seja, os valores medidos estão em conformidade com aquilo que é descrito nos selos de especificações das telhas.

**Tabela 5** – Especificações geométricas (telhas de concreto)

<b>Telhas de concreto</b>				
<b>Valores</b>	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Largura útil (cm)	Situação
<b>Fabricante</b>	36,50	47,50	32,50	<b>Aprovada</b>
<b>Medido (média)</b>	36,60	47,60	32,40	
<b>Norma</b>	±0,20	±0,20	±0,20	

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Tratando-se das tolerâncias dimensionais das telhas de concreto, foi utilizada a ABNT NBR 13858-2 (2009). Após análise do exigido em norma, a telha também foi aprovada pois a largura, o comprimento e a largura útil não ultrapassam o limite de 0,2 centímetros.

**Tabela 6** – Especificações geométricas (telhas asfálticas)

<b>Telhas asfálticas</b>			
<b>Valores</b>	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Espessura (cm)
<b>Fabricante</b>	30,00	90,00	0,20
<b>Medido (média)</b>	30,40	91,20	0,30

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Não existem normas brasileiras que especifiquem tolerâncias dimensionais para as telhas asfálticas, portanto também não é possível afirmar que as telhas em estudo estão dentro de algum critério.

Para que fossem obtidos valores referentes à resistência de impacto a corpo mole e a corpo duro de cada uma das tipologias de telhas, foram realizados os ensaios definidos nos anexos C e D da ABNT NBR 15575-2 (2013).

De acordo com a norma, o ensaio de corpo mole foi executado aplicando-se um impacto na posição mais desfavorável, entre os vãos das telhas, por meio de um saco de areia de 40kg abandonado em queda livre, adotando-se os valores de massa, altura e energia de impactos mostrados na figura 7.

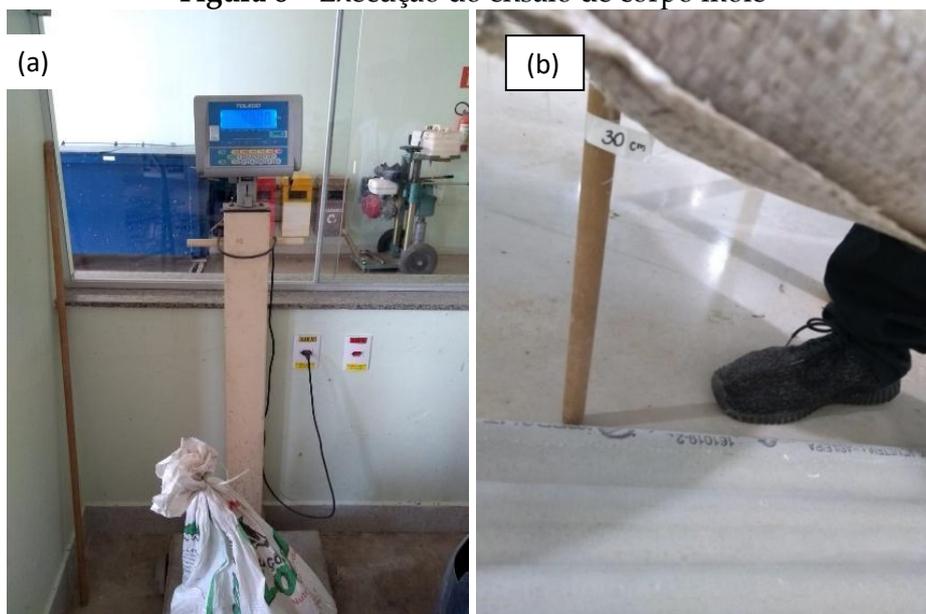
**Figura 7** – Massa de corpo mole, altura e energia de impacto

Impacto	m kg	h m	E J
Aplicar um impacto de corpo mole, para cada energia	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,60	240
	40	0,90	360
	40	1,20	480
	40	1,80	720
	40	2,40	960

Fonte: ABNT NBR 15575-2, 2013.

As figuras 8-a e 8-b mostram preparação do ensaio de impacto a corpo mole. Na figura 8-a, é apresentada a pesagem do saco de areia de 40kg; na figura 8-b, a altura de seu lançamento.

**Figura 8** – Execução do ensaio de corpo mole



(a) pesagem do saco de areia

(b) altura de lançamento

Fonte: Registro feito pelos autores, 2020.

A tabela 7 apresenta os resultados de cada uma das tipologias de telhas, obtidos de acordo com o mínimo exigido pela norma, que é a altura de 30 cm e uma energia de 120 J, não ocorrendo falhas localizadas e ruínas.

**Tabela 7 – Ensaio de corpo mole**

Tipo de telha	Cerâmica	Fibrocimento	Concreto	Asfáltica
Altura de ruína (m)	0,45	0,90m	0,90	Não houve ruína

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Para a realização desse ensaio, as telhas foram submetidas a impactos de corpo duro, utilizando-se uma esfera com um determinado diâmetro e massa com a energia exigida. A tabela 8 apresenta as exigências mínimas da ABNT NBR 15575 (2013).

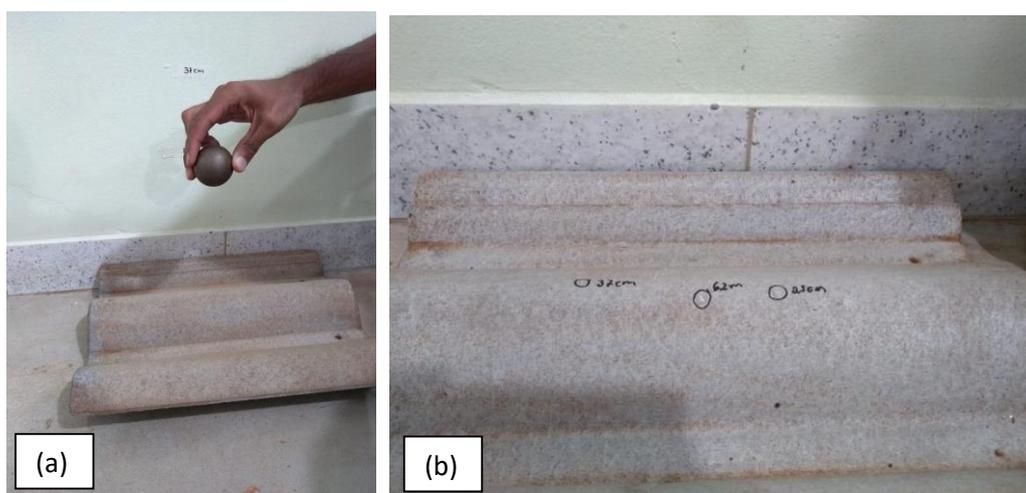
**Tabela 8 – Resistência de Impacto de corpo duro**

Energia de impacto	Exigência normativa	Ocorrências detectadas
1J, 1,5J e 2,5J massa da esfera: 0,4134 kg diâmetro da esfera: 50mm altura da queda: 0,25m, 0,37m e 0,62m.	Não são admitidas ocorrência de ruptura e traspassamento de face, sendo admitidas tolerâncias de ocorrências de falhas superficiais que não impliquem a perda de estanqueidade do telhado.	Sem rupturas

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-2, 2013.

As figuras 9-a e 9-b mostram a preparação do ensaio de impacto a corpo duro. A tabela 9 apresenta os resultados obtidos em cada tipologia de telha.

**Figura 9 – Execução do ensaio de corpo duro**



(a) altura de lançamento da esfera (b) fissuração

Fonte: Registro feito pelos autores, 2020.

**Tabela 9—Ensaio de corpo duro**

Tipo de telha	Cerâmica	Fibrocimento	Concreto	Asfáltica
Altura em que houve fissuração (m)	0,25	0,62	0,62	Não houve fissuração

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Como pôde ser notado nas tabelas 7 e 9, em ambos os casos a telha asfáltica apresentou melhor desempenho quando comparada às demais tipologias. A alta resistência de impacto a corpo mole e a corpo duro é um fator de extrema importância, uma vez que as telhas devem resistir a eventuais cargas acidentais às quais a edificação é exposta.

Para verificação da impermeabilidade das telhas, foram utilizadas normas específicas para cada uma das tipologias. A impermeabilidade das telhas cerâmicas foi verificada com base no Anexo B da ABNT NBR 15310 (2009); a das telhas de concreto, com base no Anexo C da ABNT NBR 13858-2 (2009); a das telhas de fibrocimento, com base no Item 8.2 da ABNT NBR 7581-2 (2014). Para ensaio da telha asfáltica, foi feita uma adaptação dos ensaios anteriores, a fim de se chegar a resultados aproximados, devido à ausência de normas.

As telhas não devem apresentar nenhum vazamento ou formação de gotas, sendo permitido, no máximo, manchas de umidade. (Tabela 10)

**Tabela 10—Impermeabilidade**

Tipo de telha	Cerâmica	Fibrocimento	Concreto	Asfáltica
Resultados	Mancha umidade	Mancha umidade	Sem manchas	Sem manchas

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

De acordo com a tabela 10, a telha asfáltica, assim como a de concreto, não apresentou nenhuma mancha após ser submetida aos ensaios, evidenciando sua alta impermeabilidade. Esse resultado é devido ao material utilizado na fabricação das duas telhas, uma vez que a manta asfáltica é um produto totalmente impermeável, e o concreto é um material com pequenos poros.

A absorção de água das telhas também foi definida utilizando-se normas específicas de cada tipologia. A absorção de água por parte das telhas cerâmicas foi verificada com base no Anexo D da ABNT NBR 15310 (2009), a das telhas de concreto, com base no Anexo B da ABNT NBR 13858-2 (2009) e a das telhas de fibrocimento, com base no Item 8.3 da ABNT NBR 7581-2 (2014).

As telhas asfálticas não possuem nenhuma norma brasileira que permita esse ensaio, portanto o resultado apresentado na tabela 11 trata de valores fornecidos pelo catálogo técnico do fabricante Brasilit (2015).

Para a obtenção dos resultados, utilizou-se a equação 1:

$$A = \left( \frac{ma - ms}{ms} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A: é a absorção de água do corpo de prova (%);

Ma: é a massa do corpo de prova saturado de água (g);

Ms: é a massa do corpo de prova seca (g).

**Tabela 11 – Absorção de água**

Tipo de telha	Cerâmica (Lmáx. 20%)	Fibrocimento (Lmáx. 37%)	Concreto (Lmáx. 10%)	Asfáltica
<b>Resultados (média)</b>	15,57%	20,03%	6,05%	0%

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Por se tratar de um produto impermeável, o índice de absorção de água da telha asfáltica é praticamente nulo, conforme especificações do fabricante. As demais telhas possuem índices de absorção maiores, porém todas cumprem com os próprios requisitos normativos.

As telhas asfálticas não possuem norma brasileira que prescreva ensaios de ruptura à flexão, portanto não foram obtidos valores para essa tipologia de telha. Por se tratar de um material totalmente flexível devido à sua composição, também não foi possível utilizar adequações de ensaios, pois as demais telhas são rígidas.

Para verificação da ruptura à flexão das telhas cerâmicas, foi utilizado o Anexo C da ABNT NBR 15310 (2009), para a das telhas de concreto, o Anexo D da ABNT NBR 13858-2 (2009) e para a das telhas de fibrocimento, a ABNT NBR 7581-1:2014.

**Tabela 12 – Ruptura à flexão**

Tipo de telha	Cerâmica (Lmín.1000N)	Fibrocimento (Lmín.1050N/m)	Concreto (Lmín.2000N)	Asfáltica
<b>Resultado 1</b>	2159,4 N	1335,8 N	1377,3 N	
<b>Resultado 2</b>	1591,9 N	1453,4 N	1917,2 N	Não se aplica
<b>Resultado 3</b>	1813,3 N	1321,9 N	2540,1 N	

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Conforme descrito na tabela 12, as telhas cerâmicas e as de fibrocimento apresentaram resultados satisfatórios em todos os ensaios, ao contrário da telha de concreto, que apresentou valores abaixo do exigido.

## 5 CONCLUSÕES

Após realização dos ensaios e dos demais levantamentos expostos na metodologia do trabalho em questão, foi possível observar que, em se tratando das características geométricas, as telhas de fibrocimento e as de concreto atenderam aos

requisitos exigidos em suas normas e que as telhas americanas (cerâmica) e as asfálticas não possuem normas que regulamentam suas dimensões mínimas e máximas.

Tratando-se de desempenho físico e mecânico, as telhas asfálticas se sobressaíram quando submetidas aos impactos de corpo mole e de corpo duro, se comparadas às tipologias utilizadas na região de Patos de Minas.

Ao analisar a impermeabilidade, foi possível concluir que as telhas usuais na região cumprem com os requisitos normativos. Como as telhas asfálticas não possuem norma brasileira que regulamente esse ensaio, foram utilizados dados do fabricante, que não são comprovados cientificamente e podem estar ou não de acordo com o desempenho real do produto.

O orçamento realizado no início da pesquisa mostra que a telha asfáltica possui valores de aquisição consideravelmente maiores do que os valores das demais. Outro fator a ser levado em consideração é que ainda não existem lojas no município de Patos de Minas que possuem a telha asfáltica, sendo assim, a aquisição deve ser feita em outras cidades e deve ser considerado o frete.

Por se tratar de uma região com métodos construtivos tradicionais, a falta de abertura a novas tecnologias e de materiais também deve ser considerada como um motivo para que as telhas asfálticas não se popularizem.

Sendo assim, é possível concluir que a pouca utilização se dá pela falta de divulgação do produto no mercado, pelo alto valor de aquisição, pela dificuldade de se encontrar as telhas asfálticas na região e pela ausência de normas que tornem possível a avaliação do seu desempenho.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858-2**: telhas de concreto: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310**: componentes cerâmicos; telhas: terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2**: edificações habitacionais: desempenho: parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: edificações habitacionais: desempenho: parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581-1**: telha ondulada de fibrocimento: parte 1: classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581-2**: telha ondulada de fibrocimento - Parte 2: ensaios. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15210-1**: telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios: parte 1: classificação e requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRASILIT. **Telhas shingle e acessórios para telhado**. 2015. Disponível em:  
<https://www.brasilit.com.br/sites/brasilit.com.br/files/downloads/1/Cat%C3%A1logo%20T%C3%A9cnico%20Telha%20Shingle.pdf>.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010.

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. **Coberturas em estruturas de madeira**: exemplos de cálculo. São Paulo: PINI, 2010.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Blucher, 2010.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções**, mar. 2009.

ROMANEK, R. **Telhas shingle**: cobertura e beleza. 2016. Disponível em:  
<https://luizandreoli.com.br/telhas-shingle-cobertura-e-beleza/>.

SCHELB, C. G. **Avaliação de tipologias construtivas nos critérios de sustentabilidade**. 137 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Sustentabilidade), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

TC SHINGLE DO BRASIL. **Orientações de instalação de telhas shingle**. Disponível em:  
<http://www.shalomconstrushop.com.br/sistema/administracao/upload/Manual%20de%20Instala%C3%A7%C3%A3o.pdf>.

ZIEGEL TELHAS. **Telha Shingle Roofcolor: produto com qualidade italiana**. S.d. Disponível em: <http://www.ziegel.com.br/site/telha-shingle>.

# Implementação de um gerador de sinais virtual destinado aos laboratórios de engenharia elétrica do UNIPAM utilizando *LabVIEW*

*Implementation of a virtual signal generator for UNIPAM electrical engineering laboratories using LabVIEW*

**Victor Henrique da Cunha Faria**

Graduando do curso de Engenharia Elétrica (UNIPAM)

E-mail: victorhcf@unipam.edu.br

**Adriellen Loiane Medeiros Ribeiro**

Graduanda do curso de Engenharia de Produção (UNIPAM)

E-mail: adriellenloiane@unipam.edu.br

**Fábio de Brito Gontijo**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: fabiobg@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O gerador de sinais é importante em diversas áreas da engenharia elétrica, sendo utilizado em diferentes âmbitos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um gerador de sinais virtual utilizando o *LabVIEW* que possa ser aplicado em salas de aulas e laboratórios. Para esse fim, realizou-se o estudo de bibliografias, criou-se um protótipo que gerasse as formas de onda e permitisse o controle de suas características básicas; foi implementado o recurso de customização de formas de ondas; acrescentou-se a possibilidade de salvar e carregar arquivos; foi criado o recurso de verificação do sinal de saída, realizaram-se testes de campo e validação do software. O gerador de sinais virtual desenvolvido ofereceu interface amigável ao usuário e permitiu a geração das principais formas ondas e criação de ondas personalizadas.

**Palavras-chave:** Gerador de sinais. *LabVIEW*. Ondas. Circuitos elétricos.

**Abstract:** The signal generator is important in several areas of electrical engineering, being used in different areas. The objective of this work was to develop a virtual signal generator using *LabVIEW* that can be applied in classrooms and laboratories. For this purpose, the study of bibliographies was carried out, a prototype was created that generated the waveforms and allowed the control of their basic characteristics; the waveform customization feature was implemented; added the possibility to save and upload files; the output signal verification feature was created, field tests and software validation were performed. The developed virtual signal generator offered a user-friendly interface and allowed the generation of the main waveforms and the creation of personalized waves.

**Keywords:** Signal generator. *LabVIEW*. Waves. Electric circuits.

---

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O avanço tecnológico no desenvolvimento de dispositivos, ferramentas e *softwares* tem aumentado ao passar dos anos. Isto traz ao ser humano várias vantagens, tanto na melhoria e solução de questões já existentes há algum tempo, quanto em outras questões recentemente concebidas, nas mais diversas áreas, como engenharia, medicina, áreas de pesquisa e desenvolvimento robótico, educação e ensino, entre tantas outras. (SWAIN *et al.*, 2003).

Para engenheiros realizarem testes de qualidade e funcionamento em diversos tipos de dispositivos e sistemas, como circuitos e componentes eletrônicos, sistemas de comunicação a rádio, microprocessadores, sistemas embarcados e assim por diante, o gerador de sinais torna-se fundamental, pois é capaz de gerar e simular os estímulos que seriam recebidos pelos mesmos. Atualmente, geradores de sinais são bastante empregados em indústrias de eletrônicos, abrangendo desde as áreas de defesa aeroespacial até comunicação *wireless*. O gerador de sinais também pode ser usado para fins educacionais, como o ensino da engenharia e em pesquisas acadêmicas (DIEZ, 2013).

O instrumento tratado, o gerador de sinais, é caracterizado por ser uma fonte capaz de gerar diferentes sinais e formas de onda de tensão (ondas senoidais, ondas triangulares, ondas quadradas, entre outras), possibilitando também a variação de algumas grandezas, sendo as mais comuns na maioria dos modelos e marcas disponíveis no mercado: amplitude, frequência, offset. O instrumento de bancada tradicional possui algumas desvantagens: estrutura circuital complexa, ocupa um grande espaço, não é portátil, além de ter problemas com estabilidade (MIN; YAN; YU, 2012).

Geradores de sinais são essenciais para o ensino da engenharia elétrica em diversas disciplinas, como Eletrônica Analógica, Microprocessadores, Sistemas em Tempo Real, entre outras. Apesar de serem tão importantes, devido ao seu preço relativamente alto, a maioria dos laboratórios das universidades não contam com muitos exemplares desses aparelhos, impossibilitando ao aluno adquirir um gerador de sinais para estudos e práticas em casa (BARBOSA, 2016).

Entretanto, é possível a implementação de um instrumento virtual usando o ambiente de programação *LabVIEW*. Assim, o *software* criado realizará as mesmas funções e terá características semelhantes ao gerador de sinais convencional, como a geração de ondas e variação de seus respectivos aspectos. Para isso, é necessário um *hardware* que será conectado à porta usb do computador, convertendo os sinais gerados pelo programa ao mundo externo, podendo ser utilizado na bancada de teste ou em qualquer outra aplicação (MIN; YAN; YU, 2012).

A implementação dessa tecnologia permite aos professores e alunos maior praticidade e flexibilidade em aulas práticas, já que é bem mais compacta e permite a implementação de diversos instrumentos em um único ambiente. Além disso, o custo seria reduzido drasticamente, fazendo com que trabalhos antes realizados em grupos, por falta de equipamentos suficientes, possam ser praticados individualmente e com maior participação do aluno, aumentando o índice de aprendizado. Outro lado positivo

é que tanto alunos quanto professores teriam acesso a instrumentos virtuais em casa ou em qualquer lugar, necessitando apenas de um computador e um *hardware*, fazendo com que atividades exclusivas dos horários destinados às atividades e exercícios em laboratórios sejam realizadas em outros locais (BARBOSA, 2016).

O *LabVIEW* é uma linguagem de programação gráfica aplicada às engenharias, considerada de alto nível, por ser o mais próximo possível da linguagem humana, assim, distanciando-se da linguagem de máquina. O *software* traz diversas vantagens na criação de sistemas que tenham o propósito de aquisição, medição, teste e controle de dados e sinais elétricos, proporcionando um ambiente de programação flexível e simples, fazendo com que a implementação de *softwares*, tanto básicos, como complexos, seja feita de forma rápida. (AGRAZ; POZOS, 2013).

O objetivo geral deste trabalho é utilizar o ambiente de programação *LabVIEW* no desenvolvimento de um *software* que funcione como um gerador de sinais de bancada, agregando todas as suas funcionalidades em forma de instrumento virtual, podendo ser aplicado pedagogicamente pelos docentes e discentes em sala de aula ou laboratórios.

O objetivo específico é desenvolver um gerador de sinais virtual que (I) gere as principais formas de onda: seno, triangular, quadrada, e dente de serra; (II) permita variar os parâmetros de frequência, amplitude, offset, fase e duty cycle; (III) possa editar e criar novas formas de onda a partir das principais; (IV) salve e carregue as ondas criadas e editadas em arquivo e (V) permita a leitura de sua saída para verificação visual do sinal gerado.

Algumas desvantagens vêm intrinsicamente com os geradores de sinais convencionais, impedindo que laboratórios e salas de aula tenham vários exemplares do equipamento. Em contraponto, é viável o desenvolvimento desse instrumento de forma virtual, fazendo com que mais pessoas tenham acesso a esse dispositivo e aos benefícios trazidos ao aprendizado prático, sendo este em conjunto ou individual. Isso se dá devido ao fato de que pode ser um *software* distribuído gratuitamente e que o *hardware* que faz o contato com o mundo externo pode ser de baixo custo, de forma acessível e compacta, eliminando, assim, algumas desvantagens consideráveis do instrumento convencional.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

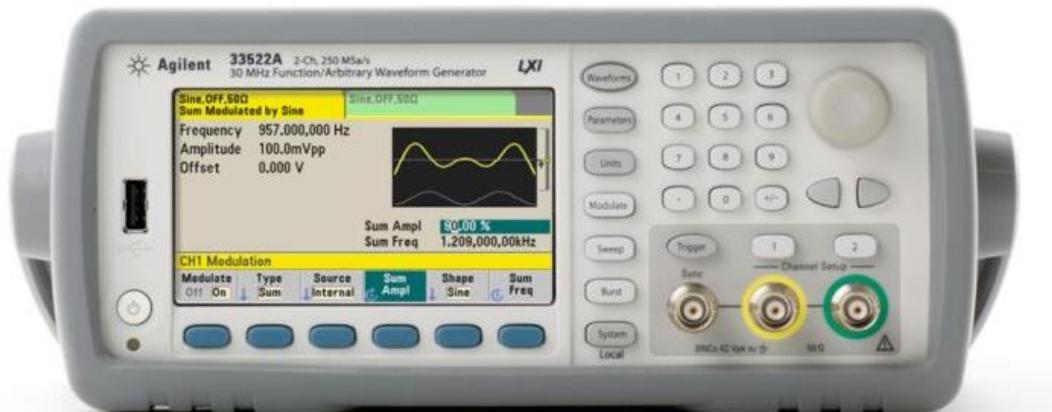
### 2.1 GERADOR DE SINAIS

O gerador de sinais surgiu na década de 1950. Vem sendo aperfeiçoado ao longo dos anos. Nos anos 70, o emprego de semicondutores na criação de diodos, transistores e conseqüentemente microprocessadores, permitiu o avanço em desempenho, precisão e simplicidade na fabricação desses equipamentos, tornando-os mais baratos, compactos e comercializáveis (LIMA; SILVEIRA; SILVA, 2010).

Eles são capazes de gerar diferentes sinais elétricos de tensão em forma de onda, concedendo o uso de diversos valores de amplitudes, offset e frequências, na criação de ondas senoidais, quadradas, triangulares, e dente de serra. O circuito eletrônico interno do gerador de sinais é composto por osciladores, filtros e amplificadores. Os osciladores harmônicos originam sinais do tipo senoidal, e os de relaxação produzem as ondas não senoidais, como dente de serra, quadrado (BARBOSA, 2016).

Os instrumentos convencionais, Figura 1, são utilizados quando há a necessidade da obtenção de sinais que possam ser replicáveis ao longo do tempo e que sejam estáveis, isso, para diversas aplicações. Alguns usos comuns desse equipamento encontram-se na pesquisa e desenvolvimento, no ensino de engenharia, no reparo e teste de equipamentos eletrônicos, em testes de sistemas e componentes eletrônicos, entre outros (BKPRECISION, 2019).

**Figura 1** – Gerador de sinais Keysight



Fonte: Keysight Technologies, 2018. Disponível em: <https://www.keysight.com>.

Existem vários modelos de geradores de sinais capazes de produzir tipos de ondas com características diferentes, devido à sua aplicação e à sua necessidade. Podem-se citar: gerador de sinais arbitrário, gerador de sinais de áudio, gerador de funções, gerador de pulsos, gerador de sinais RF e o gerador de sinais vetorial. No mercado, há variação de modelo para modelo e de fabricante para fabricante, havendo geradores que apresentam mais de uma funcionalidade, agrupando mais de um tipo de gerador de sinais (ELECTRONICSNOTES, 2019).

A seguir, está exposta uma breve explanação dos diferentes tipos de geradores de sinais citados que serão utilizados como base para o presente trabalho.

Gerador de onda arbitrário: nesse tipo de gerador de sinais, o usuário pode criar ondas de quase todas as formas imagináveis, podendo simular situações reais, em que um sinal é influenciado por estímulos externos e ruídos. Para isso, é necessário fornecer ao gerador de sinais arbitrário os pontos a serem gerados, podendo ser através de barramentos USB, GPIB, ETHERNET, gerando a onda personalizada desejada. Eles têm

construção mais complexa, se comparados com os outros geradores de sinais, tornando-o mais caro e menos acessível a alguns usuários (TECHNOLOGIES, 2019).

Gerador de funções: usado como gerador de sinais simples, que gera as ondas repetidas vezes, ou seja, em um ciclo ininterrupto. Produz as ondas básicas como seno, dente de serra, triangular e quadrada, tendo ajustes básicos de um gerador de sinais. Muitos dos geradores de função são limitados em capacidade de frequência, atingindo somente frequências baixas. Entretanto, em alguns modelos menos comuns, é possível alcançar frequências mais altas. Isso o torna útil em aplicações cujo destino é o ensino de engenharia e práticas na área de eletrônica (ELECTRONICSNOTES, 2019).

Apesar de ser um instrumento de bancada útil em aplicações comerciais, educacionais e científicas, apresenta algumas desvantagens em seu uso. Na maioria dos produtos, é negada ao usuário a possibilidade de expansão e personalização, já que tudo no gerador de sinais é intrínseco ao aparelho, o circuito interno, os botões, as suas funcionalidades. Mais ainda, as tecnologias exclusivas e componentes de custo alto que são utilizados para a confecção desses dispositivos os tornam muito caros e de adaptação lenta. Também, deve-se considerar que as condições de portabilidade dos geradores de sinais tradicionais são ruins.

## 2.2 INSTRUMENTO VIRTUAL

O desenvolvimento de tecnologias computacionais vem acontecendo mais intensamente nas últimas décadas. Os computadores pessoais apresentam processadores mais rápidos e sistemas operacionais mais intuitivos. A internet também vem sendo aprimorada, permitindo acessos mais velozes e com maior banda de transferência. A instrumentação virtual se beneficia desses avanços para obter maiores taxas de amostragem e processamento dos dados. Um instrumento virtual é integrado por ferramentas de programação e equipamentos de aquisição de sinais, que juntos a um computador, executam as mesmas funções de instrumentos convencionais. (CAO; CHEN, 2014).

Ultimamente, vários instrumentos, tanto analógicos quanto digitais, podem ser agrupados virtualmente em um único instrumento virtual, permitindo que o espaço que ocupa um dispositivo convencional e os custos em sua produção sejam diminuídos. Dessa forma, em um único *software*, é viável mesclar várias funcionalidades de dispositivos convencionais, assim como um gerador de funções, um multímetro, um osciloscópio, um analisador de espectro e qualquer outro instrumento que se desejar (KANG *et al.*, 2014).

Uma excelente aplicação de instrumentação virtual pode ser realizada em laboratórios didáticos, assim os custos com a obtenção de aparelhos de medição e controle necessários para a montagem das bancadas experimentais seriam reduzidos. Surge também a possibilidade de inserir outras funções às experiências didáticas, através do *software*, sem a necessidade de alterar o *hardware* utilizado na montagem experimental, fazendo com que o laboratório seja mais dinâmico e multifuncional (LOPES, 2007).

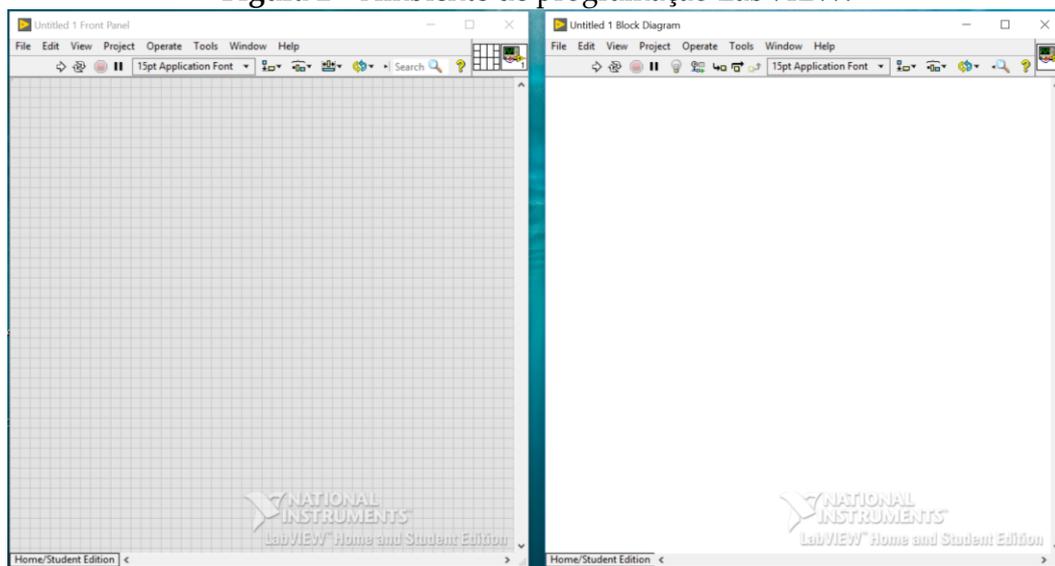
O presente século será direcionado pelo desenvolvimento de instrumentos virtuais destinados a substituir sistemas de medições de grandezas elétricas convencionais. Para criação desses instrumentos virtuais, é necessária a utilização de alguma linguagem de programação que possibilite e torne esse processo o mais simples possível. Entre várias linguagens existentes, a linguagem G (linguagem gráfica) é a mais indicada para esse tipo de aplicação, já que, ao comparar-se com linguagens textuais, ela traz métodos de aprendizado mais rápidos e ferramentas destinadas à aplicação de instrumentos virtuais (SI, 2014).

### 2.3 LabVIEW

O *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) é uma linguagem de programação gráfica, capaz de fornecer a criação de testes, medição, aquisição de dados, controle de instrumentos, armazenamento de dados, análise de dados e geração de relatórios. A *National Instruments*, desenvolvedora do *LabVIEW*, foi fundada em 1986 com o intuito de criar um ambiente de programação voltado para engenheiros e cientistas, e atualmente está inserida nas mais diversas áreas de tecnologia (HIGA; TAW; LORD, 2002).

Os *softwares* criados na linguagem de programação gráfica *LabVIEW* são chamados de *VI's* (*virtual instruments*), remetendo a sua motivação de criação, que era desenvolver sistemas e programas que simulem instrumentos convencionais de forma virtual. O *LabVIEW* comunica-se com uma grande quantidade de *hardwares*, da própria *National Instruments* ou de terceiros; em ambos os casos, existem funções e blocos de código prontos que tornam o processo de conectar dispositivos bem mais rápidas e simples. Ele também permite a interação com outras linguagens de programação, podendo traduzi-las em *LabVIEW* ou o inverso (BOTTARO, 2012).

**Figura 2** – Ambiente de programação LabVIEW.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Na Figura 2, está exibido o ambiente de programação *LabVIEW*, sendo composto por 4 principais partes: o painel frontal, o diagrama de blocos, o painel conector e o ícone. O painel frontal é o local em que são colocados os objetos responsáveis pela interação com o usuário, tanto de entrada de dados, quanto de saída, chamados de controles e indicadores. No diagrama de blocos, é onde o código gráfico é escrito, os controles e indicadores têm terminais que fazem correspondência entre o painel frontal e o diagrama de blocos. O painel de conector define quais serão as entradas e saídas de dados quando esse VI for transformado em subVI e o ícone é a imagem que identificará visualmente esse subVI (COSTA, 2016).

O *LabVIEW* usa o princípio de programação baseado em fluxo de dados, ou seja, a ordem de execução de seu código é dependente desse fluxo, podendo trabalhar de forma síncrona e assíncrona. Supondo que um nó esteja localizado no diagrama de bloco, ele será executado apenas quando todas as suas entradas forem fornecidas. A partir do momento em que esse nó realizar todas as suas tarefas, ele estará pronto para enviar uma saída adiante, possibilitando que os próximos nós dependentes de seus dados possam executar (AGRAZ; POZOS, 2013).

### 3 METODOLOGIA

Após exibirem-se as problemáticas que envolvem o uso de geradores de sinais, é possível concluir que o melhor caminho a ser tomado é a criação de um gerador de sinais virtual. Para tal tarefa, fica evidente a necessidade de realizar um estudo aprofundado do *software* que será usado (*LabVIEW*) e também pesquisas aprofundadas em literaturas que já realizaram o mesmo processo e obtiveram êxito. Para isso, a metodologia empregada constitui-se da delimitação do problema e de uma estratégia de resolução.

Sendo assim, é notório que a sistemática a ser utilizada na execução da pesquisa baseie-se na já difundida metodologia *Problem-based Learning* (Aprendizagem baseada em problemas), que pode ser dividida nas seguintes etapas:

- a) Etapa 1: pesquisar o funcionamento prático do gerador de sinais e linguagem G de programação, visando à criação do *software*, por meio de livros, artigos científicos, relatórios técnicos, teses e publicações que contribuam para a revisão teórica;
- b) Etapa 2: criar um protótipo do programa que gere as formas de onda citadas e permita o controle de suas características básicas (frequência, amplitude, offset, fase e duty cycle);
- c) Etapa 3: implementar no *software* o recurso de edição e customização de formas de ondas;
- d) Etapa 4: acrescentar a possibilidade de salvar e carregar em arquivo ondas;

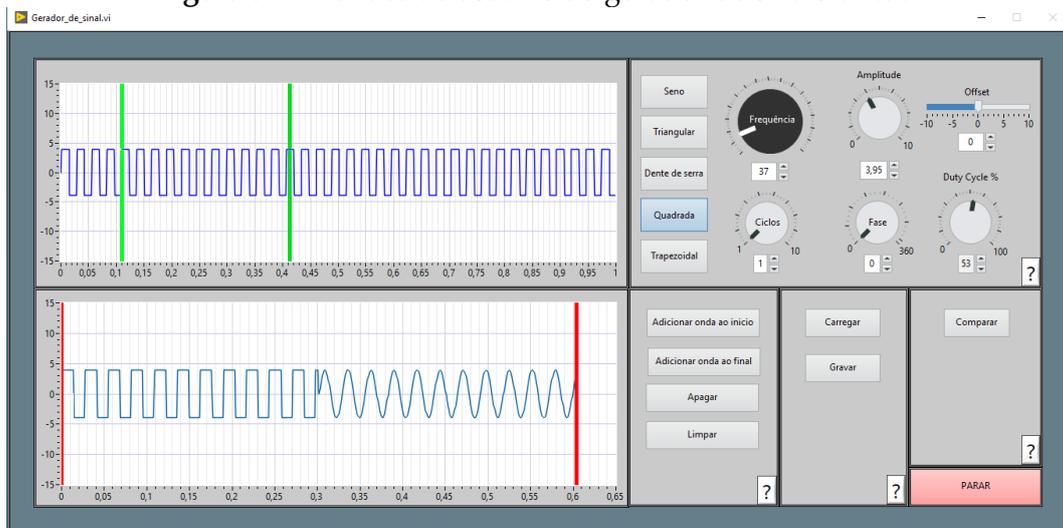
- e) Etapa 5: criar o recurso de verificação do sinal de saída através do próprio *software*;
- f) Etapa 6: realizar testes e validação do *software*.

#### 4 RESULTADOS

A pesquisa bibliográfica permitiu comprovar a eficiência e a capacidade de aplicação do *LabVIEW* em diversas áreas, incluindo a área abordada nesse projeto. Sendo assim, foi possível obter uma visão ampla e clara sobre a criação de um gerador de sinais virtual que se assemelhe à funcionalidade do convencional. Permitiu, também, adotar as melhores opções quanto ao desenvolvimento, auxiliando na seleção do melhor padrão de projeto e construção do protótipo concebido nessa etapa.

A interface do usuário, exibida na Figura 3, foi criada de forma a manter a lógica de usabilidade dos geradores de sinais já existentes, facilitando ao usuário adaptar-se ao *software* e às novas ferramentas englobadas. Os controles foram personalizados como knobs, slides e botões, estilo de controles muito comuns em geradores de sinais analógicos e digitais, presentes nos laboratórios das instituições de ensino.

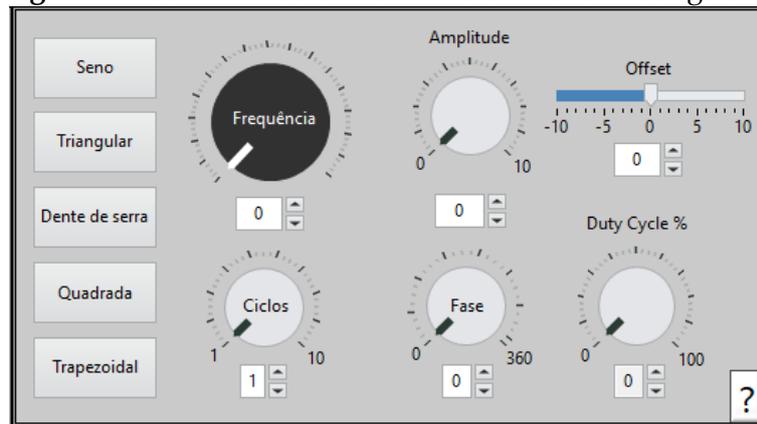
Figura 3 – Interface de usuário do gerador de sinais virtual



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A interface é composta: o controle das características da onda gerada, os botões de edição, os gráficos de plote das ondas, o menu de salvar e o menu de comparar. Na Figura 4, os controles que compõem o gerador de sinais virtual permitem ao usuário alterar as formas das ondas que estão sendo geradas, alterando o tipo de onda, a frequência, a amplitude, o offset, a fase e o duty cycle.

**Figura 4** – Controle das características da onda a ser gerada



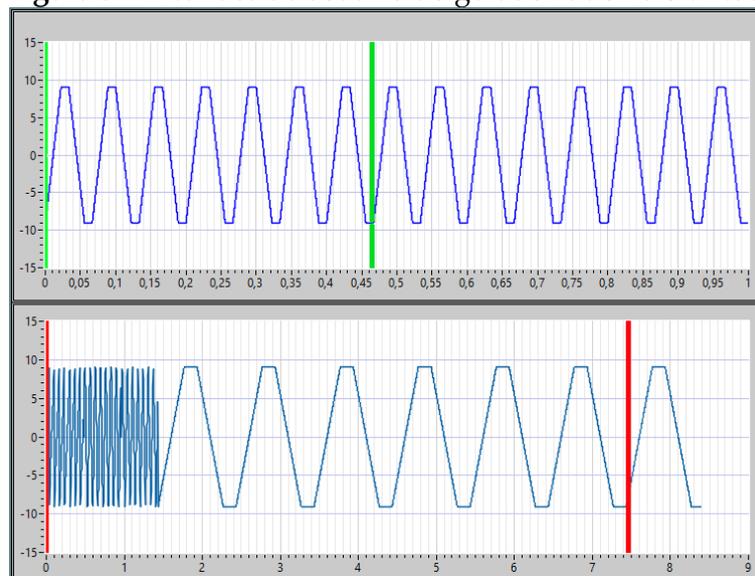
Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Através do knob de seleção do tipo de onda, é permitido ao usuário escolher entre seno, triangular, quadrada, dente de serra e trapezoidal. Com essas formas de onda base, eles conseguem alterar a sua frequência e amplitude. É necessário considerar a limitação fornecida pelo *hardware*, assim, a frequência máxima atingida utilizando o NI-USB 6002 é de 400 Hz de frequência, e amplitude pico a pico de 20 V (entre -10 a +10 V).

Ao tratarmos do offset, também é importante considerarmos o limite máximo de amplitude, já que a onda gerada terá uma tensão máxima e mínima, e se ela ultrapassar o limite do *hardware*, será cortada. Ainda, é possível alterar a fase das ondas utilizando o controle de fase, que pode variar de 0 a 360 graus. Quanto ao duty cycle, ele tem influência somente sobre a onda quadrada e consegue variar entre 0 a 100 %.

Com os recursos descritos e o sinal gerado com as características desejadas, é possível criar ondas personalizadas a partir da original, podendo mesclar diferentes tipos e formas. Para isso, é necessário utilizar os cursores que estão presentes nos indicadores gráficos (Figura 5) e os botões de edição (Figura 6).

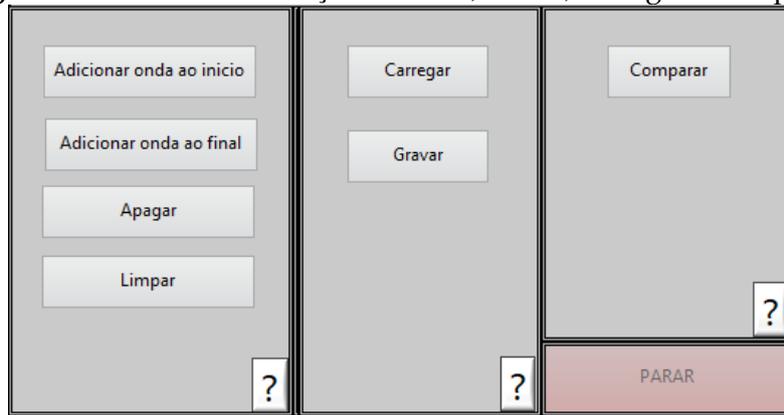
**Figura 5** – Interface de usuário do gerador de sinais virtual



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A Figura 5 exibe dois gráficos, os quais são responsáveis pela visualização do sinal gerado e pela visualização do sinal personalizado. O gráfico superior é o local onde é mostrada a onda com os parâmetros selecionados nos controles de características, e o gráfico inferior mostra a onda personalizada. Em ambos os gráficos existem cursores que, juntamente com os controles de edição (Figura 6), permitem a personalização da onda.

**Figura 6** – Controles de edição de onda, salvar, carregar e comparar

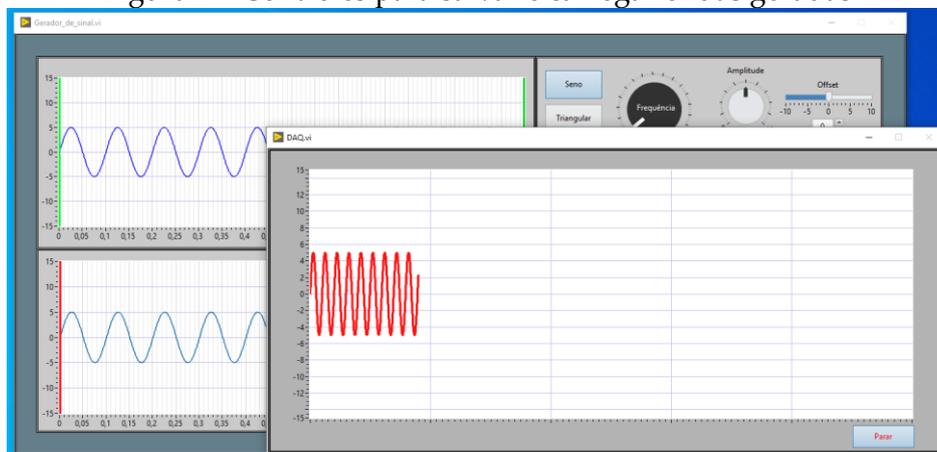


Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

O botão “Adicionar onda no início” permite colocar a atual parte da onda gerada, selecionada pelos cursores amarelos, no início da onda personalizada presentes nos indicadores gráficos. Já o botão “Adicionar onda no final” permite colocar a parte da onda selecionada no final da onda personalizada. Ainda, através dos cursores vermelhos no gráfico de edição, podem-se remover partes da onda personalizada. Pode-se obter uma onda final com diferentes formas, frequências, fases, amplitudes e offsets.

Usando os controles, pode-se salvar a onda editada, ou mesmo carregar alguma onda previamente gravada. Além disso, através do botão Comparar, verifica-se a saída do gerador de sinais virtual no próprio *software*, permitindo analisar graficamente o sinal gerado por meio da janela de verificação, melhor vista na Figura 7.

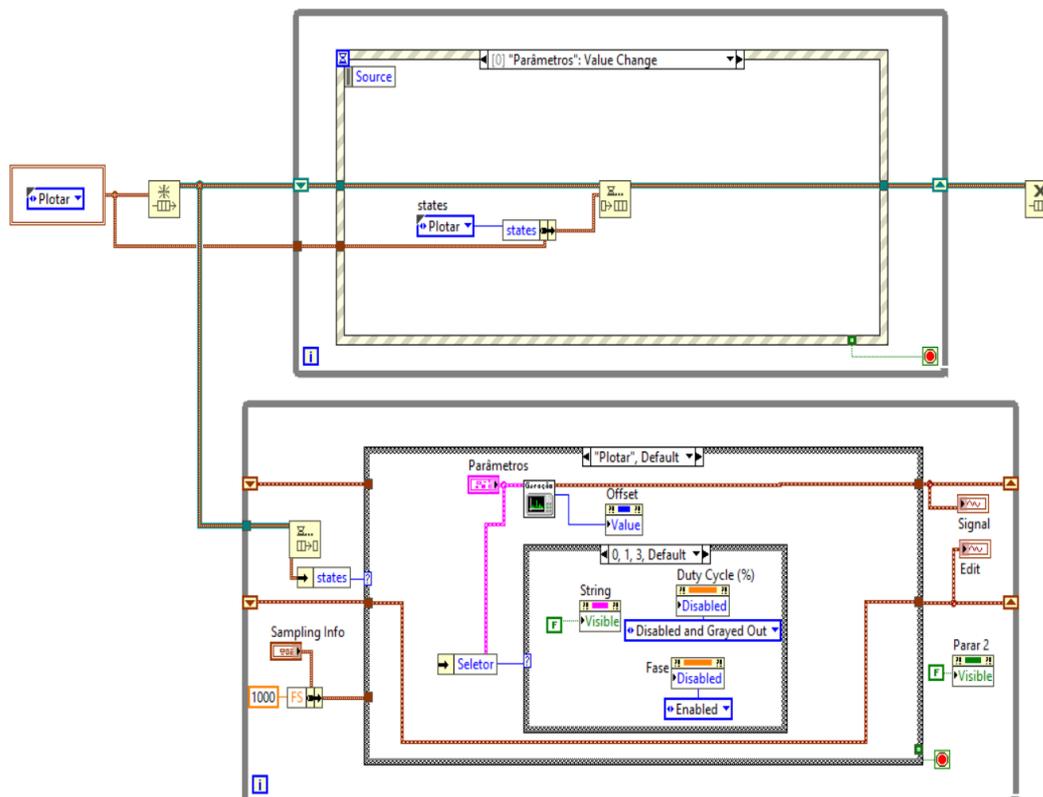
**Figura 7** – Controles para salvar e carregar ondas geradas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Utilizando a tela de acompanhamento, é possível compreender se o sinal que está saindo do DAQ USB 6002 de fato é o sinal confeccionado, analisando sua amplitude e período. Esse funcionando, de todo o gerador de sinais virtual, deve-se ao código por trás da interface de usuário, sendo demonstrada em parte pela Figura 8.

**Figura 8** – Onda personalizada usando o gerador de sinais virtual



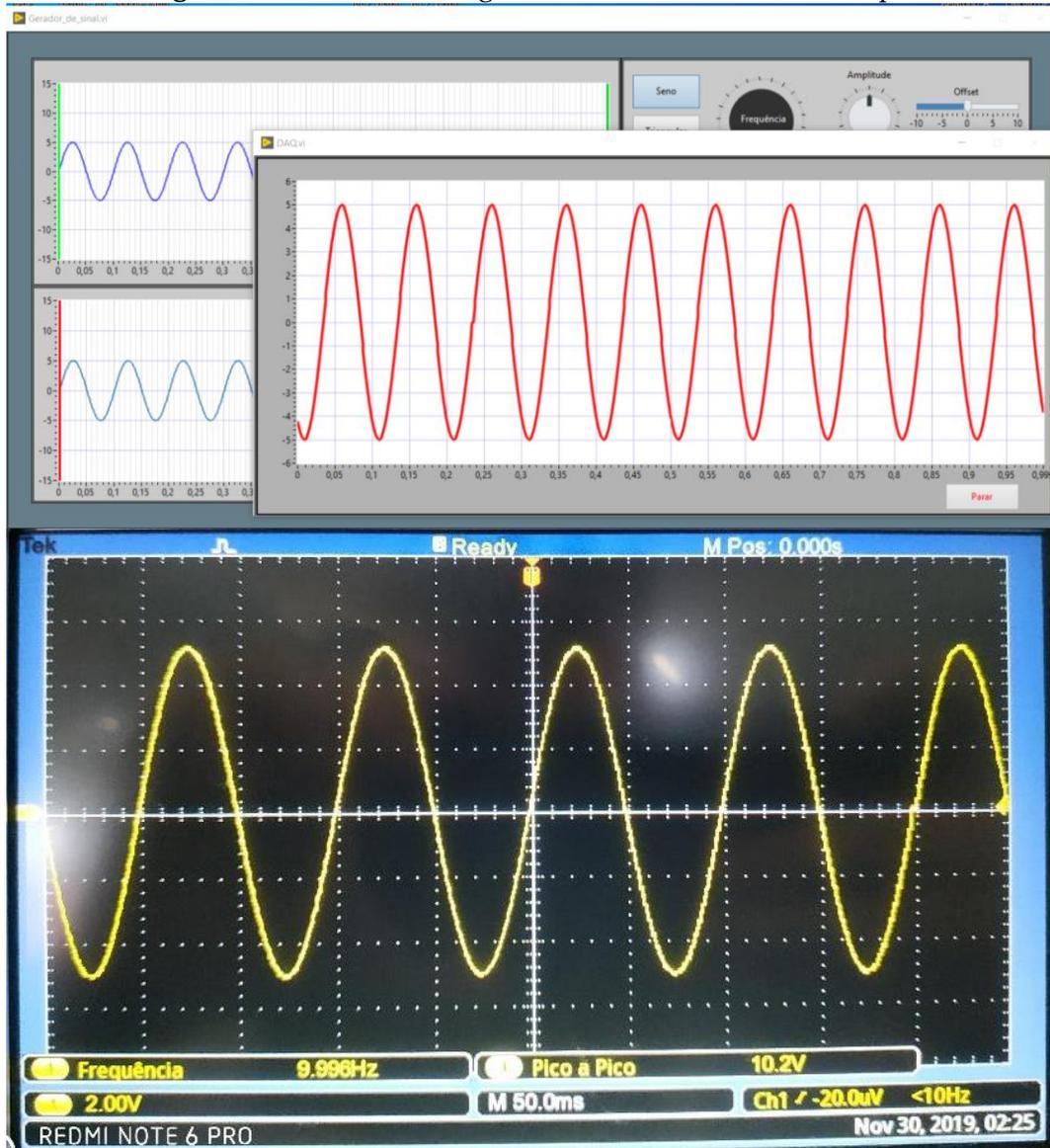
Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Como já dito anteriormente, o trabalho foi desenvolvido na linguagem de programação gráfica *LabVIEW*. Assim, a Figura 8 exibe o código em *LabVIEW* desenvolvido. É interessante destacar que o padrão de projeto adotado para programação é derivado do Queue Handler Machine, o que permite a execução direcionada pelo usuário e também assíncrona, possibilitando processos paralelos.

Em busca de averiguar os sinais de saída do gerador de sinais virtual, foram realizados alguns testes que consistiram em gerar ondas que podem ser visualizadas no osciloscópio digital Tektronix TBS1102B. Desse modo, verifica-se se a amplitude, a frequência e as formas de ondas correspondiam com as confeccionadas no *software*.

O primeiro teste está sendo mostrado na Figura 9, em que foi gerada uma onda senoidal de 10 V pico a pico, com frequência de 10 Hz, e com 0 V de offset.

Figura 9 – Onda senoidal gerada e medida com osciloscópio



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

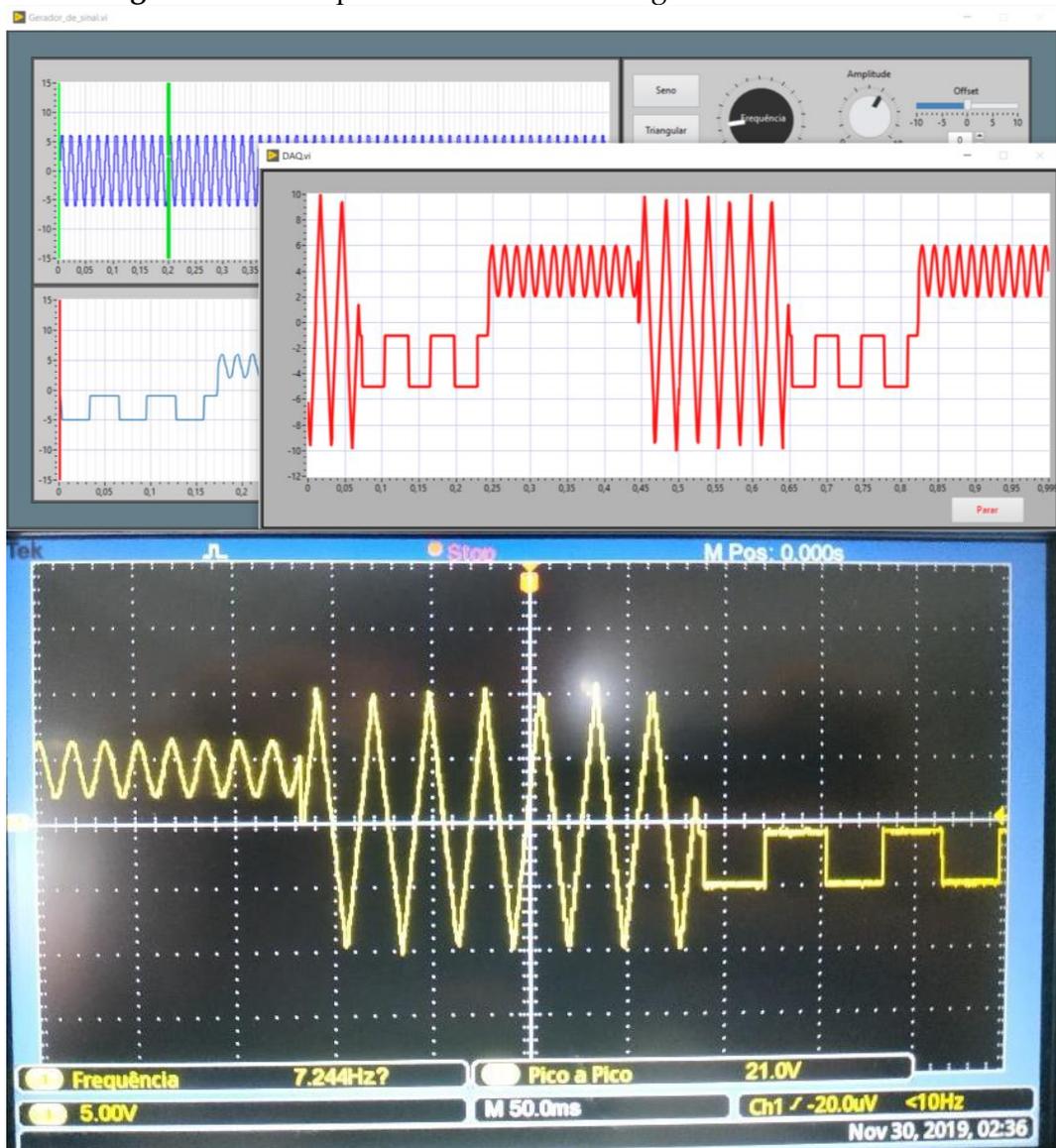
Analisando a Figura 9, vê-se tanto a tela de acompanhamento do programa criado quanto a tela do osciloscópio utilizado para verificação. Nota-se que a frequência e amplitude pico a pico medidas no osciloscópio são bem próximas a da onda gerada pelo gerador de sinais virtual, respeitando a precisão e o erro de medição. Além disso, é possível visualizar que as formas de ondas são praticamente equivalentes, livres de ruídos e qualquer outra interferência.

Para testar a capacidade de edição de sinais do *software*, explorando a junção e exclusão de partes de diferentes tipos de ondas, com frequências, amplitudes e offsets distintos, foi realizado o experimento mostrado na Figura 10; assim a geração podia ser vista na tela de acompanhamento do gerador virtual e no osciloscópio.

A onda criada é composta por 3 tipos de sinais: senoidal, triangular e quadrada. A onda senoidal tem 4 V pico a pico, com frequência de 60 Hz, e com +4 V de offset. A

onda triangular tem 20 V pico a pico, com frequência de 35 Hz e com 0 V de offset. A onda quadrada tem 4 V pico a pico, com frequência de 16 Hz, com -3 V de offset e duty cycle de 50%.

Figura 10 – Onda personalizada usando o gerador de sinais virtual



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

De acordo com a Figura 10, o sinal personalizado visto no osciloscópio tem a mesma forma de onda que, na tela de acompanhamento do gerador de sinais virtual, respeita as amplitudes, frequências e offsets definidos, mostrando, então, a possibilidade de geração de sinais únicos de acordo com a aplicação e a eficácia desta geração.

Ainda durante os testes, confirmou-se que o gerador de sinais virtual é limitado às características do *hardware*, de forma que, para que se obtenham sinais acima dos parâmetros das saídas analógicas do USB6002, seria necessário trocá-lo por outro dispositivo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, o gerador de sinais virtual comportou-se muito bem, apresentando aparência e lógica de funcionamento da interface de usuário similares aos geradores de sinais convencionais e permitindo ao usuário obter as mesmas funcionalidades de geração e seleção de forma da onda e seus parâmetros. Concluiu-se, também, que a ferramenta de edição de onda está desempenhando o comportamento desejado, sendo uma ótima ferramenta para testes de sistemas e circuitos elétricos que demandam ondas personalizadas. Na criação de ondas, o *software* (gerador de sinais virtual) não apresentou qualquer espécie de travamento durante a sua execução.

Ao longo dos testes realizados concluiu-se que, dentro das limitações de *hardware* do USB6002, as ondas geradas são similares às especificações e parâmetros definidos, refletindo a mesma amplitude, frequência, offset, fase, duty cycle, ou seja, a onda gerada pelo dispositivo conectado ao *software* é a mesma que foi parametrizada.

Em virtude de aprimorar o gerador de sinais desenvolvido, buscando melhores experiências em sala de aula, a trabalhos futuros recomenda-se:

- o desenvolvimento de *hardware* próprio, de forma a viabilizar uma gama maior de frequências e maiores amplitudes;
- acrescentar outros instrumentos virtuais ao programa criado, como multímetro e osciloscópio;
- reconhecer arquivos de ondas de outros *softwares*, permitindo a importação e exportação.

## REFERÊNCIAS

AGRAZ, Jose; POZOS, Robert. LabVIEW based control software for finger force sensor instrumentation design. **2013. Ieee Autotestcon**, [s. l.], p. 86-91, set. 2013.

BARBOSA, Rian Oliveira. **Instrumentação virtual com labview em laboratório experimental de eletrônica**. 2016. 95 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/1427>.

BKPRECISION. **Function and Arbitrary Waveform Generator: guidebook**. BKPRECISION, 2019.

BOTTARO, Márcio. **Instrumentação virtual em laboratório: introdução ao LabVIEW**. São Paulo: IEE-USP, 2012. (Apostila).

CAO, Yuan; CHEN, Huamin. Research on function and design of virtual instrument based on LabVIEW Technology. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, Henan Nanyang, v. 6, n. 6, p.1099-1104, 2014.

COSTA, Cesar da. **Apostila de laboratório software LabVIEW**. São Paulo: Instituto Federal de São Paulo, 2016. (Apostila).

DIEZ, Erik. **The fundamentals of signal generation**. 2013. Disponível em: <https://www.electronicdesign.com/test-amp-measurement/fundamentals-signal-generation>.

ELECTRONICSNOTES. **What is a Signal Generator: different types**. 2019. Disponível em: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/signal-generators/what-is-a-signal-generator.php>.

HIGA, Melaine L.; TAWY, Dalia M.; LORD, Susan M. An introduction to LabVIEW exercise for an electronics class. 32nd Boston: Annual Frontiers in Education, 2002. p.13-16.

KANG, Shouqiang *et al.* Development of a teaching experiment platform for a signal generator based on LabVIEW. **World Transactions on Engineering and Technology Education**, Harbin, v. 12, n. 2, p. 261-265, 2014.

LIMA, Andreilton C. S.; SILVEIRA, Claudio Abílio da; SILVA, Matheus Santos da. **Gerador de funções senoidais monofásicas e trifásicas**. Florianópolis: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2010. (Trabalho discente).

LOPES, Vinícius José Santos. **Instrumentação virtual aplicada ao ensino experimental de engenharia elétrica**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MIN, Wei; YAN, Xie; YU, Jia. The design of virtual signal generator. **2012. Ieee International Conference on Computer Science and Automation Engineering (Case)**, Xi'an, v. 1, p.7-9, 2012.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Instrumentação Virtual**. 2009. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/4752/en/>.

SI, HuiLing. Design of virtual function signal generator based on sound card. **Applied mechanics and materials**, Zhengzhou, v. 543-547, p. 850-853, 2014.

SWAIN, Nikunja. K. *et al.* Remote data acquisition, control and analysis using labVIEW front panel and real time engine. **Proceedings IEEE Southeastcon**, Orangeburg, p. 1-6, 2003.

TECHNOLOGIES, Keysight. **Keysight Fundamentals of Arbitrary Waveform Generation**. 2019. Disponível em: <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/M8190-91050.pdf>.

# Módulo de disparo e controle de motor à relutância variável

## *Variable reluctance motor trip and control module*

**Erick de Araújo Silva**

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica (UNIPAM)

E-mail: [ericksilva@unipam.edu.br](mailto:ericksilva@unipam.edu.br)

**João Marcos de Andrade**

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica (UNIPAM)

E-mail: [joaomarcos1@unipam.edu.br](mailto:joaomarcos1@unipam.edu.br)

**Thiago Vieira da Silva**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [thiagovs@unipam.edu.br](mailto:thiagovs@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O mercado de engenharia elétrica é bastante diversificado e possui inovações a todo instante. Consonante a isso, na área de motores elétricos, surgiu a necessidade de se criar um motor de alto rendimento, aliado a uma alta velocidade de rotação e um torque satisfatório para atuar em diversas aplicações. Surge, então, o Motor a Relutância Variável (MRV). Entretanto, existem condições especiais para funcionar este motor, visto que ele não pode ser conectado diretamente à tomada de energia convencional. Para tanto, deve se utilizar de conceitos eletrônicos para alimentar, alternadamente, cada bobina desse motor, utilizando-se de corrente contínua. Este trabalho apresenta um módulo eletroeletrônico capaz de rotacionar um motor à relutância variável.

**Palavras-chave:** Acionamento de um MRV. Máquina à Relutância Variável. Disparo de motor a relutância variável. PWM.

**ABSTRACT:** The electrical engineering market is quite diverse and has innovations at all times. Accordingly, in the area of electric motors, the need arose to create a high-performance motor, combined with a high speed of rotation and a satisfactory torque to operate in various applications. Then, the Variable Reluctance Motor (MRV) appears. However, there are special conditions for running this engine, as it cannot be connected directly to the conventional power outlet. To do so, electronic concepts should be used to alternately power each coil of this motor, using direct current. This work presents an electro-electronic module capable of rotating a motor at variable reluctance.

**KEYWORDS:** MRV drive. Variable Reluctance Machine. Variable reluctance motor trip. PWM.

---

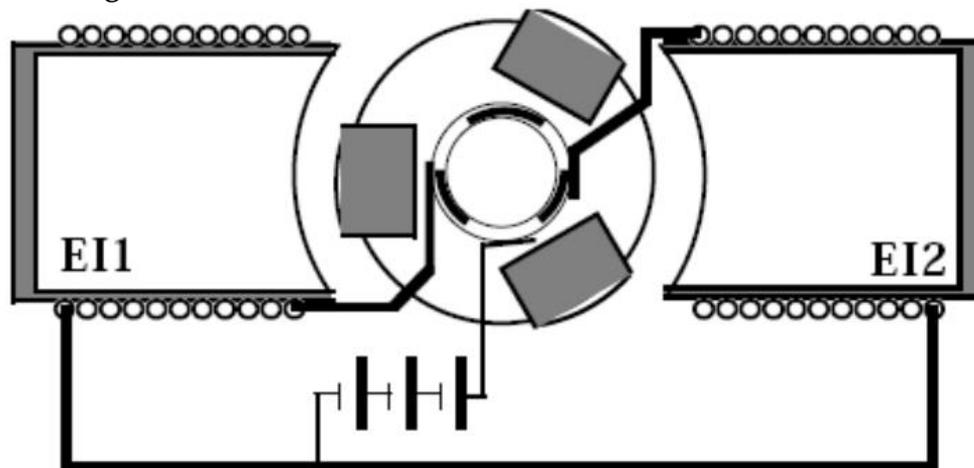
## 1 INTRODUÇÃO

Durante a evolução humana, industrial ou científica, os processos de automação se intensificaram após a descoberta da eletricidade. Desde a criação do primeiro motor elétrico no século XIX, que possuía uma perda energética significativamente menor em relação ao motor a vapor, por exemplo, a busca por novas formas de partida e rotação não cessou (COELHO *et al.*, 2011).

Diversas formas de partida e rotação foram desenvolvidas. É possível notar um grande avanço desses módulos e componentes eletromotrizes ao longo dos anos. Existe uma variedade imensa dessas máquinas, cada uma destinada a uma finalidade específica.

Em setembro de 1842, Robert Davidson (1804-1899) criou um motor elétrico capaz de movimentar uma locomotiva de 6 toneladas, visando a uma alternativa à locomotiva a vapor e seus transtornos causados a passageiros mais exigentes. Seu princípio de construção consistia em dois eletroímãs justapostos em lados opostos, um rotor de madeira no centro com três barras de ferro fixadas na periferia e duas baterias. Ao todo, foram utilizados quatro motores desse modelo na locomotiva. O motor construído em questão é o motor a relutância variável comutado (PINTO, 2010).

**Figura 1** – Cilindro Rotórico com três barras de ferro encastradas



Fonte: Miguel; Pinto, 2010.

Atualmente, existem diversas formas de se controlar esse motor a relutância variável, porém há métodos mais eficazes. Para tanto, se faz necessário um estudo direcionado para encontrar a melhor configuração que permita uma máxima eficiência desse módulo controlador bem como do Motor a Relutância Variável (PINTO, 2010).

Devido às suas características, o motor a relutância necessita de um controle específico e preciso. Visando a isso, foi realizado um estudo sobre métodos de controle e acionamento da máquina. Como objetivo primário, buscou-se o controle de velocidade do motor a relutância, o que possibilita aplicações precisas e específicas.

O objetivo específico foi desenvolver um circuito de controle, baseado no microprocessador ATMEGA328P. Após isso, construir um circuito de potência que recebe os sinais provenientes da placa de controle, atendendo, de fato, à demanda de potência do motor a relutância variável. Conforme o circuito de potência receba o sinal,

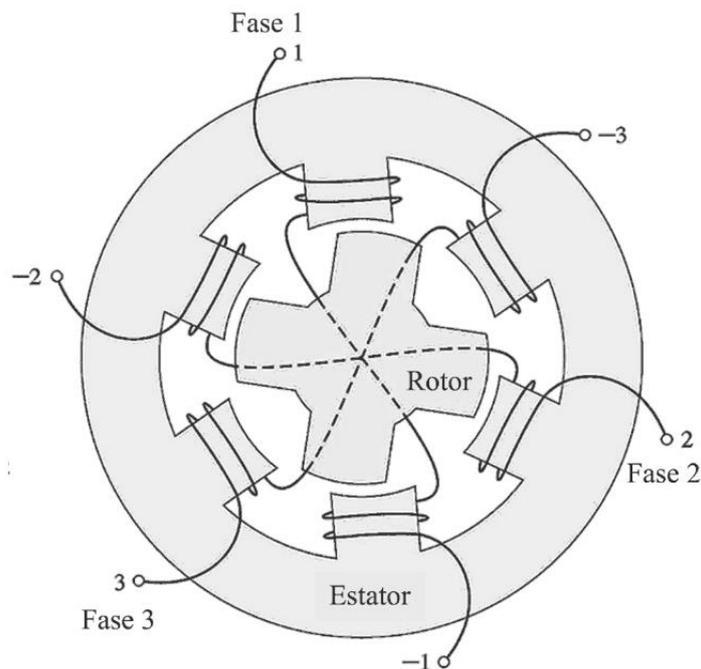
ele será o responsável por dosar a quantidade de corrente e a frequência de alternância entre a ativação das bobinas.

Tendo em vista o descrito anteriormente, têm-se como objetivos gerais o acionamento e controle de velocidade do motor a relutância. Este projeto desenvolve um método para o acionamento e controle de velocidade de um motor a relutância. Este estudo pode resultar em futuros trabalhos, como a extração de dados do processo utilizado.

## 2 REVISÃO LITERÁRIA

O Motor a Relutância Variável é uma máquina com um custo de fabricação extremamente baixo, em relação a outras máquinas eletromotrizes e possui um rendimento significativamente alto e um modelo de construção simples. Isso se justifica pelo seu princípio de funcionamento. É, basicamente, composto por um rotor e um estator, ambos compostos por lâminas de material ferromagnéticas. Possuem polos que são justapostos de forma uniforme entre si, e os polos do estator devem ficar mais próximos quanto possíveis dos polos do rotor, durante o movimento de rotação do rotor. Nesse caso específico, o objeto de estudo é o Motor a Relutância Variável com configuração 6x4, ou seja, possui 4 polos em seu rotor e 6 polos em seu estator (OLIVEIRA, 2015). A Figura 1 representa a estrutura física do motor supracitado.

**Figura 2** – Vista transversal de um Motor a Relutância Variável



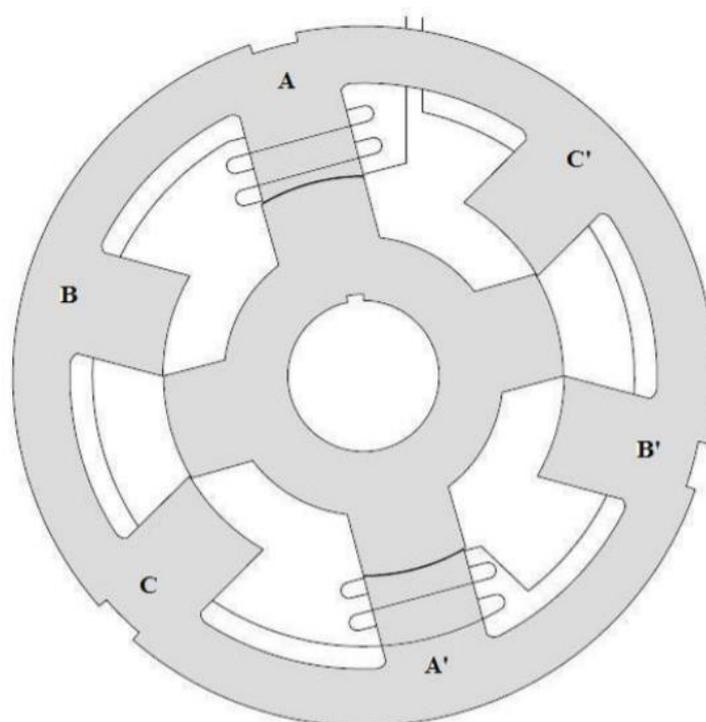
Fonte: Rocha *et al.*, 2012.

As 6 bobinas utilizam 3 fases que são chaveadas separadamente, ou seja, elas trabalham em pares. Bobinas com mesma fase e polarizações opostas são posicionadas a  $180^\circ$  entre si, sendo que o próximo par está posicionado a  $60^\circ$ . Isso produz um campo magnético, que, por sua vez, faz com que percorra um fluxo magnético.

Quando a Fase 1, por exemplo, é acionada e as Fases 2 e 3 estão desligadas, o par de dentes mais próximo às bobinas correspondentes à Fase 1 busca alinhar-se ao par de bobinas, de forma que o ângulo formado entre eles seja de  $0^\circ$ , ou o mais próximo a isso. Esse alinhamento causa a diminuição da relutância, o que permite que o fluxo magnético, que é gerado pelas bobinas, flua com a maior magnitude possível de uma bobina à outra, utilizando o rotor como núcleo (ROCHA *et al.*, 2012).

É possível notar que, quando as bobinas da fase 3 alinharem seu fluxo magnético com o par de dentes do rotor mais próximos, as bobinas das fases 2 e 1 estarão desalinhadas com o outro par de dentes do rotor. Isso é exatamente o esperado, pois é essencialmente o princípio de funcionamento de um motor à relutância variável. Assim que as bobinas da fase 3 terminam de alinhar o rotor, elas são desligadas, dando uma janela para que outro par de bobinas seja acionado, que, por sua vez, alinham-se com um dos pares de polos do rotor. Saber para qual sentido o rotor irá rotacionar depende da sequência de acionamento das fases que pode ser direta (1, 2, 3) ou inversa (1, 3, 2). A Figura 2 ilustra o que ocorre com os dentes do estator e do rotor que não se alinham enquanto uma fase está alinhada.

**Figura 3 – Alinhamento de fase**



Fonte: Andrade *et al.*, 2011.

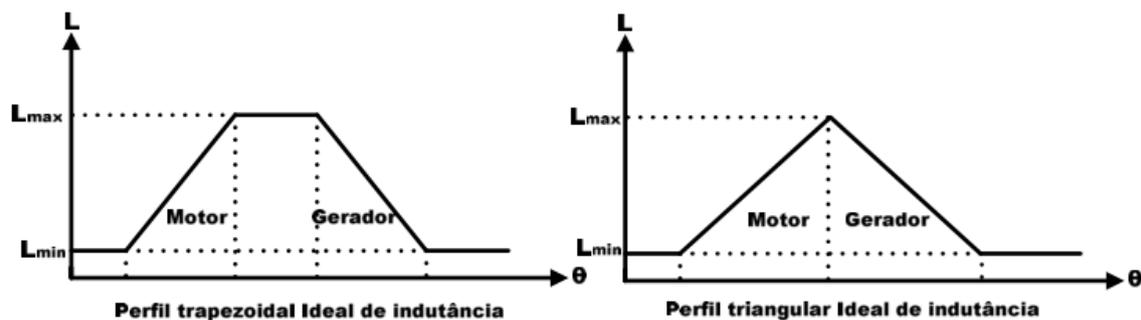
Este outro exemplo mostra que os polos do rotor ficam exatamente a  $90^\circ$  de distância entre si, enquanto as bobinas do estator ficam a uma distância angular de  $60^\circ$ , portanto a energia e o tempo necessários para que haja um deslocamento do rotor serão iguais, independentemente de qual será a próxima bobina acionada. Isso explica o porquê de a única diferença na sequência de acionamento de fases ser o sentido de rotação (OLIVEIRA, 2015).

## 2.1 PERFIL DE INDUTÂNCIA

Quando os polos de indutor estão maximamente alinhados com as bobinas do estator, o fluxo que percorre o rotor é máximo, dada as limitações da relutância e consequentemente a indutância também é máxima. Isso faz com que a relutância seja mínima, pois, evidentemente, a relutância é uma propriedade física de oposição à passagem de fluxo magnético (OLIVEIRA, 2015).

Há situações em que a indutância perde seu valor fixo. Essas situações ocorrem sempre que o eixo do rotor está com os pares de polos desalinhados com os pares de bobinas do estator. Este é o momento mais adequado para o acionamento das bobinas subsequentes. Se os arcos polares, isto é, as dimensões dos polos, possuírem o mesmo tamanho, a máxima indutância será obtida somente em um instante de tempo, todavia existe a possibilidade de os arcos polares do rotor serem maiores que os arcos polares do estator e vice-versa. Nesse caso, o perfil de indutância irá gerar um formato de curva trapezoidal. Em ambas as situações, o perfil de indutância mostra que, quando o nível de indutância começa a decair, o par de polos começa a ter a função gerador.

**Figura 4** – Perfis idealizados de indutância trapezoidal triangular



Fonte: Oliveira, 2015.

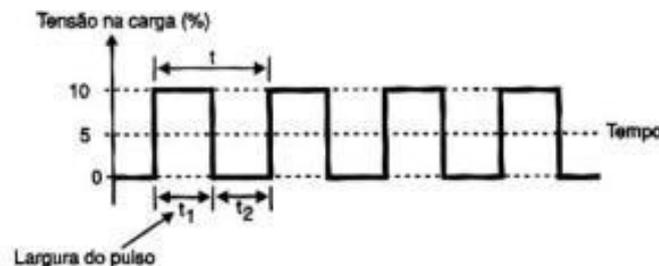
O perfil de indutância idealizado é um perfil didático que ilustra a variação da indutância conforme o rotor rotacional. É um perfil distante do real, porém é didático e fácil para se trabalhar com ferramentas computacionais (OLIVEIRA, 2015).

A Figura 4 representa com clareza que, quando existe uma disparidade de arcos polares entre o estator e o rotor, o momento máximo de indutância é estendido, visto que o alinhamento entre o par de polos e o par de bobinas é prolongado (OLIVEIRA, 2015).

## 2.2 O CONTROLADOR

Para a realização do controle, estima-se a utilização de um circuito que gere um sinal PWM em conjunto com um trio de MOSFET para o controle do motor. O PWM, ou seja, modulador de largura de pulso, tem como objetivo realizar alterações na forma de onda quadrada, definindo assim por quanto tempo a onda permanecerá em nível lógico alto como também baixo.

**Figura 5** – Tensão na carga x tempo.



Fonte: Ghirardelo, [s. d.].

Assim é o funcionamento de um PWM, varia-se a largura de pulso para controlar o sinal aplicado a uma carga, conseqüentemente a sua potência.

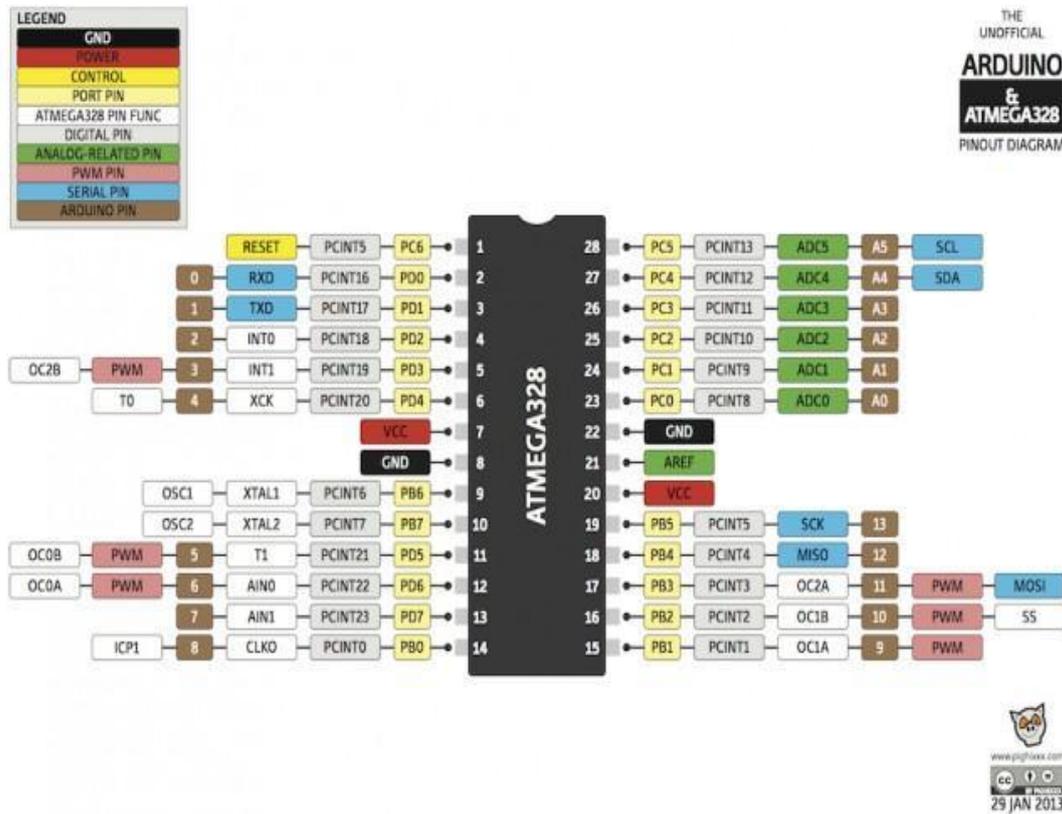
## 2.3 ATMEGA328P

O ATmega328P é um microcontrolador tipo chip único criado pela Atmel na família megaAVR. Possui uma memória de somente leitura programável e eletricamente apagável (EEPROM) e uma memória de somente leitura (RAM). Este microcontrolador necessita de oscilação externa para obter seu ciclo de *clock*. Normalmente, utiliza-se de um oscilador de cristal de quartzo que, ao ser excitado, vibra em até 16 milhões de vezes por segundo, dando assim uma referência para a frequência de trabalho (FERRONI, 2018).

O ATMEGA foi projetado para ser utilizado juntamente com um circuito auxiliar que serve para alimentar, oscilar e permitir a sua comunicação com outros dispositivos externos.

Este dispositivo possui diversas conexões digitais – que são conexões de entrada e saída, conexões analógicas – que normalmente são utilizadas para recepção de sinais analógicos, conectores de tensão – entrada e saída de tensões DC, um conector de referência (GND) e um RESET que reinicia o microcontrolador.

Figura 6 – Pinagem do ATMEGA328P



Fonte: Campos, 2015.

O microcontrolador é programado pelo Arduino através de um software específico chamado Arduino IDE, em que é possível realizar toda a parte lógica, fazer a verificação da programação e descarregar no microcontrolador.

### 3 METODOLOGIA

Para tanto, foi feita uma pesquisa detalhada para escolher a melhor configuração para a aplicação do ATMEGA328P. Uma boa aplicação de circuito de controle garante um melhor desempenho do circuito de potência, o qual será responsável por receber o sinal de controle e amplificá-lo, a fim de suprir a demanda do motor à relutância variável.

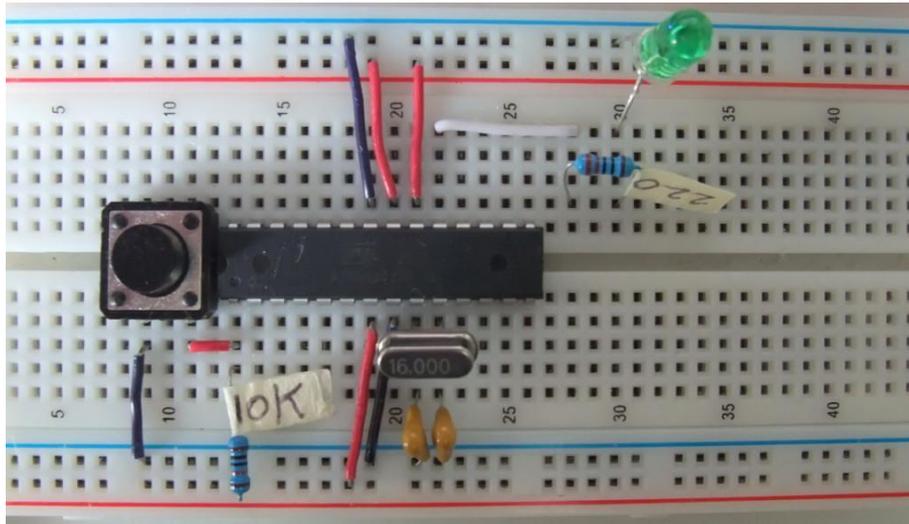
O início do desenvolvimento se deu através de uma pesquisa sobre a plataforma de controle mais difundida. Em posse das informações técnicas previstas do motor e informações de aplicações do ATMEGA328P, concluiu-se que uma abordagem prática necessitaria ser aplicada.

A utilização de poucas portas e a necessidade de se fazer um controle fechado e permanente indicaram que uma boa alternativa para aplicar a este trabalho seria o que

é chamado de *Arduino standalone*, que nada mais é que a confecção de um circuito auxiliar relativamente simples frente ao Arduino convencional. Os fatores que levam a essa utilização são diversos: menor uso de componentes, redução no preço dos componentes e eliminação de pinos inutilizados no projeto.

O *Arduino standalone* possui uma configuração circuital simples, como demonstrado na figura a seguir:

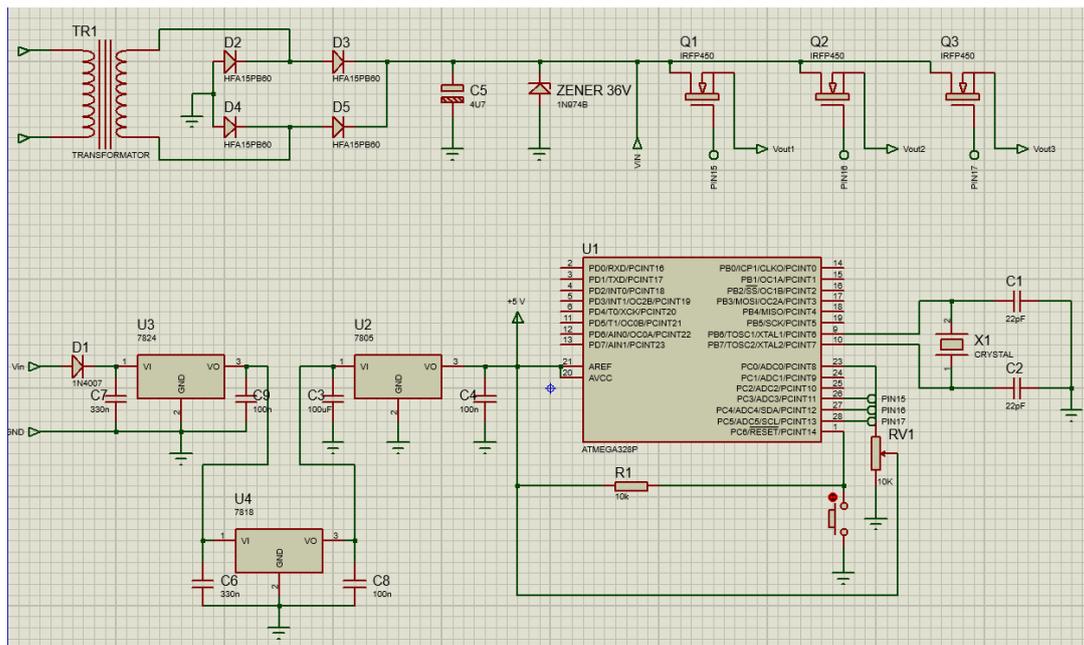
**Figura 7 – Arduino standalone em protoboard**



Fonte: <http://www.martyncurrey.com/arduino-on-a-breadboard/>, 2014.

O primeiro passo foi a tentativa de simulação. Utilizando-se do software Proteus, foi montado um esquemático inicial que demonstra o propósito do projeto.

**Figura 8 – Esquemático do circuito controlador**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Após adquirir informações prévias do motor, como tensão e potência nominal, foi possível desenvolver e dimensionar o circuito de potência de maneira correta. Foi montada uma fonte retificadora DC. Essa fonte disponibilizará 36 VDC para as chaves semicondutoras (MOSFET's).

A fonte utiliza um transformador de potencial de formato toroidal que reduz a tensão da rede para 50 VAC. É utilizada uma ponte retificadora de diodos com 4 terminais que entregam a corrente retificada; um capacitor de 2200 uF/100 V fica responsável por linearizar a corrente, enquanto um diodo zener de 36V reduz a tensão para a nominal do motor. Após isso, são utilizadas três chaves semicondutoras MOSFET's IRFP450, que chaveam o sinal do circuito de controle fornecendo uma corrente maior para a carga.

O circuito que alimenta o arduino é uma adaptação do circuito do Arduino *standalone*. Foram adicionados reguladores de tensão para aproveitar a tensão provinda da fonte retificadora DC. O microprocessador é alimentado com 5 VDC e manda 3 sinais PWM, que funcionam alternadamente entre si, para as chaves semicondutoras que, por sua vez, interpretam o sinal no seu terminal de *gate* e ligam ou desligam conforme o nível lógico em seu terminal de *gate*. Quando o nível lógico é alto, a chave conduz; quando o nível lógico é baixo, a chave desliga. Os três terminais de saída serão conectados ao motor, bem como o GND do circuito.

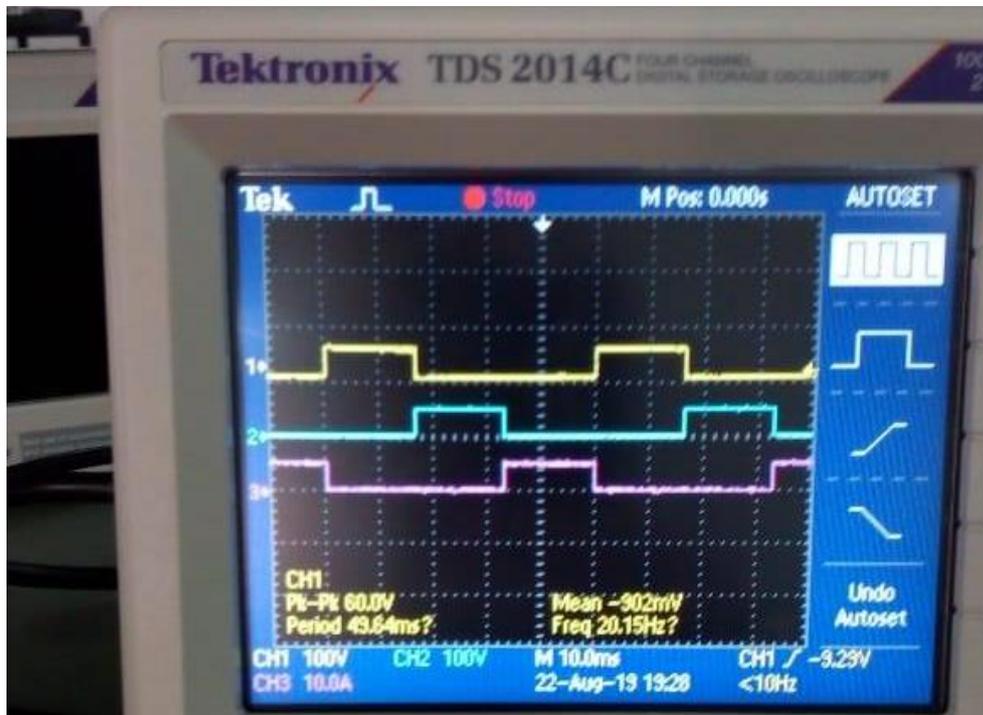
As chaves semicondutoras reproduzem a mesma forma de onda que receberem em seu terminal *gate*. Para formar 3 ondas PWM que se alternam no tempo, foi utilizada a plataforma de programação Arduino IDE para simular as formas de onda PWM.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as pesquisas, foi possível definir componentes e esquemas, assim como uma abordagem prática. Foi possível dimensionar e projetar o circuito esquemático do protótipo, porém ainda não foi possível realizar simulações específicas, pois a parte de simulação no software está em processo de aprendizagem. Porém, o próprio software auxiliou na escolha do modelo de MOSFET, pois foi feita uma busca no banco de dados do software.

Com os estudos acerca do microcontrolador, foi possível finalizar o circuito *standalone* e, conseqüentemente, determinar as demais conexões que, até então, eram desconhecidas para as necessidades do projeto. A última versão do esquemático está disponível na Figura 8.

A parte de programação foi trabalhada conforme os conhecimentos já adquiridos de programação desse tipo de microcontrolador e auxílio de informações no endereço eletrônico da própria fabricante. Foram testadas em uma matriz de contatos e aferidas as 3 saídas com o auxílio de um osciloscópio de 4 canais. O resultado pode ser conferido na Figura 9.

**Figura 9** – Aquisição dos sinais PWM do microcontrolador

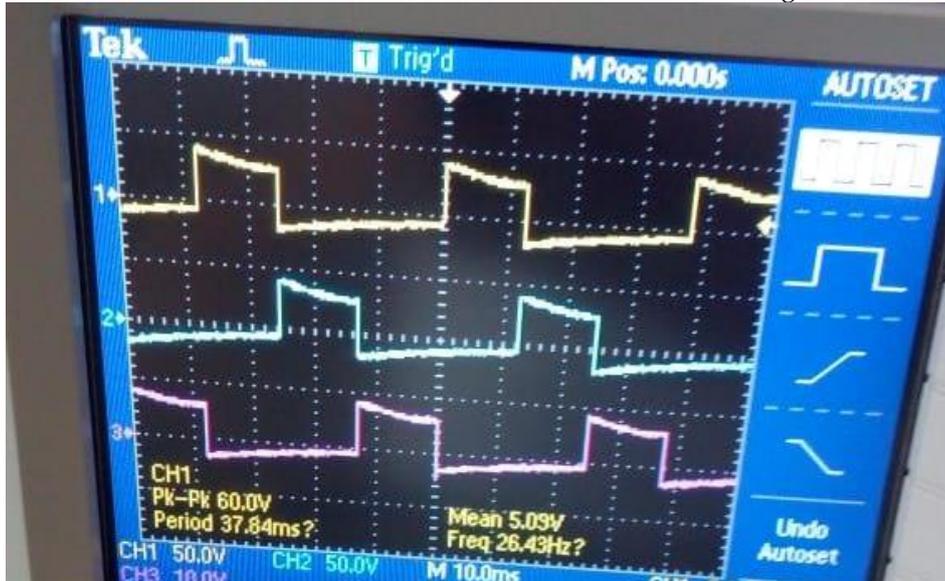
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Após isso, utilizou-se de um potenciômetro multivoltas conectado ao microcontrolador para realizar a variação da frequência das ondas PWM. Potenciômetro é alimentado com tensão de 5 V e sua saída conectada ao microcontrolador. Na programação, é feita uma transformação do valor do resistor para uma variável de tempo. Essa variável de tempo é transformada em valor de frequência e é alterado o número de ciclos de onda por minuto na saída.

A Figura 9 retrata o módulo de disparo operando a vazio, isto é, sem carga, porém, para se certificar de que este projeto será capaz de rotacionar um motor com carga, foi feita uma simulação de carga no dispositivo, apenas para tentar simular sua corrente próxima da nominal. Para isso, utilizou-se de cargas resistivas de potência. Foi medido o valor de corrente e as formas de onda no osciloscópio de 4 canais.

Porém, o sinal do microcontrolador foi ainda amplificado pelos MOSFETs e só então foi realizado o teste com carga. Nota-se que a figura abaixo representa as ondas geradas pelo sistema de acionamento amplificado por MOSFETs e com carga acoplada.

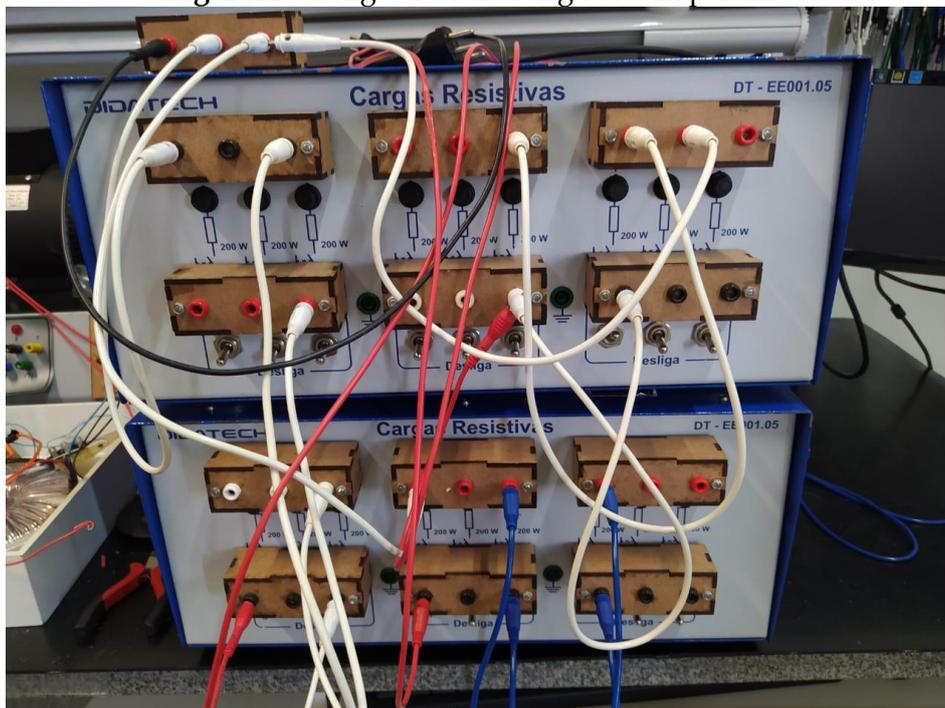
**Figura 10** – Sinal de tensão na saída do sistema de acionamento com carga resistiva acoplada



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

As cargas resistivas foram conectadas em paralelo com o intuito de diminuir a resistência equivalente e, assim, aumentar a potência demandada. Foram conectadas a cada fase 6 cargas resistivas de 257  $\Omega$ , todas conectadas em paralelo entre si, totalizando cerca de 42,83  $\Omega$  por fase. Todas as cargas foram conectadas com o terminal negativo do dispositivo. Portanto, a potência demandada por fase foi de 29 Watts. A Figura 11 mostra o esquema de ligação das cargas.

**Figura11** – Cargas resistivas ligadas em paralelo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Novamente, foram medidas as formas de onda de saída do equipamento no osciloscópio. Notou-se que não houve alterações quanto a distorções ou perdas de corrente, se comparadas com as formas de onda da Figura 9. Vale ressaltar que as cargas resistivas simulam a demanda de potência do motor.

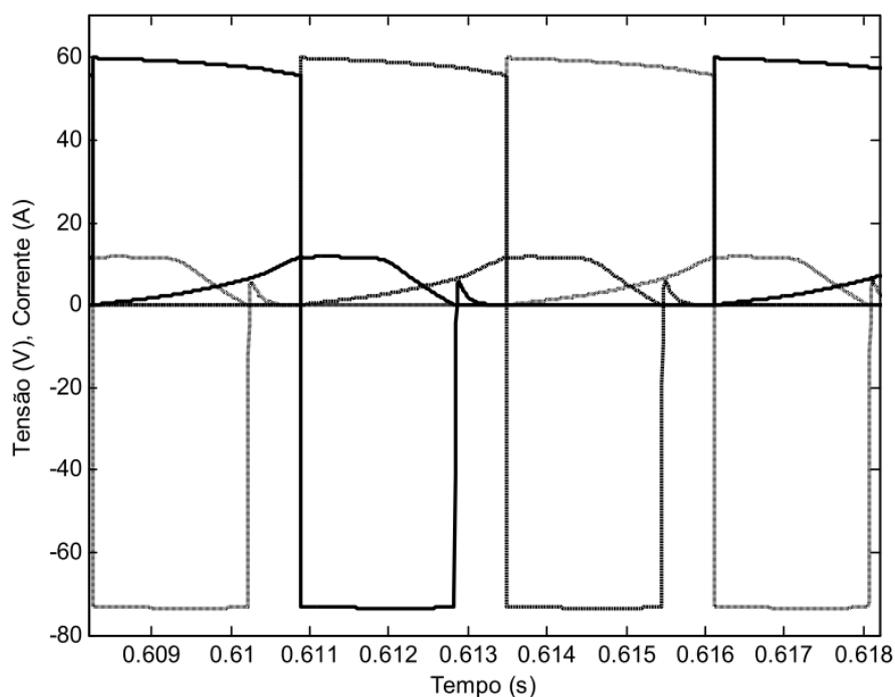
## 5 CONCLUSÃO

Após estudar e entender melhor o funcionamento dos microcontroladores, foi possível perceber que há uma vasta aplicabilidade em projetos. A esquematização do circuito lógico demandaria um maior tempo em relação à utilização do microcontrolador.

O microcontrolador ATMEGA328P consegue reproduzir de maneira eficiente o modelo de onda que o motor a relutância variável demanda para seu funcionamento. O circuito poderia ser aplicado diretamente ao motor, não fossem as limitações de corrente do microcontrolador. Diante disso, a aplicação dos conhecimentos de eletrônica de potência permitiu a utilização dos MOSFETs que, por se tratar de componentes não ideais, modificou ligeiramente as formas de onda de saída quando comparadas com as formas de onda advindas diretamente das portas do microcontrolador, porém sem comprometer sua funcionalidade.

Ocorreu um funcionamento satisfatório do equipamento quando comparamos a Figura 11 com o projeto de outros autores. O projeto da Figura 12 analisa as formas de onda de um GRC (gerador a relutância chaveada).

**Figura 12** – Dinâmica de funcionamento das três fases do GRC



Fonte: Oliveira, 2015.

Percebe-se que, apesar de valor diferentes de tensão, por se tratar de projetos diferentes, a dinâmica de acionamento de fases é a mesma. Portanto, apesar de utilizar métodos diferentes, foi possível chegar ao mesmo resultado e garantir a rotação do Motor a Relutância Variável.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. A. *et al.* Comparative study between a Single-phase and a Three-phase switched reluctance machine. **International Electric Machines and Drives Conference**, v. 1, n. 9, p. 1391-1396, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5994810>.

COELHO, Alexandre *et al.* Comparação de um gerador a relutância chaveado trifásico e um gerador a relutância chaveado monofásico. **Proceedings and Book of Abstracts**. Guaratinguetá: FUNDEB, 2011.

FERRONI, Eduardo Henrique *et al.* **A Plataforma Arduíno e suas aplicações**. 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Geovane/AppData/Local/Temp/14354-Texto%20do%20Trabalho-44895-1-10-20180522.pdf>.

GHIRARDELO, Ariovaldo. Curso Técnico em Eletrônica Eletrônica Industrial. **Apostila sobre Modulação PWM**. Prof. Ariovaldo Ghirardello. [s.d.].

PINTO, Nuno Miguel Fernandes. **Desenvolvimento do enrolamento estatórico de um motor de relutância variável**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - Automação e Electrónica) – Universidade Da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2010.

ROCHA, Fabiana *et al.* Modelo do motor a relutância variável com base na energia magnética armazenada. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - SBSE, 4., 2012, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia, 2012. p. 1-5. Disponível em: <http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/97038.PDF>.

OLIVEIRA, Eduardo Sylvestre Lopes de. **Sistemas inteligentes aplicados no controle e na obtenção de indutância de um gerador a relutância chaveado**. 2015. 148 f. Tese (doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

# Viabilidade de expansão da geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico no UNIPAM

## *Feasibility of expanding electricity generation through the photovoltaic system at UNIPAM*

**Lucas Feliciano Amâncio**

Graduando do curso de Engenharia de Elétrica (UNIPAM)

E-mail: [lucasfeliciano@unipam.edu.br](mailto:lucasfeliciano@unipam.edu.br)

**Wesley Pereira Marcos**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: [wesleypm@unipam.edu.br](mailto:wesleypm@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O presente trabalho teve como principal objetivo evidenciar a possibilidade de se expandir o sistema fotovoltaico presente no UNIPAM, fazendo com que houvesse uma maior geração de energia para suprir parte do consumo da instituição. Para isso, foram necessários cálculos para dimensionamento da potência necessária para o dado local, quantidade de módulos fotovoltaicos para o sistema, estimativa de tempo de retorno de um possível investimento para a situação, caso seja viável. Foi necessário também fazer um estudo da quantização das áreas disponíveis para implementação dos módulos, já que se precisava de áreas onde existisse um grande índice de insolação para grande eficiência do sistema e da geração de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico. Energia. Consumo.

**Abstract:** The present work had as main objective to show the possibility of expanding the photovoltaic system present in UNIPAM, causing a greater generation of energy to supply part of the institution's consumption. For this, calculations were necessary for dimensioning the power required for the given location, number of photovoltaic modules for the system, estimate of the return time of a possible investment for the situation, if feasible. It was also necessary to carry out a study of the quantization of the areas available for the implementation of the modules, since areas where there was a high level of sunlight for the great efficiency of the system and the generation of electricity were needed.

**Keywords:** Photovoltaic system. Energy. Consumption.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é algo que revolucionou o mundo e deu início a uma nova era de equipamentos e máquinas que foram sendo criados e aprimorados para melhorar cada vez mais a vida das pessoas. O estudo para que isso fosse possível ocorreu há

muitos anos: um homem chamado Thomas Edison teve várias ideias e invenções, e uma delas é bastante conhecida, que foi a invenção da lâmpada incandescente, que foi acesa pela primeira vez no dia 21 de outubro de 1879; depois de vários anos, foi estudada e, conseqüentemente, melhorada por um homem chamado Joseph Wilson Swan.

A lâmpada criada usava corrente contínua para seu funcionamento, que era de grande valia para a época, mas era um pouco limitada em questões de geração e transmissão de energia. Com isso, foram descobertos meios de se gerar a corrente alternada, por Nikola Tesla, que foi um grande inventor e pesquisador, que conseguiu aprimorar os métodos usados em relação à corrente elétrica.

Nos dias atuais, a utilização de energia elétrica já se tornou algo comum para todos, diferentemente da época de Nikola Tesla, devido à grande dificuldade de sua transmissão a todos e ao fato de que nem todas as pessoas tinham equipamentos para uso. Porém, graças à grande facilidade de uso desse benefício pelas pessoas no século XXI, torna-se cada vez mais preocupante a possível falta desse recurso no futuro.

Para a geração de energia elétrica, são necessárias usinas, como hidrelétricas, termoelétricas, eólicas e nucleares. Algumas delas usufruem dos meios naturais e, conseqüentemente, podem acabar se esgotando devido à grande demanda e ao desmatamento, que ocasionam grandes impactos ambientais e avanço do efeito estufa.

Torna-se necessário buscar formas alternativas de se gerar energia, para que não afete a natureza e traga problemas futuros para a sociedade. Uma opção que pode e que já vem sendo usada, mas com pouca frequência, é o uso de energia solar, que necessita basicamente do sol e de equipamentos adequados. O sol, independentemente de que se esteja captando ou não sua energia, não “sentirá” efeito; por isso, torna-se uma opção viável para a geração de energia. Se a energia do sol pudesse ser canalizada e captada por um único segundo, seria obtida energia suficiente para abastecer o Brasil por 9 mil anos (TAVARES, 2000).

O objetivo deste trabalho é mostrar e evidenciar a viabilidade de se usar a energia solar por causa da escassez de recursos de alguns meios, usando, como base de análise, o Centro Universitário Patos de Minas (UNIPAM), que já implantou o recurso de obtenção de energia, mas que, até o momento, é usado principalmente para estudos no curso de Engenharia Elétrica. Há 250 placas fotovoltaicas, das quais 240 são usadas tanto para estudo quanto para economia dos valores pagos de energia na instituição, e 10 são usadas, exclusivamente por alunos e funcionários, para estudo, trabalhos de conclusão de curso, congressos, dentre outros afins.

Além da possibilidade de poder estudar e analisar estatisticamente a eficiência de se usar essa forma de energia alternativa no UNIPAM, outro objetivo deste trabalho é mostrar, com dados e valores, a possibilidade de se expandir essa miniusina fotovoltaica para os blocos da instituição. Essa miniusina está presente apenas no terraço do Bloco I, pois os laboratórios de Engenharia Elétrica se encontram no quarto e último piso desse bloco. Há um funcionário responsável pela coleta de dados e pelo uso do local.

A cidade de Patos de Minas, onde se localiza o UNPAM, é considerada um bom local para se produzir energia fotovoltaica. Como a instituição já tem uma pequena produção, o que já contribui para uma pequena economia, implementar o sistema fotovoltaico em todos os blocos do *campus* seria de grande impacto para a redução de

gastos. Dependendo da viabilidade e dos recursos, poderia suprir toda a demanda energética que é gasta mensalmente.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

A energia solar é um tipo de energia que está sendo estudada, para o aprimoramento e melhoria da forma de sua geração, pois, em comparação com as demais formas de energia usuais, ela é considerada uma novidade. Pode trazer grandes economias, mas, para isso ocorrer, é necessário que seja feito um grande investimento. Com o decorrer do tempo, o valor investido pode trazer um bom retorno ao investidor, mas nem todos consideram essa possibilidade como uma oportunidade econômica para sua casa ou comércio. Alguns acreditam que não é tão viável, optando então por não usarem esse meio.

As implementações das células fotovoltaicas estão ocorrendo em uma pequena escala, sendo usadas até para a alimentação energética de alguns grandes edifícios, como a sede do Greenpeace em São Paulo. (GOLDEMBER, 2008).

Existem duas formas de se produzir energia usando o sistema fotovoltaico. O sistema off-grid é aquele que é isolado, independente, produz energia e, enquanto não está sendo consumida, é armazenada em baterias. Já o sistema on-grid é ligado à rede, e a concessionária tem um controle da quantidade produzida e da quantidade utilizada. Sendo assim, independentemente da produção de energia, o usuário paga pelo que consumir mensalmente. A concessionária usa o valor gerado e abate no valor consumido, caso o usuário produza mais que consuma, ele passa a ter um crédito com a concessionária referente ao valor que ele não consumiu em relação à sua produção. Crédito que atualmente fica armazenado por 5 anos e será abatido gradativamente caso não seja usado. É devolvido no período noturno e em dias chuvosos, quando a incidência solar é menor, e, conseqüentemente, menor geração. Portanto, os sistemas que são conectados à rede não contam com baterias para armazenamento de carga, fazendo com que haja produção somente no período do dia (MARQUES *et al.*, 2009).

O sistema *on-gride* é o mais usual devido à sua maior facilidade de instalação e à sua eficiência, já que, caso ocorra de a geração de energia, em um determinado momento, ser pouca ou muito alta, o cliente pode usar normalmente a da rede. Já no outro sistema, ele não pode depender da rede, pois possui um sistema isolado.

Neste trabalho, esse modelo mais comum foi utilizado para pesquisas e usado como base para se tentar obter bons resultados. Como a instituição visa à preservação do meio ambiente, adaptar um sistema que usa baterias não é ideal. Graças à grande quantidade de energia que pode ser gerada, seria necessário um banco de baterias muito grande e que, após sua vida útil, elas devem ser descartadas; devido a seu grande tamanho, o descarte acaba sendo difícil e prejudicial ao meio ambiente. Até o ano de 2050, devido à produção de energia solar, a América poderá decretar o fim da grande dependência do petróleo estrangeiro e reduzir as grandes emissões de gases de efeito estufa (ZWEIBEL *et al.*, 2008).

No Brasil, existe uma legislação restrita sobre o tema e uma tributação elevada, dificultando a ampliação e a capacidade dessa geração de energia, mas deverá ser mais explorada devido ao grande potencial (LUIZ; SILVA, 2017).

### 3 METODOLOGIA

O projeto envolve muitos cálculos para chegar aos valores necessários e estimativos do trabalho, pois são utilizados muitos valores médios, que podem não ser tão precisos quanto esperados. A finalidade é o estudo da viabilidade de implementação do sistema fotovoltaico. Se for possível mostrar que a pesquisa é viável, já é de grande valia.

Para início do processo, foi feita uma solicitação à contabilidade da instituição, pedindo as tarifas de energia do ano de 2018, para que se pudessem ter os dados necessários, como o valor mensal pago e o consumo mensal em kWh (Quilowatt-hora), e para que assim pudesse ser analisado o quanto um futuro sistema fotovoltaico teria que produzir de energia.

Após alguns dias, a solicitação foi respondida e concluída. Foram cedidas as tarifas de energia de julho a dezembro de 2018. Foram utilizados os valores pagos mensalmente dos seis meses para se obter uma média, que se deu da seguinte forma:

**Tabela 1 – Consumo de energia elétrica do UNIPAM  
Talões UNIPAM 2/2018**

Mês	Valor	KWh
Julho	45559,64	122413
<b>Agosto</b>	<b>57345,21</b>	<b>169496</b>
Setembro	55777,00	172841
Outubro	70713,37	203504
Novembro	63536,03	170832
Dezembro	49600,15	144813
Média	57088,57	163983,17

Fonte: Contabilidade do UNIPAM, 2019.

A média encontrada foi de R\$57088,57. No entanto, o valor obtido é bem próximo do valor pago em agosto de 2018, por isso foi utilizado para cálculos o oitavo mês do ano como base do projeto, afinal é uma média para viabilidade, e o mês escolhido tem valor superior a média, podendo então trazer resultados até melhores que a média, já que é um mês com 31 dias e de início de aulas no semestre.

VIABILIDADE DE EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
 ATRAVÉS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NO UNIPAM

Julho e dezembro são meses de férias, podendo ter feito com que a média fosse baixa. Em outubro, percebeu-se um valor elevado, R\$70713,37, ficando evidente que pode ocorrer de o consumo variar bastante em alguns meses.

Há projetos em que os cálculos usados são com a média do consumo em kWh e não do valor pago, geralmente quando o projeto é para uma residência ou empresa prestadora de serviços ou venda. O autor optou por utilizar o valor pago, pois a facultade sempre tem um consumo muito maior no período da noite, já que há uma maior quantidade de alunos e de aulas.

A pesquisa poderia ter utilizado as médias calculadas, mas, possivelmente, haveria uma diferença mínima, sendo pouco considerável. Outro ponto que pode ser observado é que, em alguns meses, o consumo é maior, produzindo mais energia que a calculada na média; mesmo nos meses com grande consumo, também há grande geração.

Portanto, foi usado o valor pago como base, mas apenas como média, pois é necessário o valor de consumo para cálculos de quantidade de energia necessária a ser produzida. O mês de agosto possui um consumo de 169496kWh. Esse valor foi obtido através da soma do consumo em horário de pico e do horário fora de pico. Segue abaixo uma imagem do talão utilizado.

Figura 1 – Talão de energia FEPAM

		Acesse o Cemig Atende www.cemigatende.com.br																																																							
Cemig Distribuição S.A. CNPJ 05.061.105/0001-16 / Ins. Estadual 068.902108-0/007 Av. Belizário, 1.302 - 11º andar - Ala A1 - CEP 30108-101 - São Horácio - MG		Emergências: 0800 723 2827 Tabela Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002																																																							
FUNDAÇÃO EDUC DE PATOS DE MINAS RUA MAJOR GOTE 791 EL CENTRO 38700-001 PATOS DE MINAS, MG CNPJ 23.354.848/0001-14		Nº DO CLIENTE <b>7000042755</b>	Nº DA INSTALAÇÃO <b>3013094874</b>																																																						
		Referente a <b>AGO/2018</b>	Vencimento <b>14/09/2018</b>																																																						
		Valor a pagar (R\$) <b>57.345,21</b>																																																							
NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº013606752 - PTA Nº16.000114527,70																																																									
Classe Comercial	Subclasse Outros Serviços e Outras Ativ	Modalidade Tarifária TUSD Livre A4 Verde	Data de Emissão 06/09/2018																																																						
Informações de faturamento																																																									
Desconto 06/2018 de 49,94% ajustado para 49,58%.																																																									
Informações Gerais		Valores Faturados																																																							
Aplicado desconto de 49,58%. Tarifa vigente conforme Res Anual nº 2.396, de 23/05/2018. ICMS aplicado conforme Lei nº 21.789/15. Pela legislação tributária, os descontos a que se refere o Decreto Federal 7.891/13 também integram a base de cálculo do ICMS, PASEP e COFINS. AGENTE DE RELACIONAMENTO GERALDO H. SILVA E-MAIL: ghsilva@cemig.com.br		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço</th> <th>Valor(R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Componente Fio kW HFP</td> <td>1.000</td> <td>20,54929577</td> <td>20.549,28</td> </tr> <tr> <td>Componente Encargo kWh HFP</td> <td>141.082</td> <td>0,09535211</td> <td>13.452,45</td> </tr> <tr> <td>Componente Encargo kWh HP</td> <td>28.414</td> <td>1,59647887</td> <td>45.352,33</td> </tr> <tr> <td>Energia Reativa kWh HFP/Unico</td> <td>146</td> <td>0,37747887</td> <td>55,08</td> </tr> <tr> <td>Energia Reativa kWh HP</td> <td>2</td> <td>0,37358517</td> <td>0,73</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>Encargos/Cobranças</b></td> </tr> <tr> <td>Ajuste de Desconto C. Enc HP</td> <td></td> <td></td> <td>94,62</td> </tr> <tr> <td>Ajuste de Desconto C. Fio HFP</td> <td></td> <td></td> <td>52,50</td> </tr> <tr> <td>Contribuição Pública Municipal</td> <td></td> <td></td> <td>26,09</td> </tr> <tr> <td colspan="4"><b>Abatimentos e Devoluções</b></td> </tr> <tr> <td>Desconto Comp. Encargo HP</td> <td></td> <td></td> <td>-15.014,31</td> </tr> <tr> <td>Desconto Comp. Fio HFP</td> <td></td> <td></td> <td>-7.233,56</td> </tr> </tbody> </table>		Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)	Componente Fio kW HFP	1.000	20,54929577	20.549,28	Componente Encargo kWh HFP	141.082	0,09535211	13.452,45	Componente Encargo kWh HP	28.414	1,59647887	45.352,33	Energia Reativa kWh HFP/Unico	146	0,37747887	55,08	Energia Reativa kWh HP	2	0,37358517	0,73	<b>Encargos/Cobranças</b>				Ajuste de Desconto C. Enc HP			94,62	Ajuste de Desconto C. Fio HFP			52,50	Contribuição Pública Municipal			26,09	<b>Abatimentos e Devoluções</b>				Desconto Comp. Encargo HP			-15.014,31	Desconto Comp. Fio HFP			-7.233,56		
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)																																																						
Componente Fio kW HFP	1.000	20,54929577	20.549,28																																																						
Componente Encargo kWh HFP	141.082	0,09535211	13.452,45																																																						
Componente Encargo kWh HP	28.414	1,59647887	45.352,33																																																						
Energia Reativa kWh HFP/Unico	146	0,37747887	55,08																																																						
Energia Reativa kWh HP	2	0,37358517	0,73																																																						
<b>Encargos/Cobranças</b>																																																									
Ajuste de Desconto C. Enc HP			94,62																																																						
Ajuste de Desconto C. Fio HFP			52,50																																																						
Contribuição Pública Municipal			26,09																																																						
<b>Abatimentos e Devoluções</b>																																																									
Desconto Comp. Encargo HP			-15.014,31																																																						
Desconto Comp. Fio HFP			-7.233,56																																																						
Histórico de Consumo		Base de cálculo (R\$)																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mês/Ano</th> <th>Demanda(kW)</th> <th>Energia(kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AGO18</td> <td>527</td> <td>28.414</td> </tr> <tr> <td>SET18</td> <td>430</td> <td>16.762</td> </tr> <tr> <td>OUT18</td> <td>554</td> <td>24.575</td> </tr> <tr> <td>NOV18</td> <td>507</td> <td>25.356</td> </tr> <tr> <td>DEZ18</td> <td>655</td> <td>31.307</td> </tr> <tr> <td>JAN19</td> <td>755</td> <td>33.833</td> </tr> <tr> <td>FEB19</td> <td>637</td> <td>25.403</td> </tr> <tr> <td>MAR19</td> <td>354</td> <td>13.304</td> </tr> <tr> <td>ABR19</td> <td>474</td> <td>17.252</td> </tr> <tr> <td>MAY19</td> <td>591</td> <td>31.000</td> </tr> <tr> <td>JUN19</td> <td>667</td> <td>29.382</td> </tr> <tr> <td>JUL19</td> <td>618</td> <td>28.704</td> </tr> <tr> <td>AUG19</td> <td>575</td> <td>29.577</td> </tr> </tbody> </table>		Mês/Ano	Demanda(kW)	Energia(kWh)	AGO18	527	28.414	SET18	430	16.762	OUT18	554	24.575	NOV18	507	25.356	DEZ18	655	31.307	JAN19	755	33.833	FEB19	637	25.403	MAR19	354	13.304	ABR19	474	17.252	MAY19	591	31.000	JUN19	667	29.382	JUL19	618	28.704	AUG19	575	29.577	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Base de cálculo (R\$)</th> <th>Alíquota (%)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ICMS</td> <td>75,419,87</td> <td>23,00</td> </tr> <tr> <td>PASEP</td> <td>75,419,14</td> <td>0,74</td> </tr> <tr> <td>COFINS</td> <td>75,419,87</td> <td>3,26</td> </tr> </tbody> </table>		Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)	ICMS	75,419,87	23,00	PASEP	75,419,14	0,74	COFINS	75,419,87	3,26
Mês/Ano	Demanda(kW)	Energia(kWh)																																																							
AGO18	527	28.414																																																							
SET18	430	16.762																																																							
OUT18	554	24.575																																																							
NOV18	507	25.356																																																							
DEZ18	655	31.307																																																							
JAN19	755	33.833																																																							
FEB19	637	25.403																																																							
MAR19	354	13.304																																																							
ABR19	474	17.252																																																							
MAY19	591	31.000																																																							
JUN19	667	29.382																																																							
JUL19	618	28.704																																																							
AUG19	575	29.577																																																							
Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)																																																							
ICMS	75,419,87	23,00																																																							
PASEP	75,419,14	0,74																																																							
COFINS	75,419,87	3,26																																																							
Código de Débito Automático <b>008057933015</b>		Instalação <b>3013094874</b>	Vencimento <b>14/09/2018</b>																																																						
Total a pagar <b>R\$ 57.345,21</b>		Agosto/2018																																																							

Fonte: Contabilidade do UNIPAM, 2019.

A soma foi dada por 28414(horário de pico) com 141082(horário fora de pico). A energia consumida é dada em kWh, em que é utilizada a potência consumida multiplicada pelo tempo de consumo, em horas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de energia consumida mensalmente é a quantidade de energia que se quer gerar com o sistema. Para saber qual o tamanho do sistema, a energia gerada tem que ser igual à potência dos painéis utilizados multiplicando-se pelo tempo que eles irão trazer geração de energia, ou seja, o tempo de exposição ao sol, já que esse tipo de sistema só gera energia durante o dia.

$$\text{Energia}_{\text{Geração}} = \text{Potência Total}_{\text{Painéis}} \times \text{Tempo}_{\text{Exposição}}$$

Como o intuito desta pesquisa é descobrir qual a potência necessária para se produzir a energia consumida, essa é uma variável a ser descoberta, portanto, algebricamente pode-se isolar a potência de um lado da expressão igualando a energia dividida pelo tempo, da seguinte forma:

$$\frac{\text{Energia}_{\text{Geração}}}{\text{Tempo}_{\text{Exposição}}} = \text{Potência Total}_{\text{Painéis}}$$

No entanto, mesmo utilizando o tempo de exposição correto, foi necessário levar em consideração que, no processo de geração, existem perdas de energia. Para que o cálculo seja o mais próximo possível da realidade, foi acrescentado à fórmula o rendimento do sistema, para que não houvesse uma geração menor do que a esperada.

Geralmente, o rendimento utilizado por engenheiros e técnicos especialistas no ramo varia entre 75 e 85 por cento. Para este caso, foi adotado o valor de 80%, pois, em todo sistema elétrico, há perdas, e elas devem ser contabilizadas. Dessa forma, foi utilizada a seguinte fórmula, onde  $\eta$  é o rendimento.

$$\frac{\text{Energia}_{\text{Geração}}}{\text{Tempo}_{\text{Exposição}} \times \eta_{\text{Rendimento}}} = \text{Potência Total}_{\text{Painéis}}$$

Pode-se concluir que os valores de energia de geração e o de rendimento já foram definidos, restando apenas o tempo de exposição, para que fosse possível descobrir a potência total. Para isso, como a cidade onde fica situada a instituição é Patos de Minas, foi necessário saber quantas horas de sol há na cidade, para saber qual é o tempo de insolação que poderia existir na placa.

Para obter esse valor, utilizou-se do site CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica; foram usados os valores de longitude e latitude da cidade citada anteriormente, e o site informa o tempo de exposição médio anual. Para este caso, é de 5,35 horas por dia.

Como foi usado o tempo médio diário de exposição, a potência utilizada no telhado foi dividida por 30, simbolizando consumos diários. Antes de fazer a divisão, foram subtraídos 100 do valor total, pois existe um valor mínimo pago para utilização da rede, que é dado como 30kWh para sistemas monofásicos, 50kWh para bifásicos e 100kWh para trifásicos. Por isso, foi usado o valor 100 na subtração, pois é um sistema trifásico.

Portanto, para direcionar os cálculos e não parecer tão complexo, o valor foi dado por:

$$\frac{(169496-100) \text{ kWh}/30\text{dias}}{5,35 \times 0.8} = \text{Potência Total Painéis}$$

Resultando em:

$$\frac{5646,53}{4,28} = \text{Potência Total Painéis}$$

Portanto, a potência total dos painéis tem que ser de 1319,3kWp. Dado a isso, foi obtido o valor total. Foi preciso saber a quantidade de placas necessárias, que é de fato a parte mais simples, precisando apenas dividir o valor total pelo valor de geração de cada placa. Nesse caso, foi utilizada a placa de 320W, por opção dos autores para o dimensionamento, mas pode ser mudada.

Portanto, fazendo a simples divisão, foi obtido o resultado no valor de 4123, que seria, então, a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para suprir, em média, a energia consumida no UNIPAM.

A placa que foi utilizada para cálculos tem as seguintes dimensões: 1,95x1,0 em metros. Para que exista a geração de toda essa energia calculada, é necessário que exista uma grande área disponível para instalações das placas.

No UNIPAM, existe uma grande área em desuso, que são os tetos de vários blocos da faculdade, que podem ser usados para instalação desse possível sistema fotovoltaico. Para estudo de viabilidade, foi necessário fazer um levantamento para obter a área disponível citada, para saber se é possível utilizá-la ou não.

A área em desuso poderia ter sido solicitada ao departamento responsável pela construção ou manutenção dos blocos da instituição ou os autores da pesquisa poderiam tê-la medido. No entanto, isso não foi necessário, pois há programas e sites que já fazem isto, os quais ajudaram bastante na continuidade da pesquisa.

O site utilizado foi o CalcMaps, por meio do qual possível calcular a área dos terraços e os perímetros. Os valores encontrados podem variar com os reais, pois o método utilizado pode não ser tão preciso, e quem direciona o local onde será medido é

o usuário. Podia acontecer, então, de vários valores não serem tão precisos, mas, para este trabalho, o importante foi saber se havia uma área relativamente grande que pudesse abrigar todo esse sistema. Caso isso fosse possível, os valores, mesmo sendo um pouco discrepantes, não iriam interferir mais no projeto, mas sim se não existisse a área necessária.

Com os valores encontrados, foi elaborada uma tabela, para que pudesse ser separados os diferentes locais e, no final, uma soma do total. Há locais maiores e outros menores, fazendo com que, em alguns locais, caiba uma parte satisfatória do sistema e, em outros, não, dando viabilidade de instalação para diferentes locais.

**Tabela 2 – Áreas dos tetos dos blocos do UNIPAM**

<b>Medições do tamanho dos blocos do UNIPAM</b>		
<b>Local</b>	<b>Área média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro médio (m)</b>
Bloco A	858	158
Bloco C	1443	192
Bloco D	1610	207
Bloco E	1403	174
Bloco F	1826	210
Bloco G	1490	184
Bloco H	1658	183
Bloco J	813	171
Bloco L	4240	270
Bloco M	2437	206
Bloco N	1557	176
Biblioteca	1335	178
<b>Área Total</b>	<b>20670</b>	<b>2309</b>

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Sabendo que cada placa tem 1,95m por 1,0m, foram efetuados os cálculos, identificando que a área necessária para essa grande instalação era de 8039,85m<sup>2</sup>. Foi possível concluir que, já que a área total é de 20670 m<sup>2</sup> em média, a área necessária é bem inferior à encontrada.

Portanto, os cálculos e medições foram feitos buscando evidenciar que existia uma grande área a ser utilizada na instituição e que o sistema fotovoltaico poderia gerar grande parte da energia consumida. Mas para isso seria necessário fazer um levantamento financeiro, para se concluir se era viável para a instituição ou não fazer o investimento.

## VIABILIDADE DE EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO NO UNIPAM

Para entrar nos valores necessários para finalizar a pesquisa, foi necessário entrar em contato com diversas empresas que trabalham com sistemas fotovoltaicos. Na cidade de Patos de Minas, há várias empresas no ramo, portanto uma recebeu muito bem o projeto, dando total apoio ao que fosse necessário, chamada de ILUMISOL Energia Solar.

Os cálculos feitos buscavam chegar a valores necessários para suprir a demanda energética no UNIPAM. Para os valores encontrados por cálculos, seriam necessários 4123 módulos fotovoltaicos de 320W. A Ilumisol conseguiu disponibilizar um orçamento com 2964 módulos de 410W, com um valor bem menor de placas fotovoltaicas, porém com uma placa de potência bem mais elevada, o que fez com que se diminuísse a diferença de potência total do sistema encontrada.

O valor de potência escolhido como 320W foi simplesmente uma escolha dos autores por ser mais comum de ser utilizado, mas a empresa solicitada não trabalhava com o suposto valor naquele momento, no entanto substituiu por um valor maior de potência.

Com a implementação dessa quantidade citada acima, a empresa disponibilizou todos os equipamentos e materiais necessários para a instalação, como a mão de obra para execução e transformadores para o sistema.

Figura 2: Itens e equipamentos para a composição do projeto



### COMPOSIÇÃO DO PROJETO

Com base nas informações fornecidas e dados obtidos por meio de cálculos, o sistema proposto para o local é composto dos seguintes itens e equipamentos:

Item	Qtde
HIKU CANADIAN 410W POLY-PERC	2964
ABB UNO-DM-6.0-TL-PLUS-SB-G	151
STRING BOX	Incluso
CABO SOLAR 6MM < PRETO	Incluso
CABO SOLAR 6MM < VERMELHO	Incluso
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	Incluso
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	Incluso
JUNÇÃO PARA PERFIL DE ALUMÍNIO	Incluso
ESTRUTURA DE ALUMÍNIO ADEQUADO AO TELHADO	Incluso
MATERIAL ELÉTRICO	Incluso
SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA	Incluso
PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO	Incluso
ART DE PROJETO E EXECUÇÃO	Incluso
ACOMPANHAMENTO JUNTO À DISTRIBUIDORA	Incluso
MONITORAMENTO DO SISTEMA VIA WEB	Incluso

Obs: Está incluso o transformador nas redes em que a concessionária fornecer rede monofásico 220V e o trifásico 380V.

Fonte: ILUMISOL Energia Solar, 2019.

Portanto, com os valores da quantidade de módulos e a de inversores que são necessários definidos, foi possível encontrar o valor total do investimento. O valor necessário para implementação do sistema foi de R\$ 6.218.304,40 (seis milhões, duzentos e dezoito mil, trezentos e quatro reais e quarenta centavos).

O valor citado é um investimento muito alto, mas poderá ter um retorno rápido, já que o consumo de energia elétrica no local é muito elevado. As placas fotovoltaicas têm uma garantia de 25 anos produzindo com até 83% do seu rendimento, no entanto não significa que o rendimento irá chegar a esse valor, pois existem casos onde demoram até 40 anos para isso ocorrer.

Como o tempo de durabilidade do sistema é muito longo, após alguns anos o investimento feito terá um retorno e, a partir desse momento, como o sistema já terá sido pago e a energia consumida será gerada, a fatura de energia poderá ser relativamente pequena. A fatura não será totalmente zerada, já que existem diversas taxas a serem pagas de toda forma e, como o consumo varia muito durante os meses, podem existir meses em que a geração seja bem menor que o consumo, gerando débito a ser pago. Como também podem existir meses em que o consumo seja bem baixo e a geração seja alta, podendo trazer descontos para os próximos meses.

O cálculo do tempo de retorno é dado pela própria empresa que faz o orçamento total, no entanto foi repassado que, em até 4 anos, será possível ter pagado o valor investido, fazendo com que, após esse período, a fatura de energia seja apenas um dos menores problemas para a instituição, que estará gerando sua própria energia.

## 5 CONCLUSÃO

A pesquisa buscou evidenciar a possibilidade da implementação de um sistema fotovoltaico no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foi calculada a potência do sistema e a quantidade de placas necessárias. Após concluir a parte de cálculos e dimensionamentos, foi possível encontrar uma empresa parceira para auxiliar neste estudo da viabilidade.

Foi possível concluir que o sistema é de grande valia, pois, após fazer o investimento, a instituição, como foi citado, pode diminuir, em alguns anos, drasticamente o valor pago nas faturas de energia, fazendo com que seja uma dívida a menos por mês, trazendo uma grande economia que a ser revertida em uma melhoria nos cursos, na infraestrutura do *campus*, dentre outros investimentos.

Para que seja possível a instalação do sistema, por ser um sistema gigante de geração de energia, seria necessário que o UNIPAM alterasse sua demanda contratada, pois só pode ser gerado pelo próprio consumidor um valor igual ou inferior à sua demanda contratada, que, no caso estudado, a demanda contratada é bem baixa, sendo necessário ser feita esta alteração.

A definição da demanda contratada pela instituição não era um dos focos do trabalho, já que é algo que não depende somente de um projeto de pesquisa, mas sim de fatores tanto do consumidor, quanto da concessionária de energia. Portanto, caso seja

alterado para a instalação do sistema fotovoltaico estudado, seria algo muito significativo para economia de energia, como também de grande importância para o meio ambiente, por ser um sistema que gera energia limpa e sem poluentes.

Há, na sociedade, um percentual muito pequeno de implantação do sistema fotovoltaico. Caso o UNIPAM adotasse o sistema, outras instituições e muitas pessoas poderiam buscar conhecimento sobre o esse tipo de geração de energia, já que uma empresa grande como a referida não faria um grande investimento em vão. Com isso, pode se tornar um exemplo não só para moradores da cidade de Patos de Minas, como também para toda a região. A instalação do sistema fotovoltaico em residências e instituições, como no caso do UNIPAM, pode contribuir para a conservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

GOLDEMBER, J. Potencialidades da energia solar no Brasil. **Scientific American Brasil** [online], 2008.

LUIZ, Beatriz; SILVA, Thamires. Energia fotovoltaica: um retrato da realidade brasileira. **INOVAE**, São Paulo, v. 5. 2017.

MARQUES, Rubéria; KRAUTER, Stefan; LIMA, Lutero. Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia. **Tecnol. Fortaleza**, v. 30. 2009.

MUNDO educação. **As lâmpadas de Edison**. Disponível em:  
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/curiosidades/as-lampadas-edison.htm>.

TAVARES, M. Aprendendo sobre o Sol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, v. 22. 2000.

ZWEIBEL, Ken; MASON, James; FTHENAKIS, Vasilis. Perspectivas para a energia solar. **Scientific American Brasil**, 2008.

# Análise da incorporação de fibra de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) como aditivo em argamassa

*Analysis of the incorporation of fiber from cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) as additive in mortar*

**Mônica Fernandes Caetano**

Graduanda do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: monicafernandes@unipam.edu.br

**Victória Pereira dos Santos**

Graduanda do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: victoriaps@unipam.edu.br

**Eduardo Pains de Moraes**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: eduardopm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Nos últimos anos, o crescente estudo de novos materiais com bom desempenho e baixo custo tem levado à utilização de fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas, normalmente empregadas como reforço em compósitos. Pelo alto teor de fibras, optou-se por utilizar os resíduos da polpa de cupuaçu, que é uma espécie em expansão, principalmente nos estados da Região Norte. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade de fibras obtidas do resíduo de cupuaçu como aditivo em corpos de prova cimentícios bem como observar a interferência da adição e fibras sobre as propriedades mecânicas desse material, a fim de apontar uma nova alternativa para a disposição deste resíduo. O estudo fez a investigação dos ensaios do índice de consistência em massa fresca, determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, índice de absorção de água por capilaridade e determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.

**Palavras chaves:** Argamassa. Cupuaçu. Fibras Vegetais. Aditivo Cimentício.

**Abstract:** In recent years, the growing study of new materials with good performance and low cost has led to the use of vegetable fibers to replace synthetic fibers, normally used as reinforcement in composites. Due to the high fiber content, it was decided to use the residues of the cupuaçu pulp, which is an expanding species mainly in the states of the Northern Region. The objective of the work was to evaluate the quality of fibers obtained from cupuaçu residue as an additive in cementitious specimens, as well as to observe the interference of the addition and fibers on the mechanical properties of this material, in order to point out a new alternative for the disposal of this residue. The study investigated the tests on the consistency index in fresh mass, determination of tensile strength in flexion and compression, water absorption index by capillarity and determination of apparent mass density in the hardened state.

**Keywords:** Mortar. Cupuaçu. Vegetable Fibers. Cement Additive.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é definido como um modelo econômico, político, social, cultural e ambiental equilibrado, que satisfaz as necessidades da sociedade atual sem comprometer as capacidades das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades (EIRES, 2006).

A construção civil transforma entre 14 e 50% dos recursos naturais extraídos no planeta, sendo a segunda maior indústria responsável pela emissão de dióxido de carbono, o que torna necessário o desenvolvimento de materiais alternativos, a fim de se encontrar um novo caminho para a sustentabilidade (FIORITI, 2002).

O custo de materiais tradicionais de construção é bastante elevado no Brasil, o que pode ser explicado pelo alto consumo de energia e transporte. Nos últimos anos, o crescente estudo de novos materiais com bom desempenho e baixo custo tem levado à utilização de fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas, normalmente empregadas como reforço em compósitos. Os países de clima tropical, como o Brasil, apresentam abundância e diversidade de cultivos vegetais fornecedores de fibras, o que possibilita suas aplicações em elementos da indústria da construção civil, melhorando características físicas e mecânicas e permitindo um melhor desempenho das estruturas (FIORITI, 2002).

As fibras naturais têm seu uso motivado por serem renováveis, biodegradáveis e pela sua disponibilidade a baixo custo. Muitas vezes como resíduos e sem uma destinação específica, as fibras acabam se transformando em problemas de ordem ambiental. Cabe, portanto, aos pesquisadores, a responsabilidade de encontrar soluções viáveis do ponto de vista econômico, ecológicas do ponto de vista ambiental e eficazes do ponto de vista tecnológico (SILVA *et al.*, 2014).

A utilização de materiais compósitos na construção civil, como concretos e argamassas reforçados com fibras, tem crescido consideravelmente nos últimos anos. A adição de fibras minimiza o comportamento frágil característico do concreto, o qual passa a apresentar resistência residual a esforços mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2000).

As fibras em uma matriz cimentícia reforçam o compósito sob os modos de carregamento que induzem tensões de tração, além de melhorarem a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil. Uma grande variedade de fibras tem sido utilizada como reforço de matrizes, tais como fibras de aço, de polipropileno, de poliéster, de vidro, de amianto, fibras vegetais, entre outras (JOHNSTON, 1994).

Nos últimos anos, um grande interesse mundial tem surgido pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental, sendo crescente a busca por materiais alternativos para o desenvolvimento e aplicação de materiais renováveis de baixo custo e de reduzido consumo de energia, que possibilitem substituir as fibras sintéticas. (JOHNSTON, 1994)

O cupuaçu é uma espécie cuja expansão vem ocorrendo crescentemente na maioria dos Estados da Região Norte e mesmo em outras regiões do país. As características organolépticas de sua polpa e propriedades favoráveis, como matéria-prima para industrialização, têm sido responsáveis por um interesse cada vez maior na

sua exploração por parte dos diversos segmentos da cadeia produtiva (CALVAZARRA *et al.*, 2004).

Os principais resíduos gerados no processamento da polpa do cupuaçu são casca, semente e bagaço. Esses resíduos possuem em sua composição vitaminas, minerais, fibras e compostos antioxidantes importantes para as funções fisiológicas. No entanto, na maioria das fábricas, são desperdiçados (MATIAS *et al.*, 2005).

Assim, o estudo consistiu na investigação dos ensaios para o índice de consistência em massa fresca, determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, índice de absorção de água por capilaridade e determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido da argamassa após a adição do resíduo do cupuaçu. As análises utilizaram corpos de prova com determinadas porcentagens, a fim de se compararem os resultados da adição do composto nas matrizes cimentícias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CUPUAÇU

O cupuaçuzeiro pertence à família *Sterculiaceae*, cuja denominação é *Theobroma grandiflorum* Schum, sendo considerado um dos mais importantes frutos tipicamente amazônicos (CALZAVARA, 1984).

Os frutos possuem uma casca dura e lisa de cor castanho-escuro, porém facilmente quebrável, onde as sementes ficam envoltas pela polpa, que é branca, ácida e aromática e com sabor agradável (SOUZA *et al.*, 1996; FLORES..., 2004).

Devido ao seu sabor forte, a polpa dos frutos não é normalmente consumida *in natura*, entretanto é utilizada na fabricação de bebidas (“vinho do cupuaçu” e suco), sorvetes, licores, geleias, conservas e doces (BASTOS *et al.*, 2002; YANG *et al.*, 2003). Nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, durante os últimos anos, o interesse pela polpa congelada do cupuaçu tem crescido de forma significativa. Por outro lado, a exportação dela é muito limitada, porém campanhas de divulgação estão sendo desenvolvidas, objetivando-se aumentar a participação nesse mercado externo (ROCHA NETO *et al.*, 1999).

Os principais resíduos gerados no processamento da polpa do cupuaçu são casca, semente e bagaço. Esses resíduos possuem, em sua composição vitaminas, minerais, fibras e compostos antioxidantes importantes para as funções fisiológicas. No entanto, na maioria das fábricas, são desperdiçados (MATIAS *et al.*, 2005).

### 2.2 ARGAMASSA

A argamassa desempenha função de regularização, de acabamento e proteção dos substratos onde são aplicados, de elementos de alvenarias e de estruturas de concreto armado. Os sistemas de revestimento podem se compor de duas camadas,

quais sejam emboço e reboco, respectivamente camadas de regularização e acabamento, com espessuras e texturas diferenciadas segundo o acabamento final previsto. Podem ainda ser monocamadas, com argamassa de espessura e composição especialmente controladas (MIRANDA, 2005).

As principais funções do revestimento são: proteger as edificações das tensões climáticas e mecânicas, proporcionar uma aparência estética agradável, reduzir a permeabilidade do substrato, garantir bom acabamento à superfície revestida, absorver as deformações naturais a que uma estrutura está sujeita a auxiliar no isolamento acústico. (RECENA, 2008)

A argamassa, segundo Sabbatini (1986), pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

### 2.2.1 Argamassa com fibras

De acordo com Metha e Monteiro (2008), a história da utilização de compósitos reforçados com fibras como materiais de construção tem mais de 3000 anos. Os egípcios já usavam a palha para reforçar tijolos de barro. Além disso, existem evidências de que, há cerca de 5000 anos, foram utilizadas fibras de asbesto para reforçar potes de argila. Os persas já usavam as fibras associadas ao solo para construções de habitações, resultando em paredes com bom isolamento térmico e boa aparência estética.

Os principais benefícios da utilização das fibras naturais consistem no reduzido consumo de energia em sua produção quando comparado ao necessário para a fabricação de fibras sintéticas, além de abundância e disponibilidade (CAETANO *et al.*, 2004).

O interesse pelo uso das fibras vegetais como reforço da argamassa para a fabricação de blocos está vinculado ao seu baixo custo, alta disponibilidade e reduzido consumo de energia para a sua produção. Além dos benefícios econômicos, elas melhoram o desempenho mecânico do material, aumentando a resistência à tração, controlando a abertura e propagação das fissuras e aumentando a ductilidade, permitindo deformações relativamente grandes sem perda da integridade (SAVASTANO, 2000)

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 COLETA E PRAPARO DAS FIBRAS

As fibras foram coletadas na empresa FRUTPRESS, localizada na cidade de Presidente Olegário. Em seguida, foram submetidas à estufa a 65°C durante 30 horas.

Após a secagem, foram trituradas em um moinho tipo Wiley de marca Tecnal e armazenadas em um frasco para a posterior realização dos ensaios de fibras e densidade.

### 3.1.1 Teor de Fibras

Para a realização dos experimentos, a amostra foi submetida ao teste de fibras, de acordo com a metodologia de Silva e Queiroz (2002), utilizando-se o determinador de fibras de marca Tecnal (figura 1), no laboratório de bromatologia do UNIPAM. Os resultados foram obtidos através da Eq. 1:

$$FB = \frac{(tara + resíduo) - tara * 100}{(ASA * \% \frac{ASA}{100})}$$

Eq. 1

Onde:

ASA: massa amostra seca em estufa com circulação forçada de ar

%ASA: percentual de amostra seca em estufa sem circulação de ar

**Figura 1-** Determinador de Fibras



**Fonte:** Acervo dos autores, 2019.

### 3.1.2 Densidade

Para a elaboração do traço utilizado na produção da argamassa, foi necessário realizar o ensaio de densidade da amostra, o qual foi obtido por picnometria, utilizando-se um picnômetro de aço inox (figura 2). Os resultados foram obtidos através da Eq. 2:

$$D = \frac{M' - m}{M'' - m}$$

Eq. 2

Onde:

$D$ : densidade  $\text{g/cm}^3$

$M'$ : massa do conjunto picnômetro com amostra

$m$ : massa do picnômetro vazio

$M''$ : massa do conjunto picnômetro cheio com água

**Figura 2-** Determinação de densidade por picnometria



Fonte: Acervo dos autores, 2019.

### 3.2 PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

Através da metodologia de Santos (2014), foi determinado o traço para a produção da argamassa, em que as proporções das concentrações equivalem a 64,35% de areia fina, 10,30% de cimento CPII-E-32, 13,57% de água e 9,70% de cal CHIII.

A moldagem e elaboração dos ensaios foram realizados no laboratório de Resistências dos materiais do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM. Foram moldados 24 corpos de prova prismáticos, sendo 6 para cada concentração de cupuaçu adicionado. Previamente à moldagem, foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência na massa fresca de acordo com a ABNT NBR 13276 (2016). Após serem desmoldados, os corpos de prova permaneceram por 10 dias submersos em água para curarem. Em seguida, foram realizados os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

### 3.2.1 Determinação índice de consistência na massa fresca

O molde foi posicionado sobre a mesa, preenchido com 3 camadas de argamassa e aplicados 30 golpes durante 30 segundos na mesa de consistência. Em seguida, mediram-se três diâmetros distintos e realizou-se a média.

### 3.2.2 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 13279 (2005) em máquina de tração e compressão Emic 200 kN, onde foram utilizados 3 corpos de prova com 10 dias de cura. Para o ensaio de compressão, utilizaram-se as duas metades geradas no ensaio de flexão. Os resultados foram obtidos por meio das equações 3 e 4.

$$R_f = \frac{1,5 \times f_f \times L}{40^3} \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

R: resistência à tração na flexão em MPa

$F_f$ : carga aplicada em Newtons verticalmente no centro do prisma

L: distância entre os suportes em milímetros

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

$R_c$ : resistência à compressão em MPa

$F_c$ : carga aplicada em Newtons

**Figura 3** - Máquina de tração e compressão



Fonte: Acervo dos autores, 2019.

**Figura 4** - Corpos de prova depois dos ensaios



Fonte: Acervo dos autores, 2019.

### 3.2.3 Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13280 (2005), em que foi feita a medição da massa das amostras em gramas e posteriormente calculou-se o volume pela Eq.5.

$$V = lhc \quad \text{Eq.5}$$

Onde:

$V$ : volume em  $\text{cm}^3$

$l$ : é a largura em cm

$h$ : altura em cm

$c$ : comprimento em cm

Logo após, calculou-se a densidade de massa através da Eq.6.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} \times 1000 \quad \text{Eq.6}$$

Onde:

$\rho_{max}$ : densidade de massa expressa em  $\text{kg/m}^3$

$M$ : massa em g

$V$ : volume em  $\text{cm}^3$

### 3.2.4 Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 15259 (2005). Inicialmente a massa das amostras foi medida em gramas e posteriormente colocada em uma lâmina de água de no mínimo 5mm. As amostras foram pesadas novamente após 10 e 90 minutos. Diante dos valores, determinou-se a absorção de água por capilaridade para cada tempo e o coeficiente de capilaridade, por meio das Eq.7 e Eq.8.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad \text{Eq.7}$$

$$C = m_{90} - m_{10} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

$A_t$ : absorção de água por capilaridade em g/cm<sup>2</sup>

$m_t$ : massa da amostra em cada tempo em g

$m_o$ : massa inicial em g

$m_{90}$ : massa da amostra em 90 min em g

$m_{10}$ : massa da amostra em 10 min em g

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de caracterização da fibra encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1** – Caracterização do resíduo de cupuaçu

Testes	Amostra	Desvio Padrão
Teor de Fibras (%)	23,71	±1,551
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,61	±0,008

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na literatura, não foram encontrados dados da fibra do cupuaçu, portanto, para comparação, foi utilizado o coco, que é conhecido como alimento rico em fibras e é bastante utilizado como aditivo em concretos. Segundo Carvalho Filho (1988), o teor de fibra bruta do farelo de coco é cerca de 21,46%, enquanto o da torta de cupuaçu é 23,71%, comprovando assim que o cupuaçu pode ser utilizado também como aditivo no concreto.

Por meio da metodologia de Santos (2014), foi determinado o traço para a produção do concreto. Pretende-se atingir 0,3Mpa de resistência à aderência. As proporções das concentrações equivalem a 64,35% de areia, 10,30% de cimento, 13,57% de água e 9,70% de cal.

O ensaio da densidade foi realizado para posteriores cálculos de adição do resíduo do cupuaçu. O baixo valor influencia na leveza e trabalhabilidade da massa.

Os resultados dos ensaios realizados na argamassa fresca e em estado endurecido encontram-se nas tabelas 2 e 3.

**Tabela 2**- Ensaio realizado na argamassa fresca

Amostras	Índice de consistência [cm]	Santana; Aleixo (2017) [cm]
Padrão	12,25	20,30
5% cupuaçu	16,02	-
15% cupuaçu	12,61	-
25% cupuaçu	12,12	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

O ensaio para determinação de índice de consistência tem como finalidade encontrar a quantidade adequada de água na mistura da argamassa e, para isso, a norma recomenda adotar a água necessária para o índice de consistência de (260 + ou – 5) mm (SANTANA; ALEIXO, 2017). O fator de correção utilizado no experimento foi de 0,85.

Observando-se a tabela, é possível notar que o corpo de prova com 5% de cupuaçu foi o único a ficar com um valor distante da amostra padrão, porém foi o que chegou mais próximo ao valor de referência de 20,30 cm.

Isso pode ser explicado devido aos componentes não serem incorporados por completo à massa ou a erros no momento de golpear a massa na mesa de consistência.

**Tabela 3** - Ensaio realizados na argamassa em estado endurecido

Amostras	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Absorção por capilaridade [g/cm <sup>2</sup> ]	Coefficiente de capilaridade[g]
Padrão	2093,33	0,208	11,14
5% cupuaçu	1921,51	0,071	7,54
15% cupuaçu	2002,68	0,051	4,29
25% cupuaçu	1945,75	0,075	3,58

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Considerando-se os valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova prismáticos, constatou-se que a argamassa com 15% de cupuaçu apresentou mais eficiência na redução de absorção de água. Contudo, as argamassas aditivadas com 5 e 25% também mostraram resultados de retenção de água bem distantes da dos da amostra de referência, fato que pode comprovar o uso do cupuaçu como aditivo impermeabilizante em argamassas e revestimentos.

Na tabela 4, encontram-se os resultados para o teste de resistência à tração na flexão e compressão após 10 dias de cura, em que os corpos foram deixados em repouso em tanques de água para efetivar o tempo de cura e, em seguida, levados à Emic.

**Tabela 4-** Resultados resistência à tração na flexão e compressão após 10 dias

Amostras	Tração na flexão [MPa]			Compressão axial [MPa]		
	Experimento	BISPO 2011	AZEVEDO ET AL 2019	Experimento	BISPO 2011	TOLEDO FILHO 1997
Padrão	1,644	3,50	2,60	4,942	16,00	17,00
5% cupuaçu	0,297	5,45	2,30	0,483	18,00	49,81
15% cupuaçu	0,183	-	-	0,517	-	-
25% cupuaçu	0,194	-	-	0,454	-	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Como se pôde perceber, os valores encontrados tanto na tração à flexão quanto na compressão axial se mostraram bem baixos se comparados aos da Tabela 4. Partindo-

se disso, foi decidido que os ensaios seriam realizados novamente, porém com os corpos de prova secos, após 15 dias de desmoldagem.

Como não foram encontrados dados a respeito do cupuaçu, foram usadas como comparativo as fibras de carauá (BISPO, 2011), coco (TOLEDO FILHO, 1997) e coroa de Abacaxi (AZEVEDO *et al*, 2019). Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

**Tabela 5** - Resultados resistência à tração na flexão e compressão após 15 dias

Amostras	Tração na flexão [MPa]			Compressão axial [MPa]		
	Experimento	BISPO 2011	AZEVEDO ET AL 2019	Experimento	BISPO 2011	TOLEDO FILHO 1997
Padrão	2,206	3,50	2,60	4,942	16,00	17,00
5% cupuaçu	0,681	5,45	2,30	0,483	18,00	49,81
15% cupuaçu	0,502	-	-	0,517	-	-
25% cupuaçu	0,551	-	-	0,454	-	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Por meio desses dados, foi possível observar que os corpos de prova secos e rompidos após 15 dias apresentaram resultados mais altos, porém inferiores aos encontrados na literatura. Os baixos resultados para ambos os ensaios podem ser devido a erros nos cálculos de definição do traço, bem como ao momento da pesagem de materiais.

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se, através do presente trabalho, que a utilização do resíduo de cupuaçu como aditivo em argamassas não obteve resultados satisfatórios quanto à resistência à tração na flexão e compressão axial, pois seus valores se mostraram bem baixos. A sua melhor composição foi usando 15% da fibra, mesmo assim seu desempenho não atingiu valores agradáveis quando comparados ao desempenho de outros vegetais ricos em fibra como coco e carauá.

Já para resultados de absorção por capilaridade, a fibra de cupuaçu se mostrou uma boa opção para reter a umidade. Para posteriores estudos, sugere-se testar sua eficiência em revestimentos impermeabilizantes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra- sônica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 15839**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: determinação da composição granulométrica: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 49**: agregado fino: determinação de impurezas orgânicas: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 5738**: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

AZEVEDO, A. R. G. *et al.* **Avaliação do tratamento de fibra natural de abacaxi para utilização em compósitos de matriz cimentícia**. In: *CONGRESSO ANUAL DA ABM*, 74., 2019, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo, 2019.

BASTOS, M. S. R. *et al.* Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de polpa de cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n.1, p. 240-242, 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000100051>.

BISPO, Sistanley Jones Lima. **Estudo das propriedades mecânicas de biocompósitos de polipropileno reforçados com fibras naturais**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CAETANO, L. F. *et al.* Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras. *In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES*. 2004, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto de Sergipe, 2008.

CALZAVARA, B. B. G. *et al.* **Cupuçuzeiro**. Belém- Pa: EMBRAPA, 2004. (comunicado Técnico, 115).

CARVALHO FILHO, O. M. de. Leucena versus Farelo de Coco para Vacas em Lactação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n.10, p.1181-1187. 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - ME 194.  
**Agregados**: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

EIRES, C. F. **Materiais não convencionais para uma construção sustentável, utilizando cânhamo, pasta de papel e cortiça**. 2006. 74 p. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Portugal, 2006.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/160**. São Paulo: EPUSP, 2000.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria**. 2002. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

FLORES e folhas. **Cupuçu**: será que é nosso? Disponível em:  
<http://WWW.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A28cupuacu.htm>.

JOHNSTON, C. D. Cimento e concreto reforçados com fibras. *In: MALHOTRA, V. M. Advances in concrete technology*. 2 ed. Ottawa: V. M. Malhotra, 1994. p. 603-673.

KAEFER, Luís Fernando. **CONCRETO**. Brasília, 2008. Disponível em  
<http://cimento.org/concreto>.

MATIAS, M.F.O. *et al.* Uso de fibras obtidas do cajueiro (*Anacardium occidentale, L*) e da goiabeira (*Psidium guajava*) para o enriquecimento de produtos alimentícios. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, p. 143-150, 2005.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. Evolução em Tecnologia do Concreto. *In*:\_\_\_\_\_.  
**Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil.** 2005. 473 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ROCHA NETO, O. G. da *et al.* Cupuaçu. *In*:\_\_\_\_\_**Principais produtos extrativos da Amazônia e seus coeficientes técnicos.** Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentado das Populações Tradicionais, 1999. p. 24-40.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas de revestimentos: aspectos físicos. *In*:  
SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO. 1986, São Paulo.  
**Anais[...]** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.

SANTANA, B. V. de; ALEIXO, I. V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes.** 2017. 62 f. Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS. Centro Universitário de Brasília – Uniceub, Brasília, 2017.

SAVASTANO, H. J. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. 22 p. tese (Livre-Docência em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002.

SILVA, Everton. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p.1268-1273, jul. 2014. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>.

SILVA, Andressa Costa da; ROSA, Jéssica Sayonara da. **Modelagem de vigas em concreto armado avaliando a presença de furos e aberturas através dos elementos finitos.** 2015. 132 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

SANTOS, W. J. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SOUZA, A. G. C. S. *et al.* **Fruteiras da Amazônia**. Brasília-DF: EMBRAPA-SPI; Manaus: EMBRAPA-CPAA, 1996.

TOLEDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados com fibras naturais: caracterização experimental**. 1997. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

YANG, H. *et al.* New bioactive polyphenols from *Theobroma grandiflorum* (“Cupuaçu”). **Journal of Natural Products**, v. 66, n. 11, p. 1501-1504, 2003. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/np034002jj>.

# Sinalização elétrica em *Mimosa pudica* L. advinda da ESEC de Pirapitinga (ICMBio) após estímulos mecânicos

*Electrical signaling of Mimosa pudica L. from ESEC of Pirapitinga (ICMBio) after mechanical stimuli*

**Wesley Ferreira do Prado**

Graduando do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: wesleyfp@unipam.edu.br

**Renato Ianhez**

Professor orientador (UNIPAM)

E-mail: renatoia@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A espécie *Mimosa pudica* L., sensível, possui um mecanismo de defesa que permite a movimentação de suas folhas quando estimuladas. Perturbações como ferimentos, herbívora ou pressões mecânicas podem evocar sinais de diferentes amplitudes nas plantas. Para analisar tais sinais, necessita-se de sistemas de aquisição de dados de alta sensibilidade. Dessa forma, verifica-se a eficiência de uma instrumentação de baixo custo nesse tipo de análise. São inseridos eletrodos Ag/AgCl no caule dos espécimes que, dentro de uma gaiola de Faraday, são amostradas as variações elétricas após estimulação por toque com uma haste isolada eletricamente. Através da instrumentação adotada, foi possível a amostragem desejada. Nesse trabalho, observou-se que o potencial elétrico de cada espécime variou individualmente, e a amplitude dos sinais evocados estão entre 41,3 mV e 101,3 mV.

**Palavras-chave:** *Mimosa pudica*. Sinalização elétrica. Instrumentação baixo custo. Eletrodo inserido.

**Abstract:** The sensitive species *Mimosa pudica* L. has a defense mechanism that allows the movement of its leaves when stimulated. Disturbances such as injuries, herbivores or mechanical pressures can evoke signals of different amplitudes in plants. To analyze such signals, high sensitivity data acquisition systems are required. Thus, the efficiency of low-cost instrumentation in this type of analysis is verified. Ag / AgCl electrodes are inserted into the stem of specimens that, within a Faraday cage, are sampled for electrical variations after touch stimulation with an electrically isolated rod. Through the instrumentation adopted, the desired sampling was possible. In this work, it was observed that the electrical potential of each specimen varied individually, and the amplitude of the evoked signals are between 41.3 mV and 101.3 mV.

**Keywords:** *Mimosa pudica*. Electrical signaling. Low-cost instrumentation. Inserted electrode.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie *Mimosa pudica* L., da família das *Fabaceae*, popular Dormideira, Arranha-gato, Não-me-toques, Sensitiva, Malícia ou Maria-fecha-porta, é um organismo com um complexo sistema de comunicação. Quando tocadas, perante déficit hídrico ou ao anoitecer, ocorre o recolhimento de suas folhas, pois órgãos específicos foram estimulados (FROMM; LAUTNER, 2006). Esse fenômeno foi observado anteriormente por Charles Darwin em 1897. Em seu livro *Insectivorous Plants*, descreve, com detalhes, os impulsos motores associados às folhas da *Drosera rotundifolia* L. Esse fenômeno decorre de diferentes sinais, classificados em elétricos, químicos e osmóticos, evocados pelos seres vivos (CAPELIN, 2016).

Fatores como temperatura, salinidade do solo, ferimentos, luminosidade, deficiência de nutrientes, ataque de pragas, pressões osmótica e mecânica são perturbações que, quando suficientemente grandes, transpassam o limiar de excitação e podem evocar sinais de diferentes amplitudes nas plantas (CAPELIN, 2016; DAVIES, 2006).

Tais impulsos se dividem em Potenciais de Ação (PA), Potenciais de Variação (PV) e Potencial Sistêmico (PS), classificados de acordo com amplitude dos sinais, rotas de propagação, intensidade e tempo de polarização e despolarização (CAPELIN, 2016; DAVIES, 2006).

Para a realização de estudos nesse âmbito, necessita-se de sistemas de aquisição de dados de alta sensibilidade devido a amplitude dos sinais, capazes de medir tensões de zero a 5 volts, integrado por equipamentos amplificadores, Microcontroladores e conversores digital/analógico e analógico/digital (BRAGA, 1991).

Da mesma forma que na medicina, os estudos eletrofisiológicos permitem o aperfeiçoamento de técnicas como a eletrocardiografia e a eletroencefalografia. Pesquisas utilizando-se de organismos vegetais podem favorecer setores ligados à produção agrícola e farmacológica (CAPELIN, 2016).

Este trabalho teve por objetivo verificar a possível utilização de um equipamento de baixo custo em análises eletrofisiológicas para verificar o comportamento elétrico associado aos movimentos foliares da *Mimosa pudica* L. tanto em condições típicas quanto em condições atípicas, por meio de perturbações mecânicas. Logo, a realização desse projeto fornecerá dados significativos a futuras pesquisas, além de ser uma importante ferramenta para o desenvolvimento e a tomada de caminhos racionais na elaboração de estratégias a favor ou contra a resistência vegetal em espécies como a *Mimosa pudica*, uma planta daninha.

## 2 REVISÃO LITERÁRIA

### 2.1. MIMOSA PUDICA E SINALIZAÇÃO ELÉTRICA

Por meio de sinais específicos, algumas espécies vegetais podem produzir movimentos em partes de sua estrutura. É o caso da *Mimosa pudica* (FROMM; LAUTNER, 2006). A popular dormideira é um indivíduo pertencente à família das

*Fabaceae* (subfamília *Mimosoideae*), de hábito-arbustivo, inflorescência-glomerular de cor rosa, fruto seco de placentação parietal e folhas bipinadas. São compostas por pulvinos, órgão de articulação associado à movimentação, que respondem mecanicamente ao toque e vibrações, pois se contraem quando estimulados, o que também ocorre durante o anoitecer (DAHMER *et al*, 2015).

Para Huber e Bauerle (2016), esses organismos possuem canais que conduzem informações a longas distâncias, célula por célula, possibilitando a resposta rápida e imediata ao estresse sofrido, existindo três diferentes formas de sinalização de distintas amplitudes: elétrica, química e hidráulica. Segundo ele, os sinais elétricos se propagam mais velozmente que os sinais químicos, por isso são importantes mecanismos associados à interação desses organismos a fenômenos bióticos e abióticos.

Assim, as sinalizações elétricas decorrem de um fluxo constante de íons ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $H^+$  e  $Cl^-$ ) que atravessam, de forma passiva ou ativa, a membrana das células, estando aqueles em um estado de repouso quando as forças eletroquímicas se igualam dos dois lados dessa estrutura. No entanto, perturbações conseguem alterar a permeabilidade da membrana, acarretando desequilíbrio das forças e diferenças de potenciais que percorrem a extensão da planta (CAPELIN, 2016).

Embora o tema ainda não esteja totalmente elucidado, acredita-se que a razão de os organismos vegetais disporem de diferentes tipos de sinalização esteja ligada ao encargo de estes transmitirem informações específicas, já que, na maioria das vezes, a presença do PA está ligada a estímulos não prejudiciais, e a presença do PV, a estímulos ofensivos ou danosos. Contudo, por vezes esses eventos podem coexistir, o que é visto quando algumas plantas sofrem a queima de parte de sua estrutura, sinalizada tanto por meio do PA quanto por meio do PV (DAVIES, 2006; VOLKOV, 2006).

Em vista disso, Capelin (2016), Fromm e Lautner (2006) e Huber e Bauerle (2016) caracterizam o PA como sendo conduzido pelo o floema, agindo separadamente do xilema. Nesse tipo de condução elétrica, não há consumo energético após o início do impulso, já que a força eletromotriz dá-se pelo campo produzido pelo fluxo de íons na membrana. Logo, é um sinal de longo alcance e capaz de se despolarizar e se polarizar rapidamente. É capaz de atingir velocidades de até  $20\text{--}30\text{ mm s}^{-1}$  e perdurar por aproximadamente 5 segundos, dados referentes à espécie *Mimosa pudica*, estimulada pelo toque ou em contato com água gelada (FROMM; LAUTNER, 2006).

Diferentemente dos valores encontrados para o Potencial de Ação, a velocidade atingida pelo Potencial de Variação decorrente de ferimentos no espécime, resulta em valores aproximados de  $5\text{--}6\text{ mm s}^{-1}$  (FROMM; LAUTNER, 2006). Esse sinal possui um tempo de polarização mais longo que o PA, além de reduzir sua amplitude conforme a distância do local afetado aumenta. Ele pode estar ligado a estímulos como ferimentos, queima de órgãos, embolia ou ataque de insetos. É conduzido pelo xilema e, mesmo que pouco estudado, possivelmente resulta do influxo de água dentro das células (CAPELIN, 2016; FROMM, LAUTNER, 2006; HUBER, BAUERLE, 2016).

Por fim, o PS é o sinal menos comum e é caracterizado pela hiperpolarização da membrana, acreditando-se na sua auto propagação, sem a ativação de outros canais de condução além do  $H^+$ -ATPase (CAPELIN, 2016; FROMM, LAUTNER, 2006; HUBER, BAUERLE, 2016).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA E TRATAMENTO DO MATERIAL BOTÂNICO

Para a elaboração deste estudo, entre os dias 15 e 17 de novembro de 2018 foram coletados os indivíduos jovens da espécie *Mimosa pudica*, sitos a 18°21'30.55" latitude Sul e 45°19'45.15" longitude Oeste, na Estação Ecológica (ESEC) de Pirapitinga. A instituição é gerida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e está situada às margens do Rio São Francisco, na fronteira dos municípios de Três Marias e Morada Nova de Minas, sendo a única ESEC no estado de Minas Gerais e uma das quatro do bioma Cerrado no país. Esse projeto foi devidamente autorizado pelo ICMBio e identificado pelo nº 64189.

Após as coletas, preservaram-se os espécimes em uma residência no município de Patos de Minas até o dia 5 de agosto de 2019, quando foram selecionadas 24 plantas alocadas em vasos de 3,8 L. Estas foram acondicionadas na Estufa de Vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) onde permaneceram para a execução dos ensaios. Foram empregados 7 indivíduos para as análises eletrofisiológicas, enumerados de P0 a P6; utilizou-se dos 17 restantes para herborização e como material reserva.

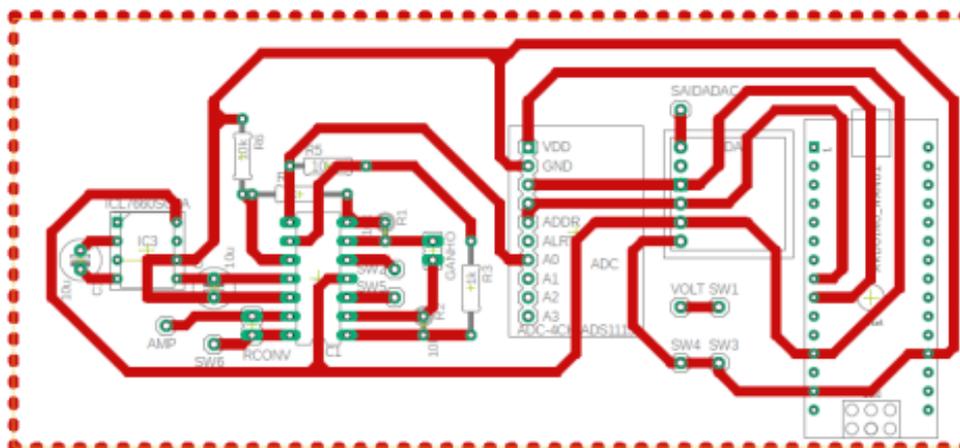
Durante todo período, os vasos foram alimentados em dias alternados com 500 ml de água ou até atingir a capacidade de campo. Ainda, de modo a facilitar o desenvolvimento dos espécimes, quinzenalmente fez-se uso de 500 ml de solução nutritiva preparada pelo Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP) do UNIPAM. A solução é adaptação de Johnson (1957), possuindo os seguintes sais:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeDTPA}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$  e  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

A partir dos primeiros indivíduos que floresceram, houve a coleta de material botânico, que foi herborizado, e suas exsiccatas foram depositadas no Herbário *Mandevilla* sp. do UNIPAM. O mostruário da população pesquisada possui tombo com número de registro 140.15.2. e 140.15.3.

#### 3.2 INSTRUMENTAÇÃO

##### 3.2.1. Instrumentação de aquisição de dados SADLAB

A avaliação eletrofisiológica da *M. pudica* utilizou de instrumentação elaborada por Godinho e Ianhez (2019), por meio do Projeto SADLAB, empregando a função voltímetro do aparelho, descrita na Figura 1.

**Figura 1.** Circuito impresso da placa da instrumentação SADLAB.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

O equipamento possui alta sensibilidade e é capaz de medir tensões de zero até 5 Volts, sendo composto por um Microcontrolador Arduino Nano 3.0, com resolução de 5 V/ 210, com possibilidade de ajuste; uma placa ADS1115 como Conversor Analógico para Digital (ADC), com 16 bits de precisão, o equivalente a 5 V/216 e capacidade para 4 portas, com coleta de 800 dados por segundo; uma placa MCP4725 capaz de converter sinal Digital para Analógico (DAC), em resolução de 12 bits ou 5 V/212.

### 3.2.2 Eletrodos e Gaiola de Faraday

Os ensaios necessitaram, também, do preparo de eletrodos a partir de filamentos de Ag com 0,5 mm de diâmetro, os quais foram fixados a condutores elétricos por solda branca. Conforme a metodologia de Macedo (2015), houve a cloração do material para obtenção de eletrodos (Ag/AgCl), conectando-se a extremidade do eletrodo ao catodo de uma bateria de 9V e o anodo a um filamento de Ag, estando ambos submersos em solução de KCl 3M (Dinâmica Química). A avaliação da qualidade do instrumento ocorre por meio de um Multímetro Digital Fluke 17B+ pelo teste de resistência elétrica, devendo atingir valores próximos de zero para a melhor condução de sinais da planta (DANELUZZI, 2016). Os eletrodos utilizados possuíam resistência de  $1,1\Omega \pm 0,10$ .

Outro passo referiu-se à elaboração de uma Gaiola de Faraday, a fim de se reduzir a interferência de ondas eletromagnéticas de fundo (CAPELIN, 2016; MACEDO, 2015; DANELUZZI, 2016; SARAIVA, 2017). A estrutura foi construída para comportar um indivíduo na forma adulta nas dimensões de 150 cm de altura, 100 cm de comprimento e 60 cm de profundidade. O material utilizado foi o Metalon #20 envolto por tela galvanizada em malha BWG 22.

### 3.3 A COLETA DE DADOS

Para efeito avaliativo, as mudanças de potencial elétrico foram inicialmente aferidas em Multímetro Digital Fluke 17B+, havendo a posterior substituição pela instrumentação SADLAB nas análises efetivas. Em todos os ensaios, um eletrodo foi inserido no caule próximo ao pulvino da *M. pudica*, previamente higienizado com álcool 70%. Buscou-se penetrar todo o tecido vegetal para atingir os vasos condutores, necessitando-se aguardar, no mínimo, 15 horas para o início dos ensaios a fim de se restabelecerem as sinalizações (CAPELIN, 2016). O fechamento do circuito deu-se pela implantação da uma haste de cobre no vaso que, através de um condutor flexível de prata, foi conectada ao Ground do sistema de aquisição de dados (FROMM; LAUTNER, 2006) O esquema de captação de dados está representado na Figura 2.

**Figura 2.** Representação do esquema de eletrodos utilizados nas amostragens, a esquerda tem-se o eletrodo Ag/AgCl inserido no caule da *M. pudica*, a direita é mostrado o fechamento do circuito por uma haste de cobre inserida no solo úmido do vaso.



Fonte: Arquivo dos autores, 2020.

Pelo SADLAB, foram realizadas oito amostragens em indivíduos distintos, as quais ocorreram à frequência de 20 Hz em duas situações distintas: sem estímulos mecânicos e com estímulos mecânicos. Evocaram-se as perturbações por meio do toque imediato na extensão da planta, com uma haste isolada eletricamente.

Assim, os ensaios iniciaram-se pela amostragem sem estimulação por 3 minutos, havendo, em seguida, a captação de sinais com estimulação por período de 7 minutos e 30 segundos, de modo que o estímulo fosse evocado após os 30 segundos iniciais.

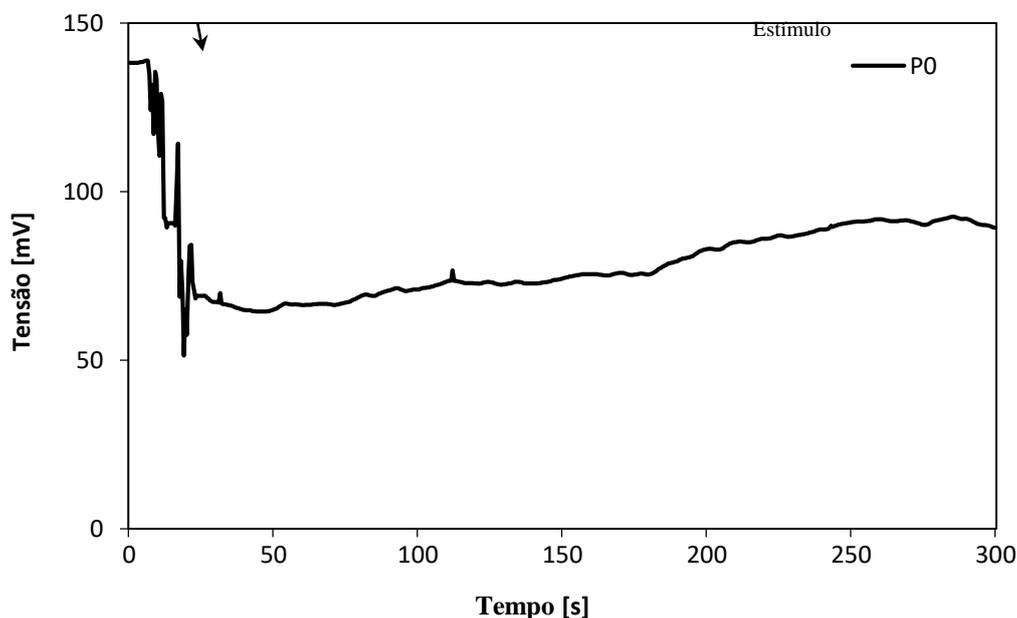
Os dados coletados pelo SADLAB foram enviados, em tempo real, por um cabo USB 2.0 a um computador onde foram registrados e organizados em planilhas de Excel e elaborados os materiais gráficos.

#### 4 RESULTADOS

#### 4.1. ENSAIO PRELIMINAR

O ensaio introdutório amostrado por período de 5 minutos e taxa de 2 Hz contou com o uso de um multímetro. O eletrodo foi inserido no raquis secundário do indivíduo P0, havendo estimulação após 10 segundos de coleta de dados. A Figura 3 expressa a mudança de potencial elétrico após estimulação dada em mV.

**Figura 3.** Amostragem preliminar de P0 com estímulo e aferido em multímetro a taxa de 2Hz

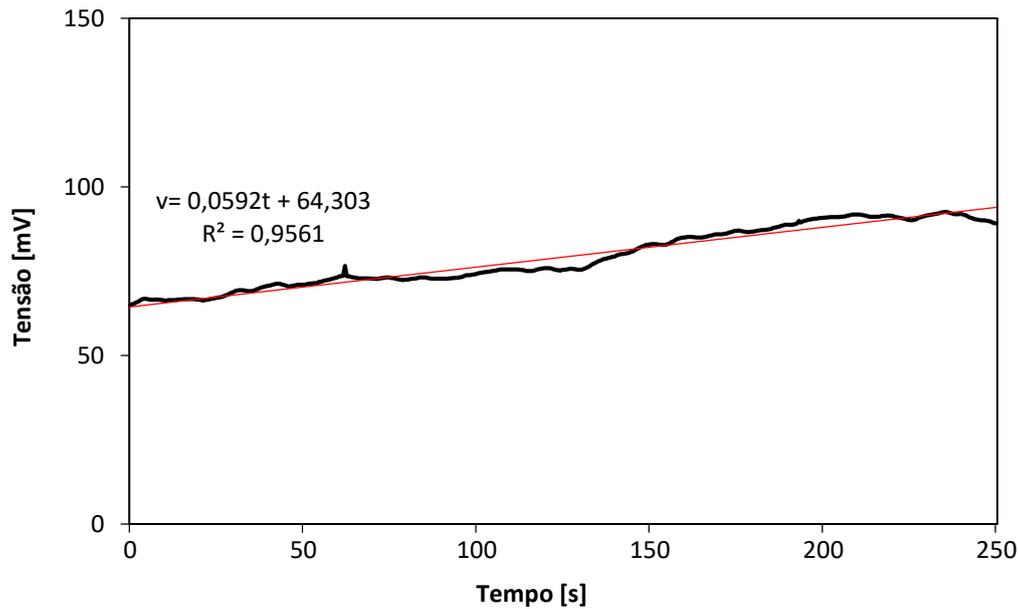


Fonte: Dados da pesquisa, 2000

A média da tensão inicial do espécime antes do estímulo foi de  $135,7 \text{ mV} \pm 5,64$ , no entanto, após a perturbação, houve imediata redução do potencial elétrico que, em aproximadamente 7 segundos, alcançou a tensão mínima de  $51,4 \text{ mV}$ . A amplitude do sinal, calculada pela diferença entre a tensão inicial e a tensão mínima, foi de  $84,3 \text{ mV}$ . Esses dados demonstraram que a instrumentação utilizada foi capaz de captar as alterações elétricas desejadas e comprovou a existência de mudança de potencial elétrico em *M. pudica* quando estímulos mecânicos foram evocados para o fechamento dos folíolos.

Adiante, verificou-se o tempo necessário para que o potencial elétrico fosse reestabelecido à tensão inicial. Utilizou-se da equação da reta, representada na Figura 4, obtida com os valores coletados 30 segundos após a tensão mínima.

**Figura 4.** Equação de reta para o reestabelecimento da tensão de início obtida após a estimulação em P0.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A função criada resultou na equação 1., que, quando substituída pela média da tensão inicial, retornou o tempo estimado de 20 minutos e 6 segundos. Esse foi teoricamente necessário para que houvesse o transporte dos íons pelas membranas das células da planta, gerando tensões próximas de antes da perturbação.

$$v = 0,0592t + 64,303 \quad (1).$$

Em que:  $v$ =tensão inicial;  $t$ =tempo para recuperação.

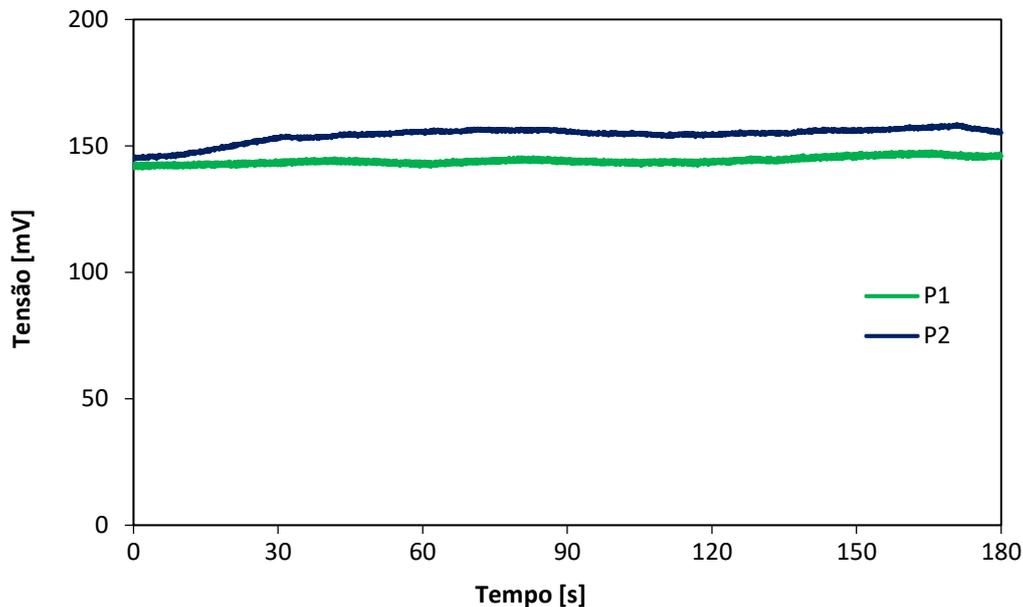
## 4.2 ENSAIOS ATRAVÉS DO SADLAB

As seis análises foram agrupadas aos pares de acordo com o tamanho dos espécimes. Para cada indivíduo, foram estabelecidos a média das tensões sem estímulo, o gráfico das mudanças de potencial elétrico com estímulo e, a partir desse, a equação de recuperação 30 segundos após a tensão mínima.

### 4.2.1 Plantas P1 e P2

A análise de P1 foi realizada à temperatura de 35°C em um dia nublado. A planta apresentava 87 cm de altura e 17 pecíolos. Enquanto isso, P2 estava a 33°C em dia ensolarado e apresentava 89 cm de altura e 11 pecíolos. Na Figura 5 estão representados os potenciais elétricos de ambas as plantas não perturbadas.

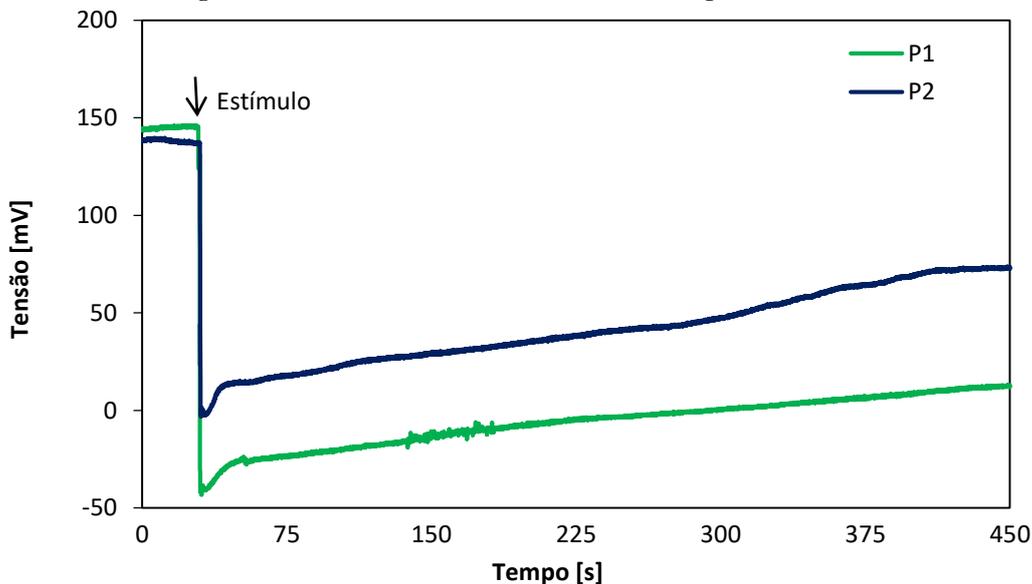
**Figura 5.** Potenciais elétricos de P1 e P2 sem estímulo e aferidos pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Como nenhum estímulo foi evocado, verificou-se dispersão reduzida dos valores em ambas as análises. A média de tensões para P1 foi de 144,1 mV  $\pm$ 1,38, enquanto para P2 foi de 154,3 mV  $\pm$ 2,96. A Figura 6 apresenta o comportamento desse grupo quando estimulado.

**Figura 6.** Amostragem de P1 e P2 com estímulo e aferidos pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.

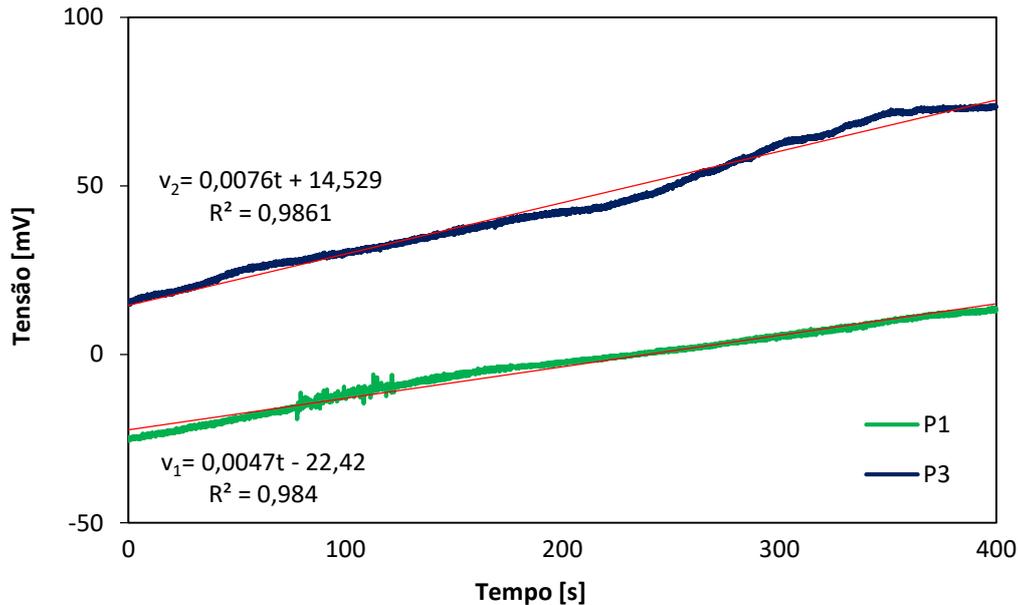


Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Diferentemente do apresentado pelas análises preliminares, no SADLAB a sensibilidade e a taxa de amostragem superiores permitiram a melhor observação dos

sinais evocados. Em ambas as análises, a despolarização foi de imediata percepção pelo aparelho. Em P1, após 0,95 segundos, foi atingida a tensão mínima de -43,3 mV; em P2, a tensão mínima de -3,0 mV foi atingida após 0,45 segundos. A amplitude do sinal para P1 foi de 100,8 mV e para P2 foi de 151,3 mV. Na Figura 7, estão representadas as equações de reta para os cálculos de recuperação do grupo.

**Figura 7.** Equações de reta para o reestabelecimento da tensão de início obtida após a estimulação em P1 e P2.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A equação 2 obtida para P1 quando substituída com a média da tensão sem perturbação retornou o tempo estimado de 9 horas, 50 minutos e 31 segundos para a recuperação do potencial elétrico. Já a equação 3 retornou 5 horas, 6 minutos e 27 segundos em P3.

$$v_1 = 0,0047t - 22,42 \quad (2).$$

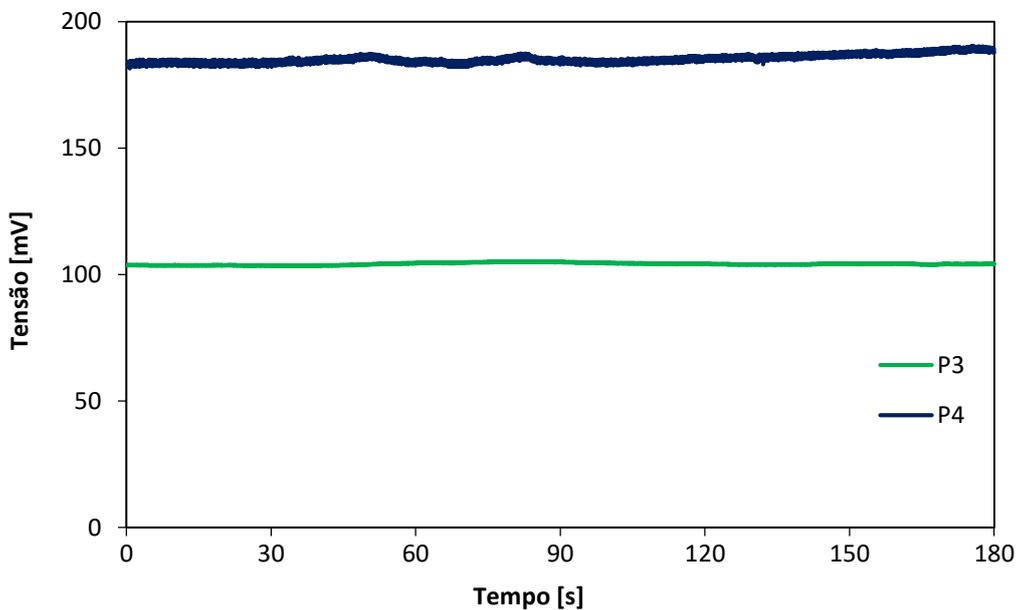
$$v_2 = 0,0076t + 14,529 \quad (3).$$

em que:  $v_i$  = tensão inicial;  $t$  = tempo para recuperação.

#### 4.2.2 Plantas P3 e P4

Para a amostragem de P3, a temperatura no interior da estufa foi de 33°C em um dia ensolarado. A planta possuía 136 cm de altura e 10 pecíolos. Já P4 estava a 40°C em dia ensolarado, possuindo 132 cm de altura e 13 pecíolos. Na Figura 8 estão representados os potenciais elétricos de ambos os espécimes em estado não perturbado.

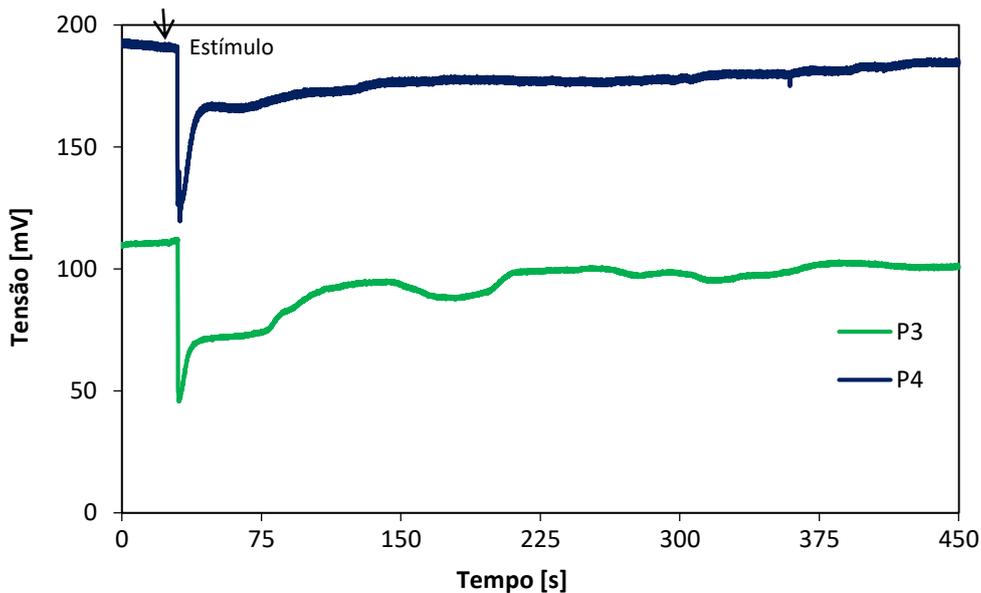
**Figura 8.** Potenciais elétricos de P3 e P4 sem estímulo e aferidos pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Por meio dos valores apresentados, determinou-se que a média de tensões para P3 fosse de  $104,2 \text{ mV} \pm 0,46$ , enquanto para P4, de  $185,3 \text{ mV} \pm 1,78$ . Por meio da Figura 9, é possível observar o comportamento desse grupo quando estimulado.

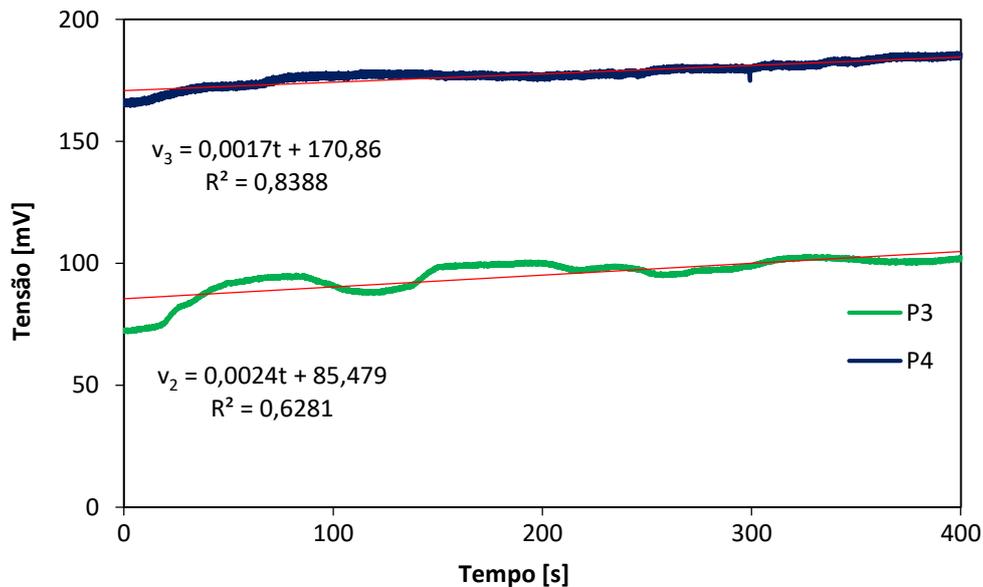
**Figura 9.** Amostragem de P3 e P4 com estímulo aferido pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A avaliação temporal para P3 permitiu deduzir que, após 0,55 segundos, foi atingida a tensão mínima de 45,7 mV, enquanto P4 necessitou de 1,40 segundos para atingir 119,6 mV. Assim, a amplitude de sinal para P3 foi de 58,5 mV e para P4, de 65,7 mV. A Figura 10 apresenta as equações utilizadas nos cálculos de recuperação do grupo.

**Figura 10.** Equações de reta para o restabelecimento da tensão de início obtida após a estimulação em P3 e P4.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A análise de P3 resultou na equação 4 que, substituída, estimou o tempo de 2 horas, 9 minutos e 53 segundos para a atingir o valor médio de potencial elétrico inicial. Para o indivíduo P4, foi obtida a equação 5, a qual retornou 2 horas, 21 minutos e 20 segundos.

$$v_3 = 0,0024t + 85,479 \quad (4).$$

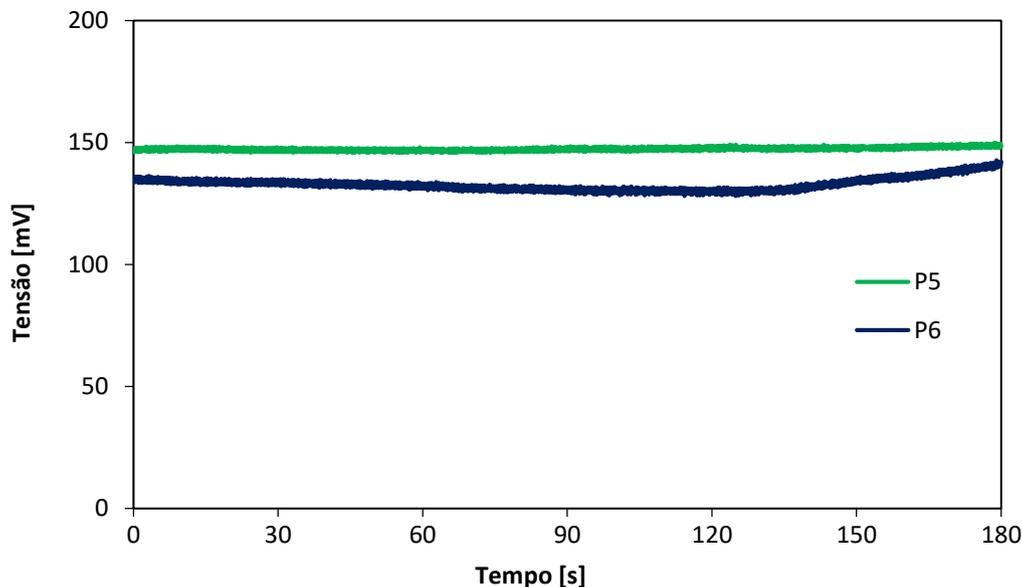
$$v_4 = 0,0017t + 170,86 \quad (5).$$

em que:  $v_i$  = tensão inicial;  $t$  = tempo para recuperação.

#### 4.2.3 Plantas P5 e P6

Em um dia ensolarado, a amostragem de P5 ocorreu à temperatura de 37°C, possuindo 94 cm de altura e 13 pecíolos. P6 também foi analisada em dia ensolarado à temperatura de 40°C, possuindo 126 cm de altura e 13 pecíolos. O potencial elétrico das plantas sem perturbações pode ser verificado na Figura 11.

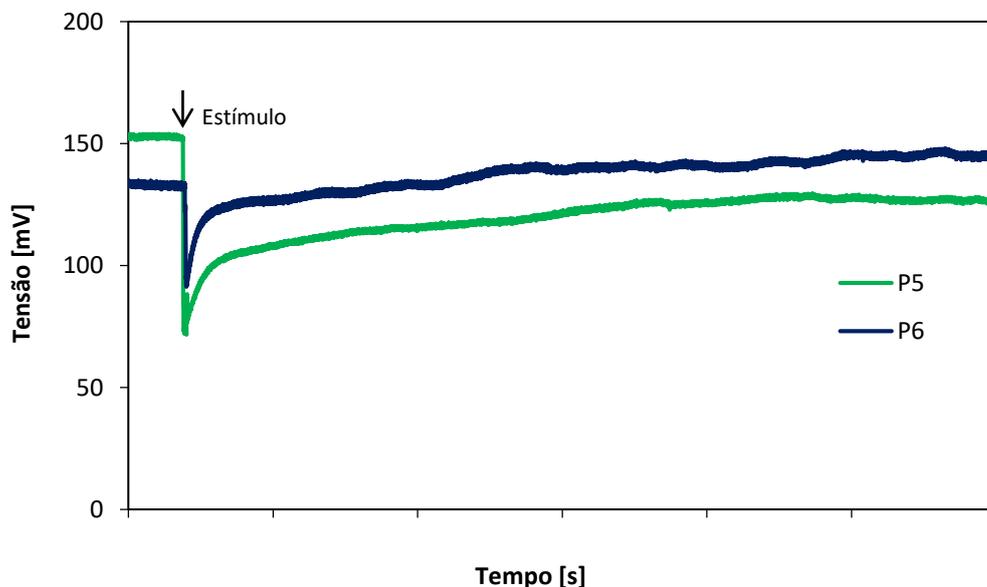
**Figura 11.** Potenciais elétricos de P5 e P6 sem estímulo e aferidos pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Determinou-se, em P5, a média das tensões sem estímulo de  $147,4 \text{ mV} \pm 0,77$  enquanto P6 foi de  $132,9 \text{ mV} \pm 2,70$ . A Figura 12 tem representada a mudança de potencial do grupo quando estimulado.

**Figura 12.** Amostragem de P5 e P6 com estímulo aferido pelo SADLAB a taxa de 20 Hz.

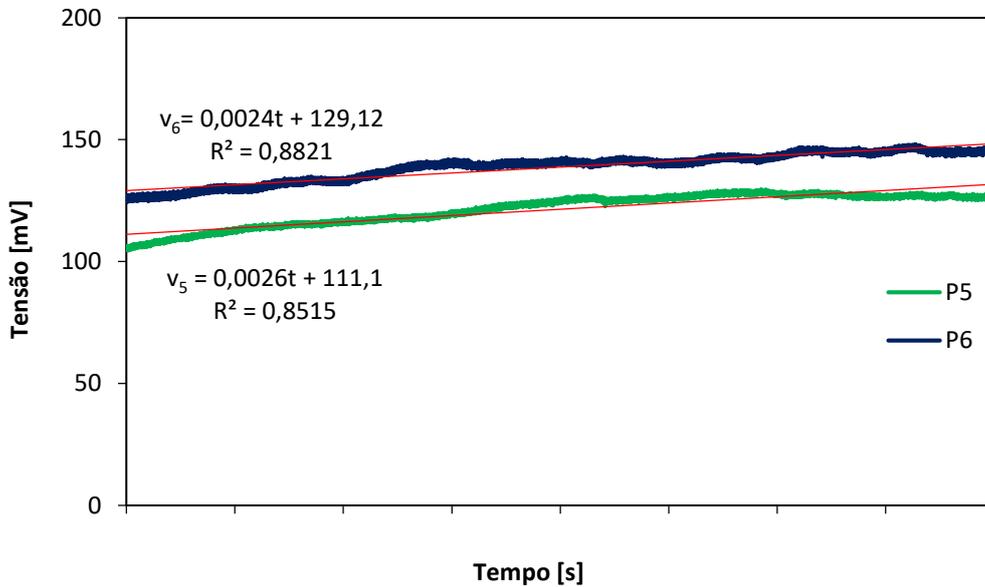


Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Analisando-se a curva de P5, deduz-se que, após 1,7 segundos, foi atingida a tensão mínima de  $71,6 \text{ mV}$ . O mesmo ocorreu em P6, após 0,8 segundos atingiu-se  $91,3$

mV. No que tange à amplitude do sinal evocado, este foi de 75,8 mV para P5 e de 41,6 mV para P6. A Figura 13 apresenta as equações utilizadas nos cálculos de recuperação do grupo.

**Figura 13.** Equações de reta para o reestabelecimento da tensão de início obtida após a estimulação em P5 e P6.



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A equação 6 obtida para P5 estimou o tempo de 3 horas, 52 minutos e 43 segundos para a total recuperação da sinalização elétrica. Para o indivíduo P6, a equação 7 descreveu esse tempo como 25 minutos e 44 segundos.

$$v_5 = 0,0026t + 111,1 \quad (6).$$

$$v_6 = 0,0024t + 129,12 \quad (7).$$

em que:  $v_i$  = tensão inicial;  $t$  = tempo para recuperação.

#### 4.3. CARACTERÍSTICAS DOS SINAIS EVOCADOS

Como apresentado no item 6.2, as amplitudes de sinal obtidas foram entre 41,3 mV e 151,3 mV. Valores próximos já foram apresentados pela literatura como por Kozeliek *et al.* (2003), os quais, por meio de microelétrodos de 1 $\mu$ m inseridos nas folhas de *M. pudica*, obtiveram variações entre 80 mV e 100 mV, Fromm (1991) obteve 150 mV em análises realizadas no pecíolo da planta e Oda K. e Abe T (1972) encontraram valores entre 40 mV e 70 mV. Segundo Volkov *et al.* (2010), há uma variedade de resultados para a amplitude de sinais entre pesquisadores e até mesmo em pesquisas de um mesmo autor em estudos envolvendo *M. pudica*.

Observou-se também que o tempo de despolarização, repolarização e o potencial elétrico não estimulado de cada planta possuem variações, as quais estão possivelmente associadas ao clima e às condições fisiológicas do indivíduo. Wang Z *et al.* (2009) apresenta que fatores como luminosidade, temperatura e umidade alteram significativamente nas sinalizações elétricas evocadas por plantas de mesma espécie. Macedo (2015) encontrou amplitudes de sinais com 21,17mV e 44,55mV para duas variedades genéticas de *Solanum lycopersicum* L.

## 5 CONCLUSÕES

Através da utilização da instrumentação SADLAB juntamente com eletrodos clorados de prata e equipamento para reduzir ruídos, foi possível obterem-se valores sensíveis o bastante para captar informações sobre a atividade bioelétrica da *Mimosa pudica*.

A sinalização elétrica da espécie, mesmo quando não estimulada, comportou-se de maneira diferente para cada indivíduo, o que possivelmente está associado a fatores fisiológicos e climáticos.

Nesse estudo, a amplitude dos sinais coletados para perturbações mecânicas em *M. pudica* variaram de 41,3 mV a 151,3 mV. O tempo de recuperação estimado variou de 25 minutos a 9 horas e 50 minutos e está diretamente relacionado à intensidade, tipo de sinal evocado e a amplitude do mesmo.

São necessárias investigações a respeito do que causa tais variações de potenciais, sendo a instrumentação desenvolvida e testada um passo importante neste sentido.

## REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton. Bioamplificador. **Eletrônica Total**, n. 37, p. 3-6, 1991.

CAPELIN, Diogo. **Caracterização eletrofisiológica em girassol: cinética, rotas de propagação, trocas gasosas e fluorescência da clorofila**. 2016. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2016.

DANELUZZI, Gabriel Silva. **Sinalização elétrica de longa distância pós-irrigação em plantas de girassol sob déficit hídrico**. 2016. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

DAHMER, N.; KARSBURG, I. V.; SILVA, A. B. da; LIMA, F. G. de; RAMOS, L. P. N. Citogenética de acessos de Mimosa pudica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11 n. 21; p. 2005, 2015.

DARWIN, Charles; DARWIN, Francis; BARRETT, Paul H. **Insectivorous plants**. New York: D. Appleton and Company, 1897.

DAVIES, E. Electrical Signals in Plants: facts and hypotheses. *In: Plant Electrophysiology: Theory and methods*. [S.l.]: Springer, 2006. cap. 17, p. 407 – 418.

FROMM, J. Control of phloem unloading by action potentials in Mimosa. **Physiologia Plantarum**, v. 83, n. 3, p. 529–533, 1991.

FROMM, JÖRG; LAUTNER, SILKE. Electrical signals and their physiological significance in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 3, p. 249-257, 2006.

GODINHO, K. C.; IANHEZ, R. **Aplicação de um potenciostato de baixo custo em aulas práticas de análise instrumental**. 2019. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, 2019.

HUBER, Annika E; BAUERLE, Taryn L. Long-distance plant signaling pathways in response to multiple stressors: the gap in knowledge. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 7, p. 2063-2079, 2016.

JOHNSON, C. M., STOUT, P. R., BROYER, T. C. Comparative chlorine requirements of different plant species. **Plant Soil**, v. 8, p. 337–353, 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01666323>

KOZELIEK, C., GRAMS, T. E. E., SCHRIEBER, U.; MATYSSEK, R. E.; FROMM, J. Transient knockout of photosynthesis mediated by electrical signals. **New Phytologist**, v. 161 n.3, p. 715-722, 2004.

MACEDO, Francynês da Conceição Oliveira. **Electrical signaling, gas exchange and turgor pressure in ABA-deficient tomato (cv. Micro-Tom) under drought**. 2015. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2015.

ODA, K.; ABE, T. Action potential and rapid movement in the main pulvinus of Mimosa pudica. **The Botanical Magazine Tokyo**, v. 85, n. 2, p. 135–145, 1972.

PAIXÃO, Clemilton; JESUS, Daniel; NETO, André. Tolerância ao estresse hídrico de genótipos de girassol em função de crescimento e teores de NPK. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1755, 2014.

SARAIVA, G. F. **Análise temporal de sinalização elétrica em plantas de soja submetida a diferentes perturbações externas.** 2017. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Agronomia, Unoeste, Presidente Prudente, 2017.

VOLKOV, A. G. Electrophysiology and Phototropism. *In: \_\_\_\_\_*. **Communication in Plants: neuronal aspects of plant life.** [S.l.]: Springer, 2006. cap. 24, p. 351 – 365.

WANG, Z. Y.; LENG, Q.; HUANG, L.; ZHAO, L. L.; XU, Z. L., HOU, R. F.; WANG, C. Monitoring system for electrical signals in plants in the greenhouse and it applications. **Biosystems Engineering**, v. 103, n. 1, p. 1-11.

# Síntese de biofilmes poliméricos utilizando amido de mandioca e milho

*Synthesis of polymeric biofilms using cassava and corn starch*

**Gustavo Gonçalves Silva**

Graduando do curso de Engenharia Química (UNIPAM).

Email: gustavo.gs.98@hotmail.com

**Sandra Lúcia Nogueira**

Professora orientadora (UNIPAM).

Email: sandraln@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Em todo o mundo, tem-se reconhecido a necessidade de reduzir a quantidade de materiais plásticos desperdiçados e descartados no meio ambiente. As embalagens plásticas produzidas com os polímeros convencionais degradam-se muito lentamente no ambiente, já que sua principal propriedade é a durabilidade. O presente trabalho teve como objetivo sintetizar filmes a partir de amido de mandioca e milho pela técnica de espalhamento em placas de petri, usando o glicerol como agente plastificante e variando a concentração de amido, além de avaliar a espessura, transmitância e solubilidade dos biofilmes. A espessura variou de 0,08 até 0,26 mm, a transmitância de 30 até 80 % e a solubilidade ficou entre 14 e 37 %. Ajustando-se a concentração de amido e agente plastificante ao que se deseja aplicar, o biofilme pode ser usado como embalagem, já que os resultados se mostraram bons em relação à espessura, à transmitância e à solubilidade, porém mais testes e ensaios mecânicos devem ser feitos para a melhor confiabilidade.

**Palavras-chave:** Biofilme. Mandioca. Milho.

**Abstract:** Worldwide, the need to reduce the amount of plastic materials wasted and discarded in the environment has been recognized. Plastic packaging produced with conventional polymers degrades very slowly in the environment, since its main property is durability. The present work aimed to synthesize films from cassava and corn starch using the technique of spreading on petri dishes, using glycerol as a plasticizer and varying the starch concentration, in addition to evaluating the thickness, transmittance and solubility of biofilms. The thickness varied from 0.08 to 0.26 mm, the transmittance from 30 to 80% and the solubility was between 14 and 37%. By adjusting the concentration of starch and plasticizer to what you want to apply, the biofilm can be used as a packaging, since the results have been shown to be good in terms of thickness, transmittance and solubility, but more tests and mechanical tests must be done for the best reliability.

**Keywords:** Biofilm. Cassava. Corn.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, tem-se reconhecido a necessidade de reduzir a quantidade de materiais plásticos desperdiçados e descartados no meio ambiente. As embalagens plásticas produzidas com os polímeros convencionais degradam-se muito lentamente no ambiente, já que sua principal propriedade é a durabilidade. Estes são resistentes às radiações, ao calor, ao ar, à água e, por serem materiais hidrofóbicos, não permitem o ataque de microrganismos, levando-se anos para se decomporem (SILVA, 2011).

No decorrer dos anos, os materiais plásticos produzidos a partir de fontes renováveis têm sido tema de extensas pesquisas de artigos científicos e avaliações, tanto pelo impacto ambiental que os plásticos convencionais provenientes de derivados do petróleo causam, quanto por interesses econômicos. Esses plásticos são designados como biodegradáveis e, apesar de ainda apresentarem custos de produção superiores aos polímeros convencionais e aplicações mais limitadas que os sintéticos, por serem menos flexíveis, menos resistentes e menos duráveis, é de suma importância a utilização deles na sociedade (BORGES, 2017).

Dados estatísticos mostram que, no Brasil, 240 a 300 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos são despejados diariamente, dos quais cerca de 20% são plásticos. O número de produção de lixo é grande devido ao desenvolvimento industrial e populacional do país (SILVA, 2011). Para minimizar esse problema, existe a possibilidade da utilização de biofilmes, e o amido é um dos materiais que pode participar da elaboração desse material, sendo biodegradável quando descartado no meio ambiente. (HENRIQUE, 2008).

Biofilme é um filme fino, preparado a partir de materiais biológicos, que age como barreira a elementos externos, podendo ser usado como embalagens de alimentos. Conseqüentemente, pode proteger o produto embalado de danos físicos e biológicos e aumentar a sua vida útil (HENRIQUE, 2008).

O biofilme geralmente é produzido com materiais biológicos, como polissacarídeos, proteínas, lipídios e derivados. A sua obtenção está baseada na dispersão ou solubilização dos biopolímeros em um solvente (água, etanol ou ácidos orgânicos) e acréscimo de aditivos (plastificantes ou agentes de liga), obtendo-se uma solução ou dispersão filmogênica (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992).

O amido se destaca na elaboração de biopolímeros, pois ele alia o manejo do ciclo de carbono com disponibilidade, pelo seu preço baixo e facilidade de manuseio. Biofilmes a base de amido apresentam boas propriedades de barreira a gases como O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> e ao óleo. Uma forma de melhorar as propriedades dos biomateriais é através do desenvolvimento de filmes compostos, uma vez que a combinação dos polímeros tem como vantagem agregar os pontos positivos de cada um dos constituintes isolados (GONTARD; GUILBERT, 2006).

Sendo assim, diversos estudos têm usado o amido para a formação de embalagens biodegradáveis. Uma técnica que pode ser usada para elaboração de filmes biodegradáveis é a de *casting*, que consiste no espalhamento do material em placas de petri, em uma superfície plana, para posterior secagem. (BORGES, 2017).

O objetivo do presente trabalho é sintetizar filmes a partir de amido de mandioca e milho pela técnica de espalhamento em placas de petri, usando o glicerol como agente plastificante e variando a concentração de amido, além de avaliar as propriedades físico-químicas do material obtido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS

Segundo *Plastics Europe* (2012), a indústria de produtos plásticos vem crescendo continuamente desde a segunda metade do século XX, alcançando 280 milhões de toneladas em 2011, o que representa um aumento de cerca de 9% ao ano desde 1950, quando a produção era de apenas 1,5 milhões de toneladas. A produção brasileira representa 2% da produção mundial de plásticos, tendo produzido 6 milhões de toneladas em 2011 (ABIPLAST, 2012). O crescimento estrondoso no consumo de plásticos pode ser explicado pelo fato de que esses materiais representam um número muito grande de demanda nas áreas da saúde (INNOCENTNI-MEI; MARIANI, 2005).

Os plásticos biodegradáveis provenientes de fontes naturais renováveis têm sido foco de interesse para o desenvolvimento de novas tecnologias que visam à preservação ambiental e à busca de potenciais alternativas de substituição de plásticos convencionais oriundos de fontes de petróleo. Neste contexto, a utilização do plástico verde, proveniente de uma fonte renovável, pode colaborar para a solução de problemas de acúmulos de resíduos de plásticos.

Nesse contexto, o amido tem sido considerado um polímero com alto potencial para esses fins, principalmente no setor de embalagens. Seu perfil atrativo envolve características como baixo custo, alta disponibilidade, renovabilidade e biodegradabilidade. A elaboração de biofilme envolve basicamente três componentes: um agente formador de filme, um solvente e um plastificante (TEXEIRA, 2007).

Os biofilmes elaborados com amido, apesar de apresentarem várias vantagens, apresentam também alguns pontos negativos, como as interações desses filmes com a água (que representam uma séria limitação tecnológica à sua comercialização). As propriedades dos filmes são afetadas pela variação da umidade relativa do ar durante a sua estocagem ou o seu uso (THIRÉ *et al*, 2004).

### 2.2 AMIDOS DE MANDIOCA E MILHO

O amido de mandioca é largamente produzido no mercado nacional, sendo encontrado a baixo preço. Ele e os amidos de milho, batata, arroz e trigo têm sido os mais utilizados comercialmente. O amido é constituído de duas frações: amilose e amilopectina, sendo as quantidades específicas para cada tipo de amido. Esses dois componentes podem ser separados, possibilitando novas “*blendas*” com outras

proporções e aumentando, assim, a sua utilização como embalagem (FARIAS *et al.*, 2012).

O amido é um dos principais componentes da maioria dos vegetais. No Brasil, denomina-se amido o produto extraído das partes aéreas dos vegetais (sementes, etc.) e fécula, o produto obtido da extração das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais (tubérculos, raízes e rizomas) (BRASIL, 1978). A definição geral de “amido”, porém, abrange amidos e féculas.

De acordo com SILVA (2005), as principais fontes de amido são os cereais, as raízes, os tubérculos e as leguminosas. Diversas pesquisas, ao longo de décadas, foram conduzidas na caracterização desse produto quanto às suas características químicas e físicas. Sabe-se que o amido é utilizado nas mais diversas indústrias, destacando-se, principalmente, na indústria de alimentos, de papel e papelão, têxtil e farmacêutica.

Comercialmente, o amido é extraído principalmente do milho, do trigo, da batata e da mandioca. No mundo, são produzidos cerca de 48,5 milhões de toneladas de amido, sendo os EUA responsáveis pela maior produção de amido de milho (24,6 milhões de toneladas, 62,4%) e a União Europeia a maior produtora de amido de batata (1,8 milhão de toneladas, 69,2%) e de trigo (2,8 milhões de toneladas, 68,3%). A produção mundial de outros amidos é de 2,5 milhões de toneladas, com a mandioca como principal fonte (FRANCO *et al.*, 2001). O amido é uma alternativa viável para esse fim, devido a sua biodegradabilidade, baixo custo e disponibilidade (CHANDRA; RUSTGI, 1998).

### 2.3 POLIMERIZAÇÃO DO AMIDO

As reações que levam à formação dos plásticos são chamadas polimerizações. Uma polimerização é uma transformação química em que moléculas pequenas, denominadas de monômeros, juntam-se para formar moléculas maiores, as macromoléculas. A polimerização se parece muito com um jogo de encaixe ou lego, em que a união de blocos pode formar cadeias com ou sem ramificações. Para que a reação de polimerização aconteça, é necessário que os monômeros tenham, no mínimo, funcionalidade igual a dois, ou seja, pontos reativos que sofram a reação em condições adequadas (PIATTI, 2005).

O amido é composto principalmente de duas macromoléculas distintas, a amilose e a amilopectina, ambas contendo de  $\alpha$ -D-(glicose). A amilose é um polímero linear ou ligeiramente ramificado, de massa molecular na faixa de 105 a 106 g/mol, unidas por ligações do tipo  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4). A amilopectina também contém ligações do tipo  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4), mas possui ligações glicosídicas do tipo  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) nos pontos de ramificação. Para a obtenção de um termoplástico à base de amido por técnicas de processamento convencionais, como extrusão e injeção, é necessário destruir o grânulo e sua natureza semicristalina. A estabilidade, a transformação e as propriedades físicas dos materiais à base de amido dependem da natureza das zonas amorfa e cristalina presentes na estrutura do grânulo. A transformação do amido granular em um termoplástico é influenciada pelas condições de processamento como temperatura, teor e tipo de plastificante e fontes do amido utilizado. Água e glicerol são os plastificantes

mais geralmente utilizados para obtenção do termoplástico à base de amido (SILVA, 2003).

### 3 METODOLOGIA

Os amidos de mandioca e milho foram providenciados do almoxarifado do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Para a produção dos biofilmes, foi utilizado o glicerol como agente plastificante.

#### 3.1. PREPARO DOS FILMES

Para obtenção da suspensão dos amidos de mandioca e milho, foram pesados 100 mL de água destilada, com três concentrações diferentes de amido, sendo 3, 5 e 7 gramas, e 30% de glicerol em relação à massa seca de amido utilizada; também foi feita a suspensão com a mistura dos dois amidos. Em seguida, a suspensão foi aquecida, sob agitação mecânica (Figura 1). Após a solução atingir 70°C, a solução foi mantida por 15 minutos em agitação para gelatinização completa do amido. Após esse processo, a solução foi despejada sobre as placas de petri, o mesmo volume para todas as placas. Depois, foi submetida à secagem na estufa a 40°C por 24 horas.

**Figura 1** - (a) gelatinização do amido de milho (b) gelatinização do amido de mandioca



Fonte: Arquivo dos autores, 2019. Fonte: Arquivo dos autores, 2019.

Os filmes foram identificados com códigos para facilitar a escrita e interpretação, Mandioca (MA), Milho (MI) e a mistura dos dois amidos (MIS), representados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Descrição dos códigos usados.

Amostras	Amido (%)	Glicerol (%)
MA3	3	30
MA5	5	30
MA7	7	30
MI3	3	30
MI5	5	30
MI7	7	30
MIS3	3	30
MIS5	5	30
MIS7	7	30

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes foram caracterizados conforme a seleção de melhores concentrações, avaliando-se sua maleabilidade e textura. Posterior a essa seleção, procedeu-se aos testes de espessura, transmitância e solubilidade.

#### 3.2.1 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada com a ajuda de um micrômetro com sensibilidade de 0,01 mm, com média de 5 pontos aleatórios.

#### 3.2.2 Transmitância

A transmitância de luz dos filmes foi determinada utilizando-se Espectrofotômetro Genesys 10 UV, com comprimento de onda de 500 nm. Os filmes foram cortados em retângulos (6mm x 30mm) e aderidos à parede interna da cubeta do espectrofotômetro. A introdução da cubeta vazia (ar) foi considerada a referência (100%). A média foi calculada através de três repetições.

#### 3.2.3 Solubilidade

A determinação da solubilidade foi realizada com filmes de área conhecida, 2 cm<sup>2</sup>, cortados e secos em estufa a 45 °C por aproximadamente 24 h.

Os filmes foram pesados para determinação da matéria seca inicial. Em seguida, foi feita a imersão dos filmes em água destilada. Foi avaliado tempo de contato de 12 h. Posteriormente, os filmes foram filtrados e secos novamente em estufa, colocados em dessecador até a temperatura ambiente, e pesados novamente para determinação da matéria não solubilizada.

A solubilidade dos biofilmes foi expressa em porcentagem e calculada conforme a Equação 1.

$$Sol = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100 \quad [1]$$

*Sol* corresponde à porcentagem de material solubilizado; *Mi*, à massa inicial; *Mf*, à massa final de material não solubilizado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRODUÇÃO DOS FILMES

Durante os testes preliminares de produção dos biofilmes, foram levados em consideração o manuseio e textura. Por isso, o trabalho teve seguimento com as concentrações de 3, 5 e 7% dos amidos de mandioca e milho e 30% de glicerol. Todos os biofilmes gelatinizaram e foram retirados das placas de petri com facilidade, exceto os biofilmes de milho que, no início, estavam pegajosos, mas depois de um tempo já ficaram com uma boa textura.

Percebeu-se que os biofilmes produzidos a partir da mistura dos dois amidos (MIS3, MIS5, MIS7) foram os melhores para manusear e os mais uniformes. A Figura 2 apresenta os biofilmes MIS3, MIS5 e MIS7.

**Figura 2** - Biofilmes MIS3, MIS5 e MIS7 respectivamente



Fonte: Arquivo dos autores, 2019.

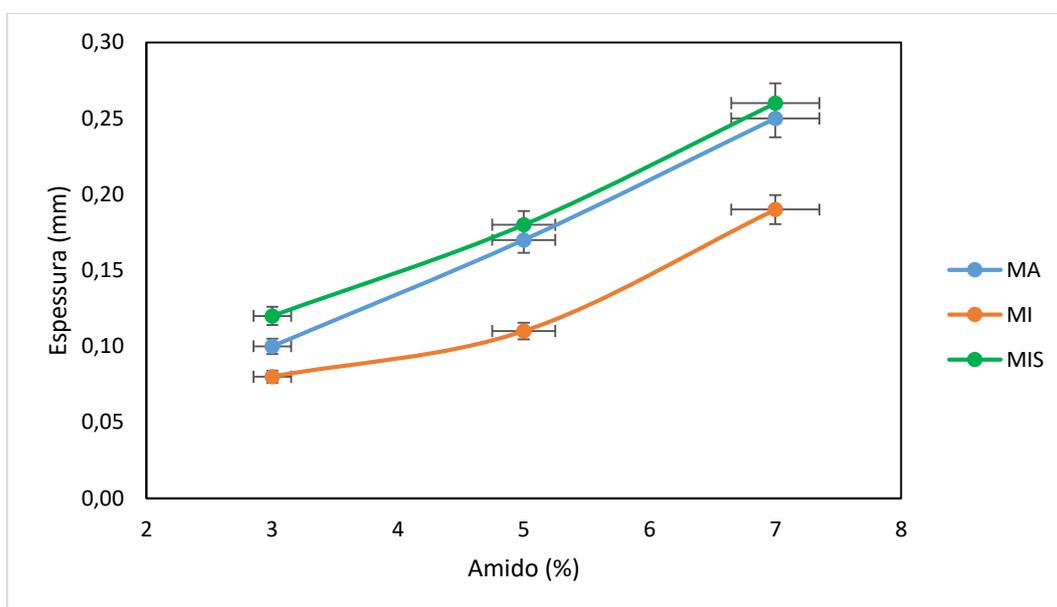
## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Partindo-se das concentrações encontradas, MA3, MA5, MA7, MI3, MI5, MI7, MIS3, MIS5 e MIS7, foram avaliadas as características dos filmes.

### 4.2.1 Espessura

Os biofilmes produzidos com 30 % de glicerol, variando-se a concentração de amidos em 3, 5 e 7 %, de mesmo volume, são apresentados no Gráfico 1.

**Gráfico 1** - Espessura dos biofilmes de 30 % de glicerol com MA3, MA5, MA7, MI3, MI5, MI7, MIS3, MIS5 e MIS7.



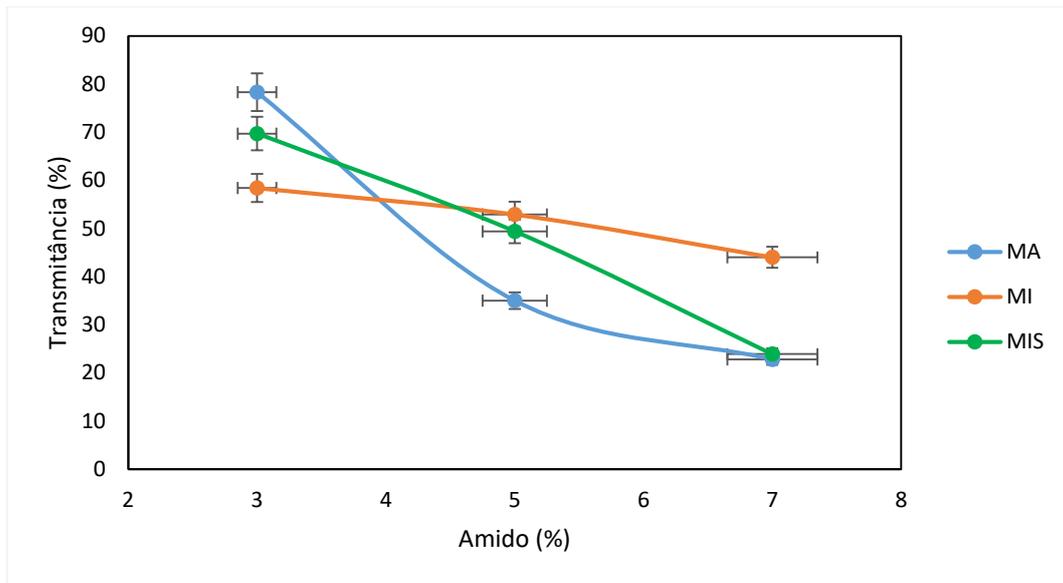
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

De acordo com o gráfico, as espessuras variaram de 0,08 até 0,26 mm. Nota-se que, com o aumento da concentração de amido, a espessura também aumenta.

### 3.2.3 Transmitância

A transmitância teve um efeito negativo com o aumento de concentração do amido, como consequência a opacidade dos biofilmes também variou proporcionalmente de acordo com a concentração de amido. Segundo Alves (2009), quanto maior a concentração de amido, mais opaco será o biofilme. Nota-se essa diferença a olho nu, o que pode ser visto na Figura 2.

O Gráfico 2 apresenta a relação de transmitância e concentração de amido.

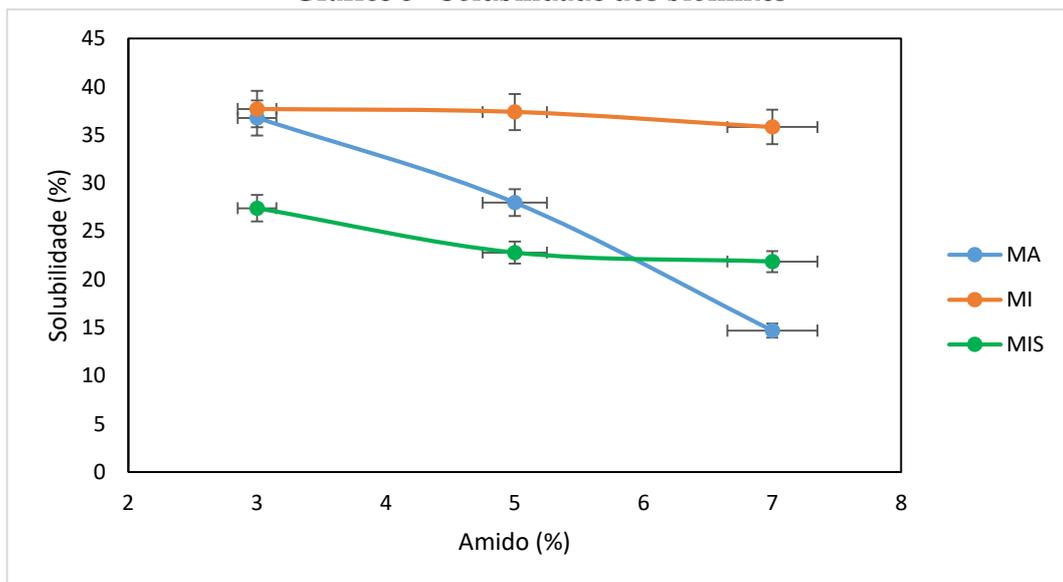
**Gráfico 2 - Transmitância dos biofilmes**

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nota-se, conforme é apresentado no Gráfico 2, que, com o aumento de concentração de amido, a transmitância diminui. Como foi descrito anteriormente, isso mostra que, ao se aumentar a concentração de amido, o biofilme fica mais opaco.

### 3.2.2 Solubilidade

Os valores de solubilidade dos biofilmes produzidos são apresentados no Gráfico 3.

**Gráfico 3 - Solubilidade dos biofilmes**

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A solubilidade dos biofilmes teve pouca variação. Conforme a concentração de amido utilizada aumentou, a solubilidade diminuiu. Nota-se que a solubilidade de nenhum dos biofilmes passou de 40%. Isso mostra que ele resiste bem em contato com água. Petrikoski (2013) observou, em seus estudos, que a solubilidade é influenciada pelos aditivos utilizados, principalmente o plastificante.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos biofilmes produzidos no presente trabalho, concluiu-se que a espessura aumenta com a adição de amido, a transmitância diminuiu com o aumento da concentração de amido, a solubilidade também diminuiu com o aumento de concentração de amido e é influenciada pelo plastificante usado. Os resultados dos biofilmes foram satisfatórios, já que a espessura e a transmitância podem ser ajustadas com a concentração de amido, e a solubilidade com o volume de agente plastificante. Para futuros projetos, devem-se realizar mais testes e ensaios mecânicos e ajustar a concentração de amido e agente plastificante de acordo com a aplicação que se deseja utilizar, pois assim o biofilme pode ser viável para o uso de embalagens.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2012**: Indústria Brasileira de Transformação de Material plástico. 2012. Disponível [http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012\\_versao\\_eletronica.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012_versao_eletronica.pdf).

ALVES, J. S. **Elaboração e caracterização de filmes de amido de milho e parafina**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BORGES, A. L. G; LAURINDO, J. B. Preparação de filmes biodegradáveis de amido de mandioca pelo método tape-casting e com secagem ao sol. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2017, São Carlos. **Anais [...]**, São Carlos, v. 1, n. 4, 2017.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Atual, 1992. v. 2.

BRASIL. Resolução nº 12, de 24 de julho de 1978. Normas Técnicas Relativas a Alimentos e Bebidas (produtos amiláceos e derivados incluídos). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 jul. 1978.

CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable polymers. **Progress in Polymer Science**, Oxford, v. 23, n. 7, p. 1273- 1335, July 1998.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 369-375, abr./jun. 2007.

FARIAS, M. G., F. M.; FAKHOURI, C. W. P.; CARVALHO, J. L. R. ASCHERI. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de Acerola (Malpighia Emarginata D.C.). **Quím. Nova**, São Paulo, v. 35, n. 3, 2012.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 224p (Série Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas, 1).

GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim SBCTA**, v. 30, p. 3-15, 1996.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v. 57, p. 190-195, 1992.

HENRIQUE, Celina Maria; PASCOLI CEREDA, Marney; BRUDER SILVEIRA SARMENTO, Silene. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, 2008.

INNOCENTINI-MEI, L. H.; MARIANI, P. D. S. C. **Visão Geral Sobre Polímeros ou Plásticos Ambientalmente Biodegradáveis PADs**. 2005. Disponível em: [http://www.feq.unicamp.br /images/stories/documentos/dtp\\_edps.pdf](http://www.feq.unicamp.br /images/stories/documentos/dtp_edps.pdf).

LOURDIN, D.; COIGNARD, L.; BIZOT, H.; COLONNA, P. Influence of equilibrium relative humidity and plasticizer concentration on the water content and glass transition of starch materials. **Polymer**, v. 38, n. 21, p. 5401-5406, 1997.0

OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas para a Reciclagem no Brasil**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PETRIKOSKI, A. P. **Elaboração de biofilmes de fécula de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia**. 2013. 130 f. (Mestrado em

Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

PIATTI, Tania M.; RODRIGUES, Reinaldo A. F. **Plásticos**: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió, EDUFAL, 2005

PLASTICS EUROPE. **Plastics the Facts 2012**: an analysis of European production, demand and waste data for 2011. 2012. Disponível em:  
file:///D:/Downloads/FINAL\_PlasticsTheFacts\_Nov2012\_EN\_web\_resolution.pdf

SILVA, A. L. B. B.; SILVA, E. O. da. **Conhecendo materiais poliméricos**. 2003. 84 p. (Grupo de Pesquisa em Novos Materiais) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra; Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

SILVA, W. A. **Elaboração e caracterização de biofilmes obtidos de diferentes fontes de amido**. 2005. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVA, Everton Menezes da. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011.

TEIXEIRA, E. M. **Utilização de amido de mandioca na preparação de novos materiais termoplásticos**. 2007. Tese (Doutorado em Físico-Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

THIRÉ, R. M. S.; SIMÃO, R. A.; ARAÚJO, P. J. G.; ANCHETE, C. A. Redução da hidrofobicidade de filmes biodegradáveis a base de amido por meio de polimerização por plasma. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 14, p. 57-62, 2004.

# Aplicação para análise estatística ligada à pesquisa genética

*Application for statistical analysis linked to genetic research*

**Bruno Alves Caixeta**

Graduando do curso de Sistemas de Informação (UNIPAM)

E-mail: [brunoalvescaixeta@unipam.edu.br](mailto:brunoalvescaixeta@unipam.edu.br)

**José Correa Viana**

Docente do curso de Sistemas de Informação (UNIPAM)

E-mail: [jcorrea@unipam.edu.br](mailto:jcorrea@unipam.edu.br)

**Jeyson Césary Lopes**

Docente do curso de Ciências Biológicas (UNIPAM)

E-mail: [jeysoncl@unipam.edu.br](mailto:jeysoncl@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** Este artigo tem como objetivo propor o uso de um *software* para facilitar e agilizar o modelo da pesquisa de compostos mutagênicos. O método utilizado atualmente no processamento e no registro dos dados resultantes de experimentos é lento e propenso a erros, dificultando o trabalho dos pesquisadores. Considerando-se esses fatores, o uso do software pode melhorar significativamente a qualidade do processo como um todo, desde os cálculos estatísticos utilizados na determinação de um composto causador de mutação genética até a armazenagem dos resultados de forma segura. Assim, os usuários poderão ter um repositório de suas pesquisas e chegar a conclusões mais concretas sobre as causas da mutagênese.

**Palavras-chave:** Mutagênese. Teste SMART. Bioinformática

**Abstract:** This article aims to propose the use of a software to facilitate and streamline the research model of mutagenic compounds. The method currently used in the processing and recording of data resulting from experiments is slow and prone to errors, making it difficult for researchers to work. Considering these factors, the use of the software can significantly improve the quality of the process as a whole, from the statistical calculations used to determine a compound that causes genetic mutation to the safe storage of results. Thus, users will be able to have a repository of their research and reach more concrete conclusions about the causes of mutagenesis.

**Keywords:** Mutagenesis. SMART Test. Bioinformatics.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos dos processos pelos quais as células são mutadas, tanto de maneira espontânea como por agentes ambientais, datam do início do século XX. A importância desses eventos para a saúde e bem-estar da espécie humana tornou-se evidente com a

descoberta de que danos genéticos podiam ser induzidos por raios-X, gás mostarda e vários outros agentes físicos e químicos. (RIBEIRO; SALVATORI; MARQUES, 2003, p.9)

Conforme descrito por Graf *et al* (1984, p. 347), vários testes foram desenvolvidos para auxiliar as pesquisas sobre a mutação genética, entre eles está o teste SMART (*Somatic Mutation and Recombination Test*), que utiliza como cobaia a mosca *Drosophila melanogaster*. O teste consiste na aplicação de fármacos no embrião da mosca para provocar danos ao seu material genético. As células afetadas se multiplicam e se manifestam como manchas nas asas do inseto.

O teste SMART com *Drosophila melanogaster* foi primeiramente descrito por Graf e seus colaboradores em 1984. É caracterizado por ser rápido, barato, produzir resultados confiáveis e facilmente reproduzíveis (Graf *et al.*, 1984, p. 347).

Este trabalho teve como objetivo descrever o desenvolvimento de um software, com o papel de facilitador da pesquisa de fármacos com capacidades mutagênicas, realizando cálculos estatísticos. Tal objetivo permite que estudantes e pesquisadores realizem a análise de resultados de forma rápida e objetiva, minimizando a chance de erros no processamento dos resultados da observação no microscópio.

Para atingir esse objetivo, são apresentadas as seguintes funcionalidades:

- *gerar relatórios de resultados*: mostrar ao usuário um relatório informando os resultados obtidos a partir dos dados observados no teste SMART realizado por ele.
- *armazenar relatórios*: salvar os relatórios gerados para que o usuário possa consulta-los posteriormente e comparar resultados.
- *realizar cálculos estatísticos*: executar cálculos necessários para obter o resultado do teste de forma rápida e simples para o usuário.

Quanto à abordagem metodológica, o presente trabalho seguiu a linha quantitativa, pois se baseou em procedimentos sistemáticos e no levantamento de estatísticas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção tem por objetivo tratar dos seguintes conteúdos: genética e câncer, mosca *Drosophila melanogaster* e teste SMART, análise estatística, bioinformática, *framework .Net Core* e *framework Vue.js*.

### 2.1 GENÉTICA E CÂNCER

O câncer provém de mutações genéticas em que as células passam a adquirir capacidades especiais, como descontrole na reprodução celular, evasão de apoptose,

invasão de outros tecidos e angiogênese (formação de novos vasos sanguíneos) (MARTINEZ *et al.*, 2006, p.405).

Conforme afirmam Rang *et al.* (2007, p.718), o “O câncer é caracterizado como uma das principais causas de morte nos países desenvolvidos, sendo que um terço da população será vítima dessa doença durante a vida”.

## 2.2 *Drosophila melanogaster*

Como apontado por Vogel *et al.* (1999, p.427), a *Drosophila melanogaster* é utilizada como objeto de estudo da área genética há mais de um século. Conhecida como mosca da fruta, o pequeno inseto permite identificar elementos capazes de afetar os genes.

O teste SMART de asa em *D. melanogaster* fundamenta-se na premissa de que, durante o desenvolvimento embrionário, grupos de células (os discos imaginais das asas) proliferam mitoticamente até o ponto em que se diferenciam, durante a metamorfose, em estruturas que originam as asas das moscas adultas. Esse bioensaio faz uso de dois genes marcadores para a forma dos pelos das asas: pelos múltiplos (*mwh*, 3-0.3) e pelos cujo formato lembra uma ‘chama de vela’, do inglês *flare* (*flr<sup>3</sup>*, 3-38.8) – baseando-se na indução de alterações genéticas que originam a perda de heterozigose em células larvais, que são heterozigotas para estes dois genes recessivos (Graf *et al.*, 1984, p. 347).

Quando ocorre uma alteração genética em uma das células que estão se dividindo por mitose, é formado um clone de células mutantes, que pode ser detectado fenotipicamente como uma mancha mutante na superfície das asas dos adultos. A análise das lesões induzidas é feita pela observação de grupos de células (clones mutantes), que expressam fenotipicamente os genes marcadores *flr<sup>3</sup>* ou *mwh*, responsáveis por mudanças na forma dos pelos ou tricomas (Graf *et al.*, 1984, p. 347).

## 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O registro e análise de dados têm sido, desde muitos séculos, instrumentos essenciais à compreensão do mundo que nos rodeia. Os físicos, por exemplo, registravam os dados resultantes de suas experiências e, posteriormente, analisavam-nos em busca de uma lei que explicasse os resultados obtidos (MARTINS *et al.*, 2007, p.11).

Assim como dito por Kurichi e Sonnad (2006, p. 476), a análise estatística reportada nas pesquisas científicas proporciona aos pacientes e profissionais ligados à área da saúde a oportunidade de interpretar os dados gerados pela pesquisa e de utilizarem-nos em benefício de todos.

Para testar as hipóteses formuladas, vários testes são aconselhados: (i) o teste Binomial Condicional (Teste de Kastenbaum e Bowman) é o mais recomendado, podendo ser utilizado mesmo que o número de manchas seja pequeno; (ii) o teste Qui-quadrado para proporções pode ser utilizado somente quando o número esperado de mutações, tanto no controle como no tratado, não for menor ou igual a 5; (iii) o Teste U de Wilcoxon, Mann-Whitney com correção para as caudas, é recomendado nos casos em que a variabilidade individual (entre experimentos e/ou entre sexos) contribui significativamente para a dispersão dos dados (FREI; WÜRGLER, 1988, p. 297).

## 2.4 BIOINFORMÁTICA

Conforme descrito por Feltes *et al.* (2014, p. 3), as origens da bioinformática datam da década de 50 com a publicação da pesquisa de James Watson e Francis Crick sobre a molécula de DNA em forma de hélice. Com diversos estudos sendo realizados na área, surgiu a necessidade de visualizarem-se as moléculas de forma tridimensional para agilizar a análise delas. Isso foi possível com o desenvolvimento de programas de computador já na década de 60.

Ainda segundo Feltes *et al.* (2014, p. 3), a quantidade de dados vem aumentando em um ritmo acelerado e não dá indícios de que irá parar. Novas descobertas e estudos geram um volume maior de dados, sendo necessário que a bioinformática acompanhe, na mesma proporção, com melhorias de hardware, software e modelos de construção e análise de dados.

## 3 METODOLOGIA

A metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do trabalho segue padrões de metodologia ágil, mais especificamente do Framework Scrum.

Um dos conceitos-chave do Scrum é que os membros da equipe decidem, eles mesmos, como irão executar o trabalho. A responsabilidade da direção da empresa é estabelecer os objetivos estratégicos, e o trabalho da equipe é decidir como atingi-los (SUTHERLAND, 2014, p. 38).

O termo Scrum vem do jogo de rúgbi, em que o time se junta com um único objetivo: levar a bola no campo adversário. Todo o seu objetivo fica às claras, um alinhamento previsível e cuidadoso, tudo se unindo entre os membros. Uma tática perfeita para o que uma equipe deseja fazer (SUTHERLAND, 2014, p. 38). A Figura 1 apresenta os papéis presentes no *Scrum*.

**Figura 1** — Papéis do Scrum

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Cada membro do time é alocado em uma função conforme apresentado na Figura 1. Um dos desenvolvedores é eleito “*Scrum Master*”, cujo papel se assemelha a um gerente de projetos. O *Scrum Master* trabalha para que o processo Scrum aconteça e para que não existam impedimentos para os membros da equipe realizarem seu trabalho (CARVALHO; MELLO, 2012, p. 557).

Outro papel importante no método é o do Dono do Produto (*Product Owner*). Esse membro do time geralmente representa o cliente (interno ou externo). Ele define quais são os requisitos e qual é o grau de importância e prioridade de cada um deles. Esse membro necessita conhecer muito bem as regras de negócios do cliente, de forma que ele possa tirar qualquer dúvida que o time possa ter em relação às funcionalidades do produto (CARVALHO; MELLO, 2012, p. 557).

Geralmente esses métodos dividem o desenvolvimento em diversas iterações de ciclos mais curtos (no caso do *Scrum* e para o presente trabalho, estes ciclos são chamados de *Sprints*) e realizam entregas ao final de cada uma delas (CARVALHO; MELLO, 2012, p. 557).

Um exemplo de organização de *Sprints* é apresentado no Quadro 1. São definidos os objetivos finais que se deseja atingir ao término da *Sprint*.

**Quadro 1** – Relação dos Sprints conforme framework Scrum

Sprint	Atividades
Sprint 1	Definir cálculos que a aplicação deve realizar. Implementar cálculos e testar.
Sprint 2	Definir Layout e estrutura da aplicação. Implementar tela inicial do aplicativo.
Sprint 3	Implementar lógica de login. Desenvolver tela de login. Definir modelo do relatório.
Sprint 4	Implementar layout do relatório. Definir layout da tela de relatório.
Sprint 5	Implementar tela de relatório. Validação das funcionalidades.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para o desenvolvimento da aplicação, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- *Visual Studio Code*: IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) com recursos voltados para o desenvolvimento em diversas linguagens de programação.
- *Visual Studio 2019*: IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) oficial da *Microsoft* para desenvolvimento de aplicações utilizando *.NET*.
- *.NET Framework*: iniciativa da *Microsoft* com objetivo de ser uma plataforma única de desenvolvimento e execução de sistemas; códigos gerados para *.NET* podem ser executados em qualquer dispositivo que possua um framework dessa plataforma.
- *.NET Core*: variação da plataforma *.NET Framework* com suporte para sistemas operacionais Linux e MacOS.
- *C#*: linguagem de programação multiparadigma, de tipagem forte, desenvolvida junto da plataforma *.NET*.
- *ITextSharp*: biblioteca da linguagem *C#* para geração e formatação de arquivos.
- *Vue.js*: biblioteca *Javascript* para desenvolvimento de componentes reativos para interfaces web
- *Vuetify.js*: biblioteca de componentes para aplicativos *Vue.js*.
- *GIT*: sistema de controle de versão para gerenciamento do código fonte e obtenção de todo o histórico dele.

O Guia do *.NET Core* é uma plataforma de desenvolvimento de código aberto de uso geral mantida pela Microsoft e pela comunidade *.NET* no *GitHub*. É uma plataforma cruzada (compatível com *Windows*, *macOS* e *Linux*), que pode ser usada no desenvolvimento de dispositivos, na nuvem (*.NET CORE*, 2019).

A versão mais recente é o *.NET Core 3,0*. Os novos recursos incluem o suporte à área de trabalho do Windows com o Windows Presentation Foundation (C# WPF) e o Windows Forms, o desenvolvimento da Web de pilha completo com mais de um novo C# C# e muito mais (*.NET CORE*, 2019).

Vue (pronuncia-se /vju:/, como *view*, em inglês) é um framework progressivo para a construção de interfaces de usuário. Ao contrário de outros frameworks monolíticos, Vue foi projetado desde sua concepção para ser adotável incrementalmente. A biblioteca principal é focada exclusivamente na camada visual (view layer), sendo fácil adotar e integrar com outras bibliotecas ou projetos existentes. Por outro lado, Vue também é perfeitamente capaz de dar poder a sofisticadas Single-Page Applications quando usado em conjunto com ferramentas modernas e bibliotecas de apoio (VUE.JS, 2019).

O sistema de componentes também é outro importante conceito no Vue, por ser uma abstração que proporciona a construção de aplicações de larga escala, compostas por pequenos componentes, autocontidos e frequentemente reutilizáveis. Geralmente qualquer tipo de interface de uma aplicação pode ser abstraída em uma árvore de componentes. No Vue, um componente é essencialmente uma instância Vue com opções predefinidas. (VUE.JS, 2019).

#### 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Na fase inicial do trabalho, foi necessário analisar o fluxo utilizado para processar os resultados dos testes realizados com as moscas e realizar pesquisas sobre os conceitos ligados à área da biologia envolvidos no desenvolvimento para garantir que o resultado final fosse compreendido com clareza e exatidão pelos usuários.

As moscas são expostas ao composto que se deseja estudar ainda durante a sua fase embrionária. Ao se tornarem adultas, suas asas são observadas com a ajuda de um microscópio, buscando manchas causadas por mutação genética.

A partir da análise ao microscópio, foi montado um arquivo de texto conforme a Figura 2. Cada linha do arquivo representa uma asa de uma mosca, apresentando a seção da asa e a quantidade de manchas de cada tipo identificadas nela. As linhas em branco apontam asas em que não foram identificadas manchas.

**Figura 2** — Arquivo de texto para extração de dados

```
* Tratamento: Descendentes MH do cruzamento ST controle negativo H20
* Lâmina 1
*
1
2
3
4
5
6
7 CD1-0
8
9
10 E2-0
11
12
13
14
15 D3-0
16 C1-0
17
18
19 A1-0 C1-0 C2-0 C2-0 CD2-0 C2-0 E2-0 E1-0
20 B1-0 B1-0 B2-0 C2-0 C1-0 C1-0 D1-0 E1-0 E1-0 E2-0 E1-0 E1-0
* Tratamento: Descendentes MH do cruzamento ST controle negativo H20
* Lâmina 2
*
1 D1-0 D83-0 E1-0
2
3
4 E2-0 E3-0
5
6
7 E25-0
8
9
10
11
12
13
14
15 C4-0
16 C1-0
17
18
19
20
* Tratamento: Descendentes MH do cruzamento ST controle negativo H20
* Lâmina 3
*
1
2 B1-0
3 A14-0
4
```

**Fonte:** Dados da pesquisa, 2019.

Os dados do arquivo de texto eram então transferidos para uma tabela *Excel*, onde eram executadas duas macros responsáveis por contar as manchas de cada tipo e separá-las em classes de acordo com regras que eram desconhecidas dos próprios pesquisadores. Em seguida, essas informações eram inseridas em uma segunda tabela para serem realizados cálculos estatísticos e para se chegar a uma conclusão se o composto testado era mutagênico. Esse método se mostrou ineficiente por ser desnecessariamente complexo e pouco intuitivo.

Muitas vezes, os arquivos de texto eram excluídos ou perdidos, assim como os resultados. Esse tipo de pesquisa é frequentemente usado por alunos de ciências biológicas em seus trabalhos e os professores precisavam acompanhar o processo com muita atenção para que não fossem cometidos erros na utilização das tabelas.

As tabelas foram criadas no ano de 1999, e a lógica responsável pela classificação estava protegida por uma senha que se perdeu com o tempo. Para acessá-la, foi necessário quebrar a segurança padrão do *Excel*. Através de uma técnica que consiste em converter as tabelas em arquivos hexadecimais e remover ou alterar as linhas que contêm a senha, foi possível acessar os códigos na linguagem *Visual Basic*, que continham as lógicas para reproduzi-las na aplicação.

Após se obterem as regras das tabelas, foi criada uma aplicação em C# para receber os dados. A pedido da equipe de pesquisa, o uso do arquivo de texto da Figura 2 foi mantido por ser um modelo padronizado que é repassado aos alunos no laboratório. Dessa forma, a aplicação faz a leitura e o processamento do arquivo, salvando os resultados em um banco de dados relacional.

A Figura 3 mostra os dados obtidos do arquivo da Figura 2, em que MSP, MSG e MG são tipos de mancha e cada mancha é atribuída a uma classe (de 1 a 10) de acordo a quantidade de células do tipo MSP. É possível também marcar o resultado como um controle, indicando que será utilizado como base para determinar se algum composto é mutagênico em comparação a ele.

**Figura 3** — Resultado da Extração

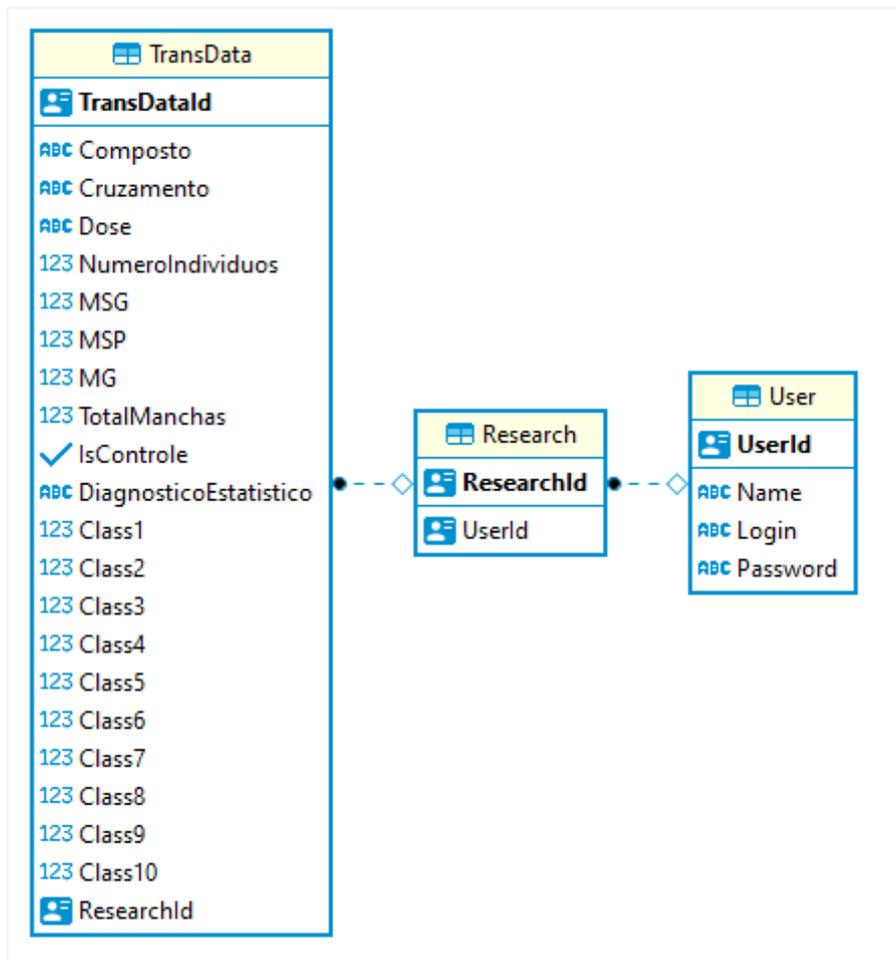
```
"msg": 9,  
"msp": 61,  
"mg": 0,  
"totalManchas": 70,  
"isControle": false,  
"diagnosticoEstatistico": null,  
"class1": 37,  
"class2": 24,  
"class3": 6,  
"class4": 0,  
"class5": 1,  
"class6": 1,  
"class7": 0,  
"class8": 1,  
"class9": 0,  
"class10": 0,
```

**Fonte:** Dados da pesquisa, 2019.

Para atribuírem-se os resultados a um usuário específico e agrupá-los de acordo com o estudo realizado, foi criado o modelo relacional exposto na Figura 4.

Cada usuário pode criar várias *Researches* (pesquisas) que são formadas por várias *TransData* (dados transformados). Dessa maneira, é possível, por exemplo, testar o mesmo composto com diferentes concentrações e comparar os resultados dentro da mesma pesquisa, além de melhorar a organização.

**Figura 4** – Modelo do Banco Relacional



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Após criar uma pesquisa e incluir os dados referentes a ela, o usuário pode gerar um relatório no formato PDF com os resultados de cálculos estatísticos de distribuição binomial, como exposto na Figura 5. Caso os dados de análise sejam alterados, basta que o usuário gere um novo relatório.



A aplicação foi desenvolvida com foco no teste SMART, porém a proposta de informatização poderá futuramente abranger outros tipos de experimentos das ciências biológicas, sendo necessária a implementação das funcionalidades requeridas pelo teste que se deseja incluir na aplicação.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados, uma vez que o uso das tabelas *Excel* foi removido do fluxo de trabalho, e os resultados obtidos foram os mesmos, com maior praticidade e menor risco de erro.

O desafio do trabalho consistiu na interpretação de todos os cálculos estatísticos utilizados para se obter o resultado final, já que, em alguns casos, valores arredondados ou fatores em ordem errada podem afetar a conclusão sobre a natureza do composto analisado. Foram realizados testes com vários dados para validar os resultados, todos obtiveram sucesso, comprovando a eficácia da aplicação em reproduzir o fluxo das tabelas.

A mutagênese está atrelada ao desenvolvimento de diversos tipos de câncer, uma das maiores causas de morte da atualidade. A busca por um tratamento que seja menos agressivo e que erradique completamente a doença é um dos grandes desafios da ciência moderna.

A quantidade de pesquisas cresce, acompanhando a revelação de novas descobertas. Assim sendo, aumenta-se a necessidade de se processarem os dados rapidamente e de se armazenarem os resultados de modo organizado e de fácil acesso.

## REFERÊNCIAS

.NET CORE. **Guia do .NET Core**. 2019. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/core/>.

CARVALHO, B. V.; MELLO, C. H. P. Aplicação do método ágil *scrum* no desenvolvimento de produtos de *software* em uma pequena empresa de base tecnológica. **Gest. Prod.**, São Carlos, v.19, n. 3, p. 557-573, 2012.

FELTES, B. C. *et al.* Origens. **Bioinformática: da biologia à flexibilidade molecular**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular, 2014. v.1, p. 3-6.

FREI, H.; WÜRGLER, F. E. Statistical methods to decide whether mutagenicity test data from *Drosophila* assays indicate positive, negative or inconclusive result. **Mutation Research**, v. 203, p.297-308, 1988.

GRAF, U.; WURGLER, F. E.; KATZ, A. J.; FREI, H.; JUON, H.; HALL, C. B.; KALE, P. G. Somatic Mutation and Recombination Test in *Drosophila melanogaster*. **Environmental Mutagen**, v. 6, p. 347-377, 1984.

KURICHI, J. E.; SONNAD, S. S. Statistical methods in the Surgical Literature. **Journal of the American College Surgeons**, v. 202, p.476-484, 2006.

MARTINEZ, M. A. R. *et al.* Molecular genetics of non-melanoma skin câncer. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 8, n. 5, p. 405-419, 2006.

MARTINS, M. E. G *et. al.* Dados e variáveis. *In: Análise de dados: texto de apoio para os professores do 1.º ciclo.* Lisboa: Ministério da Educação, 2007.

RANG, H. P. *et al.* Quimioterapia do câncer. **Farmacologia**, v. 6, p. 718-736, 2007.

RIBEIRO, L. R.; SALVATORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. **Mutagênese Ambiental.** Canoas: Editora da ULBRA, 2003.

SUTHERLAND, J. **Scrum: a arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo.** São Paulo: LeYa, 2014

VOGEL, E. W.; GRAF, U.; FREI, H. J.; NIVERD, M. M. J. The results of assay in *Drosophila* of exposure to carcinogens. **International for research on Cancer**, v.146, p. 427-470, 1999.

VUE.JS. **Introdução.** Guia do Vue.js, 2019. Disponível em: <https://br.vuejs.org/v2/guide/index.html>.

# Comparação da alta disponibilidade implementada no *PfSense* e no *Mikrotik*

## *Comparison of the high availability implemented in PfSense and Mikrotik*

**Omar Junio Antunes Vieira**

Graduando do Curso de Sistemas de Informação (UNIPAM)

E-mail: [omarjav@unipam.edu.br](mailto:omarjav@unipam.edu.br)

**José Corrêa Viana**

Professor Orientador (UNIPAM)

E-mail: [jcorrea@unipam.edu.br](mailto:jcorrea@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O presente artigo traçou um comparativo da implementação de alta disponibilidade entre dois sistemas operacionais, *PfSense* e *Mikrotik RouterOS*, visando a identificar qual forneceria melhor funcionalidade do sistema. Assim, foram propostas duas soluções para identificar qual teria melhor desempenho em suas funcionalidades, garantindo o melhor funcionamento dos serviços de rede, melhorando o tempo de resposta mediante a presença de falhas. Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os conceitos de redundância, *failover* e *load balance*. Todo o projeto foi implementado no *VirtualBox* e utilizou o *software Zabbix*. Concluiu-se que as duas soluções obtiveram resultados bem parecidos, porém o *PfSense* fornece um ambiente mais instável.

**Palavras-chave:** *PfSense*. *Mikrotik RouterOS*. *Load balance*. *Failover*. *Multi Wan*.

**Abstract:** This paper drew a comparison of the implementation of high availability between two operating systems, *PfSense* and *Mikrotik RouterOS*, in order to identify which would provide better system functionality. Thus, two solutions were proposed to identify which would perform better in its functionalities, guaranteeing the best functioning of the network services, improving the response time through the presence of failures. For the development of the work, the concepts of redundancy, *failover* and *load balance* were used. The entire project was implemented in *VirtualBox* and used the *Zabbix* software. It was concluded that the two solutions achieved similar results, but *PfSense* provides a more unstable environment.

**Keywords:** *PfSense*. *Mikrotik RouterOS*. *Load balance*. *Failover*. *Multi Wan*.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A construção de modernos parques computacionais, com regras de negócios bem definidas, tarefas automatizadas e infraestrutura de comunicação de dados de alta velocidade, tem vários objetivos, dentre eles os principais são aumentar a lucratividade e a competitividade. Desde sistemas bancários até caixas de supermercados e padarias,

os computadores há tempos desenvolvem papéis fundamentais no cotidiano da sociedade moderna.

No entanto, como exemplo da inoperância do sistema computacional, é possível observar o caos em aeroportos devido a problemas no funcionamento do sistema que controla as aeronaves ou até mesmo a irritação de um cliente em uma fila parada de caixa de supermercado. Porém, isso ocorre não apenas em tais tipos de serviços, mas também em empresas cujo maior objetivo é exatamente a oferta de algum serviço computacional, como comércio eletrônico, notícias, hospedagem de sites Web, aplicações distribuídas etc.

Para tais ambientes, em que os sistemas de computação são um fator de grande relevância e caracterizam partes críticas do sistema global de uma organização, é necessário desenvolver plano de contingência para otimizar o desempenho das atividades do processo e da alta disponibilidade, garantindo, assim, melhor funcionamento desses sistemas e evitando eventuais problemas que acarretariam prejuízos materiais e financeiros.

A gerência de redes de computadores é um dos instrumentos utilizados para a elaboração de estratégias que visem à melhoria do nível das operações e execuções das atividades de sistemas computacionais críticos, pois inclui o oferecimento, a integração e a coordenação de elementos de hardware e software e dispõe de pessoas para monitorar e realizar ações, objetivando satisfazer às exigências operacionais de desempenho e de qualidade de serviço de sistemas computacionais.

Com isso, pode-se propor um balanceamento de carga para se obter melhor desempenho entre as interfaces de rede, melhorando o tempo de resposta, e a alta disponibilidade para se prover tolerância a falhas, garantindo, assim, a disponibilidade dos serviços de rede.

O objetivo deste trabalho foi propor duas soluções que prometem utilizar ferramentas para proporcionar a construção de um ambiente capaz de realizar balanceamento de carga, remodelando requisições entre as interfaces de rede e redundância, transferindo as tarefas de um sistema centralizado para um novo sistema computacional.

Posto isso, foi criado mecanismo de balanceamento de carga de requisições em serviços, dados e informações. Com a redundância, foi possível absorver as requisições de serviços dos clientes e distribuí-las de maneira coordenada para outra máquina, com melhoria do desempenho da prestação dos serviços envolvidos, o que garantiu a alta disponibilidade. Para alcançar esse objetivo, essas soluções abordaram os conceitos de *load balance*, *failover* e multi WAN.

Este trabalho apresenta a implementação de um ambiente de alta disponibilidade no *PfSense* e no *Mikrotik RouterOS*. As soluções foram implementadas por meio do sistema de virtualização, utilizando *Linux Ubuntu* e *Slackware*, sistema operacional e *software* livre, como clientes da rede, e *software Zabbix*, para monitoração de ativos de rede na testagem do desempenho de cada solução. Desta forma, pretendeu-se ter um *firewall* estável, seguro, com alta disponibilidade e baixo custo.

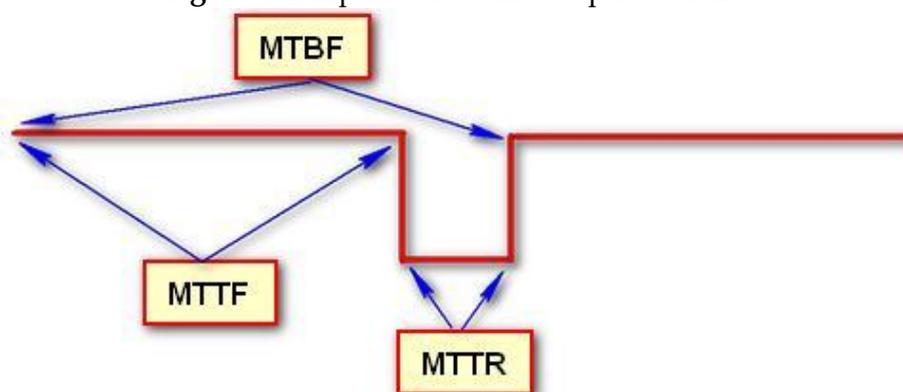
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção tem por objetivo apresentar os conceitos relacionados à alta disponibilidade, *PfSense*, *Mikrotik RouterOS*, *Zabbix*, *Multi WAN*, *failover* e *load balance*.

## 2.1 ALTA DISPONIBILIDADE

A disponibilidade de um sistema computacional é definida como sendo a probabilidade de um sistema estar funcionando e pronto para o uso em um dado momento. A Figura 1 apresenta a relação entre MTBF (*Mean Time Between Failures*), MTTR (*Maximum Time To Repair*) e MTTF (*Mean Time To Failures*) (ALDEVAN, 2013).

**Figura 1** Tempo médio: falhas reparos e falhas



Fonte: ALDEVAN, 2013

O MTTR normalmente depende do SLA (*Service Level Agreement*) acordado. Nos exemplos aqui apresentados vamos utilizar um número apenas para uso didático. O Quadro 1 apresenta uma disponibilidade de 1 nove (90%) até 5 naves (99,999%) e os tempos de parada (indisponibilidade ou *downtime*) por ano (ALDEVAN, 2013).

**Quadro 1** - Relação por tempo de indisponibilidade

Tipo de sistema	Disponibilidade	Tempo de Inatividade / Ano	Noves
Não Gerenciado	90%	52,560 minutos	1 nove
Gerenciado	99%	5,256 minutos	2 nove
Bem Gerenciado	99,9%	526 minutos	3 nove
Tolerantes a Falhas	99,99%	314 minutos	4 nove
Alta Disponibilidade	99,999%	314 segundos	5 nove

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Para chegar a esse tempo, foram utilizados o MTBF do equipamento e o tempo que leva para reparo dele. Nos equipamentos em que se exige alta disponibilidade, um bom número é o que se chama de 5 naves, já que o tempo de *downtime* é de apenas 314

segundos por ano. A Equação 1 a seguir apresenta a disponibilidade de um sistema, em que  $D$  é a disponibilidade do sistema (ALDEVAN, 2013):

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)} \quad \text{Equação 1}$$

## 1.2 PFSENSE

O software *PfSense* é uma distribuição personalizada de código aberto do *FreeBSD*, especificamente adaptada para uso como um *firewall* e roteador que é inteiramente gerenciado via interface Web. Além de ser uma plataforma de roteamento e *firewall* poderosa e flexível, ela inclui uma longa lista de recursos relacionados e um sistema de pacotes que permite mais expansibilidade sem adicionar vulnerabilidades de segurança e inchadas à distribuição de base. O projeto *PfSense* é hospedado e desenvolvido pela *Rubicon Communications, LLC* (Netgate) (*PFSENSE, s/d*).

### 1.2.1 CARP e pfSync

A combinação de *CARP*, *pfsync* e a sincronização de configuração fornece a funcionalidade de alta disponibilidade no *PfSense*. Configuram-se dois ou mais *firewalls* como um grupo de falha. Se o *firewall* primário ficar *off-line*, o secundário se torna ativo automaticamente. O *PfSense* inclui a capacidade de sincronização de configuração, ou seja, qualquer alteração de configuração feita no primário automaticamente é sincronizada com o *firewall* secundário. A tabela de estado do *firewall* é replicada para todos os *firewalls* de *failover* configurado. Isso significa que suas conexões existentes serão mantidas em caso de falha, o que é importante para se evitarem interrupções de rede, impactando o negócio da empresa (4LINUX, s/d).

## 1.3 MIKROTIK

É uma empresa da Letônia fabricante de equipamentos para redes de computadores. Sua frente de produção trabalha especialmente com produtos *wireless* e roteadores, muito utilizados por provedores de banda larga e empresas dos mais diversos segmentos (LEANDRO, 2018).

### 1.3.1 RouterOS

O principal produto da *Mikrotik* é o *RouterOS*, um sistema operacional baseado em *Linux*, que permite que uma plataforma x86 torne-se um roteador. Nessa condição, ele possui diversas funções, como Proxy, VPN (*Virtual Private Network*), *Firewall*,

*Hotspots*, QoS, Controle de Banda, e outras. O acesso às funções varia conforme a licença adquirida (LEANDRO, 2018).

É possível criar uma rede segura com o *RouterOS*, além de haver suporte de protocolos de roteamento BGP (*Border Gateway Proocol*), RIP (*Routing Information Protocol*), OSPF (*Open Shortest Pathe Fist*), MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), etc. Existem alguns métodos para administrar esse ambiente, como o Console (CLI – linha de comando), *Winbox* (GUI), WEB (configuração em ambiente WEB) e Dude (LEANDRO, 2018).

#### 1.4 ZABBIX

A ferramenta de monitoramento de redes *Zabbix* oferece uma interface 100% Web para administração e exibição de dados. O servidor *Zabbix* coleta dados para o monitoramento sem agentes e de agentes. Quando alguma anormalidade é detectada, alertas são emitidos visualmente, através de uso de sistemas de comunicação como e-mail e SMS. O servidor *Zabbix* mantém histórico dos dados coletados em banco de dados (*Oracle*, *MySQL* e *PostgreSQL*), de onde são gerados gráficos, painéis de acompanhamento e *slide-shows*, que mostram informações de forma alternada (4LINUX, s/d).

##### 1.4.1 Zabbix Agent

O agente *Zabbix* é instalado nos hosts e permite coletar métricas comuns - específicas de um sistema operacional, como CPU (*Central Processing Unit*) e memória. Além disso, o agente *Zabbix* permite a coleta de métricas personalizadas, com uso de scripts ou programas externos, permitindo a coleta de métricas complexas e até tomada de ações diretamente no próprio agente *Zabbix* (4LINUX, s/d).

#### 1.5 MULTI WAN

Uma WAN abrange uma grande área geográfica, ou seja, é semelhante a uma grande LAN (*Local Area Network*) cabeada. Normalmente, em uma WAN, os hosts e a sub-rede são proprietários e são administrados por diferentes pessoas (TANENBAUM, 2011). Já a multi WAN permite o uso de múltiplas conexões a essa grande área na Internet, com balanceamento de carga e/ou *failover*, para melhorar a disponibilidade de Internet e a distribuição do uso da banda (4LINUX, s/d).

#### 1.6 FAILOVER

O *failover* é a capacidade de determinado sistema/serviço migrar automaticamente para outro servidor, sistema ou rede redundante ou que está em *standby* quando da ocorrência de falha ou do término anormal do servidor, do sistema ou da rede que estava ativa até aquele instante. O *failover* acontece sem intervenção humana e geralmente sem aviso prévio. Reciprocamente, o *failback* é o processo de restauração de um sistema/componente/serviço que se encontra em um estado de *failover* (ou seja, aquela máquina onde estava rodando o serviço que apresentou problemas) de volta a seu estado original que estava antes da falha (APPUNIX, 2011).

## 1.7 LOAD BALANCE

O objetivo do balanceamento de carga é criar um sistema que virtualize o trabalho dos servidores físicos que executam aqueles serviços. Uma definição mais básica é a de equilibrar a carga entre vários servidores físicos que atendem a uma demanda específica e, com isso, fazer com que eles trabalhem de tal forma que aparente ser um grande servidor para o mundo externo (AGILITY, 2016).

Há muitos motivos para se fazer isso, no entanto, os principais pontos podem ser resumidos em escalabilidade, alta disponibilidade e previsibilidade. A escalabilidade é a capacidade de adaptação fácil e dinâmica ao aumento da carga, sem impacto sobre o desempenho atual. A virtualização de serviços oferece uma oportunidade interessante para a escalabilidade. Se o serviço no ponto de contato do usuário estivesse separado do servidor, o reescalonamento do aplicativo significaria apenas adicionar mais servidores, que não seriam visíveis ao usuário final (AGILITY, 2016).

## 2 METODOLOGIA

O presente trabalho teve como base a implementação de uma infraestrutura de rede de alta disponibilidade, considerando, mesmo diante de falhas, a capacidade de manter o sistema e os serviços de rede funcionando normalmente, sem alterar o fluxo de trabalho de uma empresa.

Para isso, foi feita pesquisa sobre o assunto, realizado o planejamento de execução das tarefas, desenvolvidos os projetos e por fim implementada cada solução, além de um servidor de monitoramento para validação dos testes imposto em cada solução desenvolvida.

Para a etapa de desenvolvimento, foram utilizadas as subseqüentes ferramentas:

- *VirtualBox*: programa de virtualização da *Oracle*, que permite instalar e executar diferentes sistemas operacionais em um único computador.
- *Ubuntu*: sistema operacional de código aberto, construído a partir do núcleo *Linux*, baseado no *Debian*, para instalação do software *Zabbix* e como cliente da rede.

- *Slackware*: sistema operacional de código aberto, uma das mais antigas e conhecidas distribuições *GNU/Linux*, como cliente da rede.
- *PfSense*: sistema operacional de código aberto baseado em *Unix FreeBSD*, adaptado para ser usado como um *firewall* e/ou roteador.
- *Draw.io Diagrams*: é um software de diagrama *on-line* gratuito, para fazer fluxogramas, diagramas de processo, organogramas, UML (*Unified Modeling Language*) e diagramas de rede.
- *Trello*: aplicação web para gerenciamento de projetos. Será utilizada para organização de todas as atividades, categorizando as que estão em fila, em execução e finalizadas.

Para levantamento das informações de cada solução, foi implementado um servidor *Zabbix* para monitorar e disponibilizar os resultados de cada teste imposto no projeto, implementados em cada ambiente, *PfSense* e *Mikrotik*.

### 3 RESULTADOS

No primeiro momento, foram realizadas pesquisas sobre balanceamento de carga, *failover*, e multi WAN e suas subáreas, para implementação no *PfSense* e no *Mikrotik RouterOS*, e cenários para aplicação desse modelo de configuração.

Os procedimentos iniciais se basearam em fazer diagrama do projeto a ser desenvolvido, precedendo de um levantamento de requisitos do que é necessariamente composta a infraestrutura para uma rede de alta disponibilidade, usando o *PfSense* e no *Mikrotik RouterOS*.

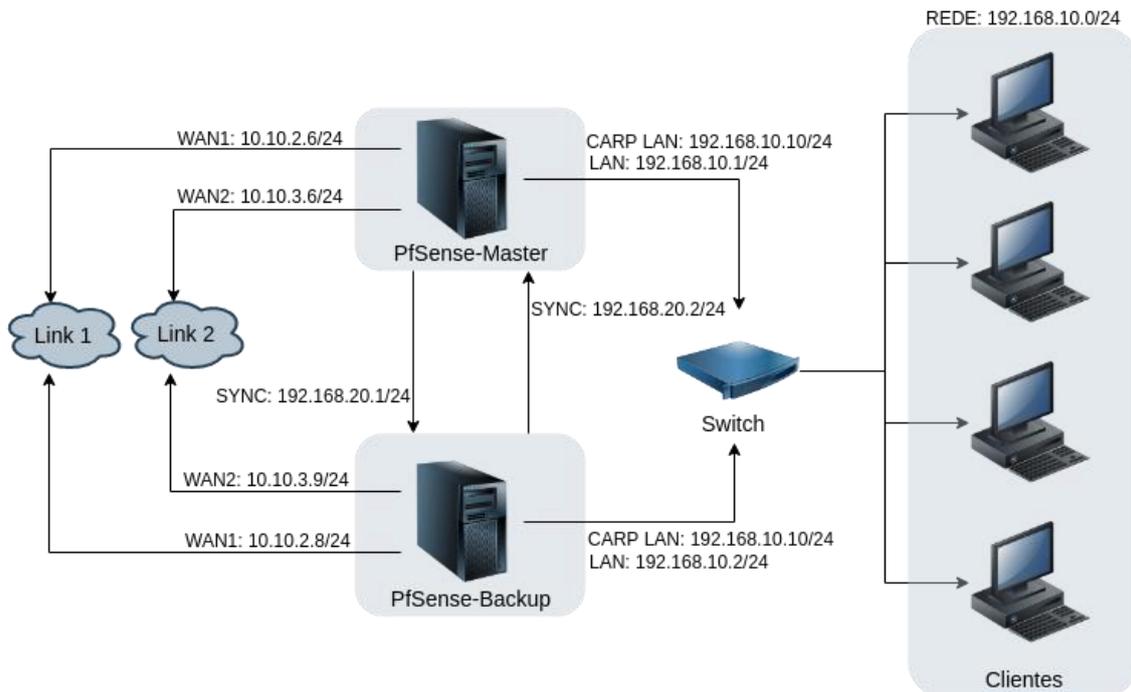
O desenvolvimento das soluções foi realizado no *VirtualBox*, um sistema capaz de instalar diferentes sistemas virtualizados. Para implementação da solução, foi preciso preparar a plataforma onde as máquinas virtuais seriam instaladas, e definir as configurações básicas de *hardware* para implementação do *PfSense* e do *Mikrotik RouterOS*. Como se pode ver no Quadro 2, foi feita a padronização de *hardware* para as duas soluções, baseada nos requisitos mínimos recomendados para instalação do *PfSense*, segundo informações oficiais no próprio site.

**Quadro 2** – Definições de *hardware*

Sistema Operacional	Processador	Memória RAM	Placa de rede
<i>PfSense</i> 4.2 v2.4.4 amd64	CPU -1Ghz	1GB	4
<i>Mikrotik RouterOS</i> v6.36 x86			

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

A Figura 2 apresenta uma estrutura de rede implementada no *PfSense*, de alta disponibilidade caso venha ocasionar alguma falha. A sua implementação foi dividida em cinco fases.

Figura 2 – Diagrama de rede implementado no *PfSense*

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Na primeira etapa, foram realizadas as definições das interfaces de rede WAN e LAN: duas interfaces de rede com descrições WAN1 e WAN2, para simulação dos links que dão acesso à navegação na internet para as estações da rede interna, e uma interface com descrição LAN, que faz a comunicação com a rede interna com atribuição de IP (*Internet Protocol*) via DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

Na segunda etapa, fez-se a implementação da alta disponibilidade e redundância entre os dois *PfSense*. Para isso, foi utilizada uma interface de rede com a descrição SYNC, que faz a comunicação entre os dois *PfSense*, com base no conceito de IP Virtual (VIP) do tipo CARP.

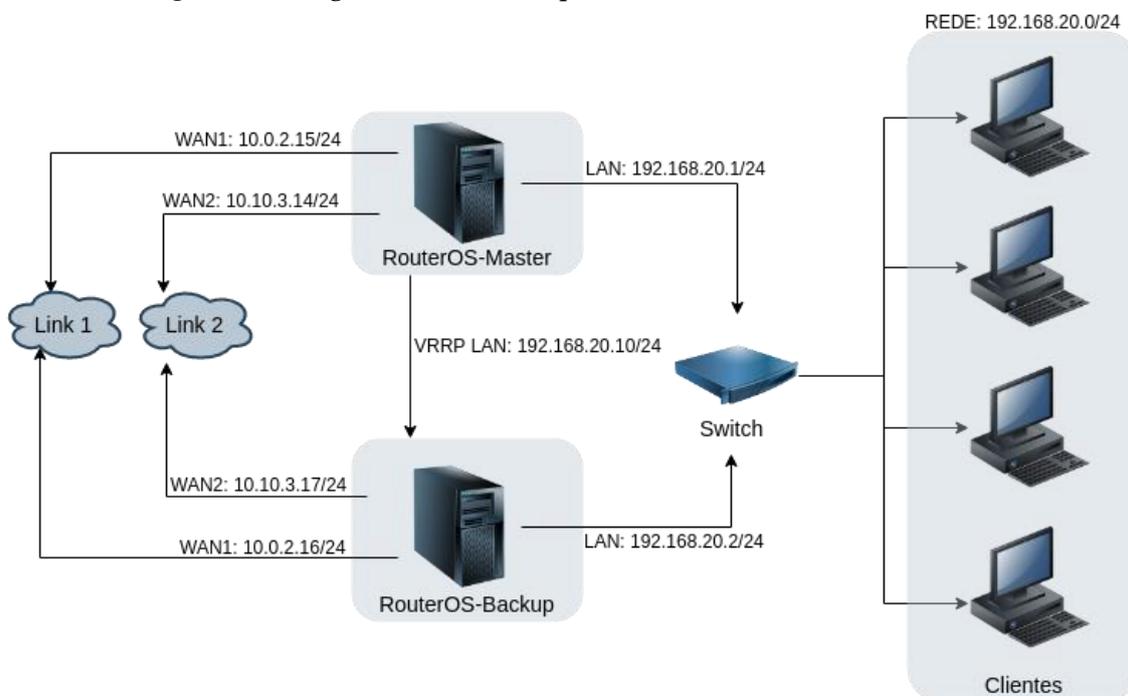
Na terceira etapa, foi feita a configuração de balanceamento de carga nas interfaces de rede WANs, criando-se um grupo de gateways com camada de prioridades iguais para as duas interfaces. Esse grupo foi utilizado como o gateway na interface de rede LAN, a fim de que as requisições para internet fossem balanceadas entre as interfaces de saída WAN.

Na quarta etapa, a configuração do *failover* foi realizada para as interfaces de rede WANs, criando-se um grupo de gateways com camada de prioridade diferente para as duas interfaces. Esse modelo foi utilizado para se determinar a prioridade entre as interfaces; utilizou-se uma interface de saída WAN. Caso ela caísse, a outra interface de rede assumiria as requisições para a internet.

Na quinta etapa, foi realizada a validação das configurações. Foram necessários ajustes de regras de *firewall* para comunicação entre os *PfSense*, acesso à internet e configuração de NAT (*Network Address Translation*) para que as máquinas da rede interna pudessem navegar na internet.

A Figura 3 apresenta uma estrutura de rede implementada no *Mikrotik RouterOS*, de alta disponibilidade caso haja alguma falha.

**Figura 3** – Diagrama de rede implementado no *Mikrotik RouterOS*



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

A implementação no *Mikrotik RouterOS* teve etapas bem parecidas com as da implementação no *PfSense*, porém utilizaram-se conceitos e métodos diferentes em algumas etapas. Na implementação da alta disponibilidade e redundância entre os dois *Mikrotik RouterOS*, utilizou-se o conceito de vr (*Virtual Router Redundancy Protocol*), no qual o *RouterOS-Master* e *RouterOS-Backup* são membros de um *Mikrotik VRRP* (*Virtual Router Redundancy Protocol*) do mesmo VRID (*Virtual Router Identifier*), porém o *RouterOS-Master* tem prioridade maior do que o *RouterOS-Backup*.

Para o balanceamento de carga nas interfaces de rede WAN no *Mikrotik RouterOS*, utilizou-se o conceito de marcação de rotas que entra no roteador. Essa configuração foi realizada na seção *Firewall* do *Mikrotik RouterOS*, onde é configurado *Chain* do tipo *prerouting* com as marcações WAN e outra WAN2, fazendo com essa marcação seja atribuída nas configurações de rotas estáticas para as interfaces de saída WAN1 e WAN2, respectivamente.

Para a configuração do *failover*, utilizou-se o conceito de rotas, em que foi preciso configurar três rotas estáticas no *RouterOS-Master* e três no *RouterOS-Backup*: uma rota com o nome Principal designada a interface de rede WAN1, outra rota com o nome Backup designada a interface de rede WAN2 e a última que faz ping a cada minuto para o IP 8.8.8.8, saindo pela interface de rede WAN1, checando assim a disponibilidade dessa interface de rede. Caso ela não conseguisse acesso ao host com sucesso, ela trocava a sua rota de Principal para a Backup, automaticamente.

As outras configurações como nome de interface de rede, regras de *firewall*, NAT, servidor DHCP na interface de rede LAN seguiram o mesmo procedimento. Após a implementação da alta disponibilidade nos dois sistemas, foram realizados quatro testes diferentes para saber qual solução teria maior desempenho. Para isso, utilizou-se o *Zabbix* para coleta e cálculo automático dos resultados.

O principal fator considerado nos resultados foi o SLA, que é o acordo de nível de serviços entre as partes interessadas e o *Service HTTP (HyperText Transfer Protocol)*. O SLA é composto por dois itens: a disponibilidade do *host*, em que, a cada segundo, o *Zabbix* verificava se máquina estava ativa, e o *Service HTTP*, que é o resultado de um script escrito em Shell que faz um ping no IP do Google e checava se o código de estado HTTP era igual a 200, resposta de requisição bem-sucedida.

O Quadro 3 apresenta o resultado do primeiro teste, que simulava uma indisponibilidade de *hardware*, causando uma falha a cada 15 minutos durante 24 horas.

**Quadro 3** – Resultado do teste: falha de *hardware*

	RouterOS-Master	RouterOS-Backup	PfSense-Master	PfSense-Backup
SLA	58,1568	98,6692	49,527	99,6075
<i>Service HTTP</i>		23,9s		3,66s
<i>Uptime Média</i>	00h09m14s	-	00h07m34s	-

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Segundo esse resultado, o *PfSense* teve um SLA menor, porque, ao se desligar, ele demorava muito para ser ligado novamente, gerando assim uma média de *uptime* menor em relação ao *Mikrotik RouterOS*, porém ele obteve menor tempo de indisponibilidade no serviço Web, porque ele consegue detectar que houve uma falha mais rapidamente e passar assim as requisições para o servidor de backup.

O Quadro 4 apresenta o resultado do segundo teste, o *failover*, que, através de processo automático, simulava uma falha na interface LAN e WAN a cada 14 segundos de forma alternada, com um intervalo entre as falhas de 1 minuto, durante 24 horas.

**Quadro 4** – Resultado do teste de *failover*

	RouterOS-Master	RouterOS-Backup	PfSense-Master	PfSense-Backup
SLA	52,1843	98,2449	52,7074	99,3885
<i>Service HTTP</i>		13,65s		2,38s

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

O *Mikrotik RouterOS* teve maior tempo de resposta a uma falha, segundo o resultado *Service HTTP*, isso porque ele demorou, no mínimo, 1 minuto para fazer uma requisição no IP 8.8.8.8, detectando assim a falha, migrando para o servidor que estava em *standby*.

No Quadro 5 é apresentado o resultado do terceiro teste, o *load balance*. Para esse teste, utilizaram-se duas máquinas clientes (*Ubuntu e Slackware*) que faziam três *downloads* em cada uma ininterruptamente durante 24 horas.

**Quadro 5** – Resultado do teste de *load balance*

	RouterOS-Master	RouterOS-Backup	PfSense-Master	PfSense-Backup
<i>Input</i> WAN1	12,35Mbps	63,99bps	10.45Mbps	991.86bps
<i>Output</i> WAN1	174,37Kbps	117,49bps	170.39Kbps	1.09Kbps
<i>Input</i> WAN2	11,54Mbps	0,0948bps	9.77Mbps	921.5bps
<i>Output</i> WAN2	167,82Kbps	56,06bps	159.5Kbps	653.77bps

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Pôde-se observar que não houve diferença entre os seus balanceamentos entre os links de internet, mesmo usando métodos de aplicabilidade diferente. O resultado entre os dois é o mesmo tanto para entrada de dados (*input*) quanto para saída de dados (*output*).

O Quadro 6 apresenta o resultado do quarto teste, de performance. Para esse teste, utilizou-se uma máquina clientes (*Ubuntu*), que fazia três *downloads* ininterruptamente durante 24 horas. Nesse processo, o *Zabbix* media como cada servidor se comportava em diversos aspectos.

**Quadro 6** – Resultado do teste de performance

	RouterOS-Master	RouterOS-Backup	PfSense-Master	PfSense-Backup
SLA	99,8530	99,8530	99,9803	99,9803
<i>Service</i> HTTP		1,32		1,13
<i>Used memory</i>	19,69MB	19,5MB	148,79MB	109,13MB
<i>Load average</i> (1m)	13,01%	0%	24,40%	7,22%
LAN <i>downtime</i>	0	0	0	0
WAN <i>downtime</i>	0	0	0	0
ICMP <i>loss</i>	0,0507%	0%	0%	0%
ICMP <i>reponse time</i>	0,47ms	0,55ms	0,32ms	0,35ms
<i>Input</i> WAN1	18,41Mbps	56,13bps	19,45Mbps	962,56bps
<i>Output</i> WAN1	195,85Kbps	64,14bps	299,26Kbps	1,06Kbps
<i>Input</i> WAN2	0,0948bps	0,0632bps	932,9bps	931,68bps
<i>Output</i> WAN2	56,06bps	56,13bps	653,32bps	652,17bps
<i>Input</i> LAN	234,81bps	253,56bps	340,31Kbps	19,8Mbps
<i>Output</i> LAN	32bps	32,05bps	19,44Mbps	3,26Kbps

Fonte: Dados da pesquisa, 2019

Como se pôde observar, não houve diferença nas duas soluções. As duas apresentaram que, diante das operações normais do dia a dia, com o ambiente favorável, sem nenhuma tratativa de incidentes, conseguem entregar resultados esperados similares.

#### 4 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo a implementação de uma infraestrutura de rede com alta disponibilidade, oferecendo aos provedores de serviços uma maior confiabilidade em seus sistemas, evitando-se assim transtornos e até perda de dinheiro por descumprimento do SLA.

Para a implementação dessa solução no *Mikrotik RouterOS*, exige-se maior conhecimento na parte de redes de computadores no geral. Ela apresenta ser específica e menos intuitiva, o que dificulta a implementação. Já o *PfSense* é uma plataforma mais intuitiva, ajudando na agilidade das configurações, e não exige tanto conhecimento da área.

Os testes impostos em cada solução, em sua maioria, não apresentaram muita diferença, apenas o *PfSense* que, no teste de *failover* e no teste de indisponibilidade de *hardware*, demonstrou ser mais instável, detectando a falha e realizando o *failover* e o *failback* com maior agilidade; porém, no teste de indisponibilidade de máquina, ele teve um desempenho menor por demorar mais para ligar e desligar seu sistema.

Já nos demais testes, as duas soluções se mantiveram com os resultados praticamente idênticos, principalmente quando se trata do balanceamento de carga. Conclui-se que as duas soluções podem ser aplicadas em ambientes similares, porém o *PfSense* se destacou bem quando o assunto é instabilidade.

Para projetos futuros, pode-se implementar essa solução em ambiente real, com máquinas não virtualizadas e mais robustas, com dois links de internet e com redundância de energia para proporcionar um ambiente favorável. Levanta-se a hipótese de que, com máquinas melhores, seja possível minimizar o tempo de ligação do *Pfsense*, otimizando-se os resultados do uso destas tecnologias como um todo.

#### REFERÊNCIAS

4LINUX. **O que é PfSense.** s/d. Disponível em: <https://www.4linux.com.br/o-que-e-pfsense>.

4LINUX. **O que é Zabbix.** s/d. Disponível em: <https://www.4linux.com.br/o-que-e-zabbix>.

AGILITY. **A história do balanceamento de carga.** 2016. Disponível em: <http://www.agilitynetworks.com.br/blogdaagility/a-historia-do-balanceamento-de-carga>.

ALDEVAN. **Calcular disponibilidade e indisponibilidade dos ativos de rede.** 2013. Disponível em: <https://under-linux.org/entry.php?b=3069>.

APPUNIX. **O que é Failover, Failback e SwitchOver.** 2011. Disponível em: <https://appunix.com.br/o-que-e-failover-failback-e-switchover.html>.

LEANDRO. **O que é Mikrotik.** 2018. Disponível em: <https://www.4infra.com.br/o-que-e-mikrotik/>.

PFSENSE. **Faça um tour pelo pfSense.** s.d. Disponível em: <https://www.pfsense.org/about-pfsense>.

SIGNIFICADOS. **Significado de Kanban.** S.d. Disponível em: <https://www.significados.com.br/kanban>.

TANENBAUM, Andrew Stuart. **Redes de Computadores.** 5. ed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2011.

VIEIRA, Omar Junio Antunes. **Comparação da alta disponibilidade implementada no PfSense e no Mikrotik.** 2019. Disponível em: <https://github.com/omarjuav/Alta-disponibilidade-PfSense-e-Mikrotik>.

# Inteligência artificial aplicada à segurança da informação

## *Artificial intelligence applied to information security*

**Alex Bruno Gonçalves Almeida**

Graduando do curso de Sistemas de Informação (UNIPAM)

E-mail: alexbga@unipam.edu.br

**Juliana Lilis da Silva**

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: juliana@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Este artigo aborda a aplicação de técnicas da inteligência artificial (IA) na segurança da informação, visando à identificação de arquivos executáveis maliciosos e legítimos. Para comprovar a eficiência da aplicação, é apresentada uma análise da capacidade e desempenho de detecção do conteúdo malicioso em relação às ferramentas utilizadas no mercado atual. No desenvolvimento do trabalho, foi empregada a linguagem de programação *Python* e técnicas de aprendizado de máquina.

**Palavras-chave:** *Malware*. Inteligência Artificial. Aprendizado de Máquina. Segurança da Informação.

**Abstract:** This article addresses the application of artificial intelligence (AI) techniques in information security, aiming to identify malicious and legitimate executable files. To prove the efficiency of the application, an analysis of the capacity and performance of detection of malicious content is presented in relation to the tools used in the current market. In the development of the work, Python programming language and machine learning techniques were used.

**Keywords:** *Malware*. Artificial Intelligence. Machine Learning. Information Security.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a tecnologia teve um enorme avanço em todo o mundo. A cada dia, surgem novidades nas mais diversas áreas de atuação, seja corporativa, seja comercial, seja educacional, que irão facilitar a vida dos usuários. Quando se fala em tecnologia, já se tem em mente uma grande quantidade de dados que estão sempre envolvidos. Tais dados podem estar expostos a ameaças, acidentais ou intencionais, a roubos ou até mesmo a modificações externas.

Percebe-se também que a quantidade de usuários que utilizam a internet vem crescendo cada vez mais, porém o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://ibge.gov.br/>.

apresenta que “um total de 63,4 milhões de pessoas com faixa etária superior aos 10 anos de idade informaram não usar a *web*. Destes, 37,8% disseram que não sabem usar e outros 37,6% que não se interessam pelo recurso” (PNAD, 2018). Essas informações podem ser usadas, a princípio, para se pensar na utilização da internet e como sua má utilização pode agravar fatores como a segurança da informação.

Outro ponto a ser observado é que atualmente empresas estão investindo mais na segurança da informação devido à grande quantidade de ataques cibernéticos que têm ocorrido nos últimos tempos, sendo o crime cibernético a maior ameaça à sobrevivência das organizações (ALLEN, 2013). Os crimes cibernéticos afetam a segurança dos dados, por isso, para qualquer negócio, a proteção, a longo prazo, acaba sendo extremamente positiva.

Diante de tantos fatores críticos a serem preservados, há uma necessidade de uma proteção que possa controlar o tráfego de redes em diferentes níveis de confiança, que possa racionalizar o uso dos recursos de rede e mitigar riscos que podem ser expostos.

Nesse contexto, a proposta desse trabalho foi empregar a inteligência artificial (IA) interligada à segurança da informação, realizando comparações entre ferramentas de segurança convencionais de mercado com uma ferramenta de segurança que utiliza IA. O objetivo foi comprovar que essa ferramenta é capaz de identificar se o objeto analisado apresenta sinais de risco ao usuário. Ela pode ainda atuar na detecção de falsos positivos, para que assim o usuário tenha uma melhor tomada de decisão sobre o objeto presente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção visa a expor conceitos abordados no trabalho.

### 2.1 SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

A segurança de informação é caracterizada pela aplicação adequada de dispositivos de proteção sobre um ativo (ou um conjunto de ativos), visando a preservar o valor que este possui para as organizações. A aplicação dessas proteções busca preservar a Confidencialidade, a Integridade e a Disponibilidade (CID), não estando restritas somente a sistemas ou aplicativos, mas também a informações armazenadas ou veiculadas em diversos meios além do eletrônico ou em papel (BASTOS; COUBIT, 2009).

Quando se fala em segurança da informação, refere-se a tomar ações para garantir a confidencialidade, a integridade, a disponibilidade e os demais aspectos da segurança das informações dentro das necessidades do cliente (LYRA, 2008). Esses três principais pilares estão definidos a seguir:

- Confidencialidade: “Garantia de que o acesso à informação é restrito aos seus usuários legítimos.” (BEAL, 2008, p. 1). Ou seja, seu acesso é permitido apenas a determinados usuários.

- Integridade: “Toda informação deve ser mantida na mesma condição em que foi disponibilizada pelo seu proprietário, visando a protegê-las contra alterações indevidas, intencionais ou acidentais” (SÊMOLA, 2003, p. 45). Ou seja, informação não adulterada.

- Disponibilidade: “Garantia de que a informação e os ativos associados estejam disponíveis para os usuários legítimos de forma oportuna” (BEAL, 2008, p. 1). Ou seja, independentemente da finalidade, a informação deve estar disponível.

Na segurança da informação, o rompimento de qualquer um desses pilares pode trazer enormes efeitos negativos a uma organização, como a parada inteira da linha de produção até a total exposição de dados confidenciais.

## 2.2 ANTIVÍRUS

Desempenhando o papel de um vigia vinte e quatro horas, que monitora todas as atividades de um computador, um antivírus é um software que detecta, impede e atua na remoção de softwares maliciosos (CANALTECH, 2014), que podem surgir por meio de sites de conteúdo duvidoso, e-mails, pendrives, *download* de arquivos entre diversos modos.

Para ocorrer as detecções dos conteúdos maliciosos, os antivírus rastreiam informações e comparam o comportamento dos novos arquivos com as informações que já estão guardadas em suas bases de dados (VLCEK, 2015). Devido a essa função, as empresas de antivírus sempre buscam manter sua base interna de dados atualizada, coletando assinaturas que servem como impressões digitais dos vírus (VLCEK, 2015), o que faz com que sempre tenham que correr atrás dos criadores de conteúdos maliciosos.

## 2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Sendo uma das ciências mais recentes, a IA teve seu início após a segunda Guerra Mundial, atuando em áreas como aprendizado e percepção e até em tarefas específicas como jogos de xadrez. A IA sistematiza e automatiza tarefas intelectuais e, portanto, é potencialmente relevante para qualquer esfera da atividade intelectual humana. Nesse sentido, ela é um campo universal (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Na ciência da computação, a IA é definida como a capacidade de um sistema interpretar, aprender e usar dados para atingir resultados antes não alcançados (KAPLAN; HAENLEIN, 2019). Surgiu na década de 50, com o objetivo de desenvolver sistemas para resoluções de problemas e simular eventos do ser humano, como pensar.

Na IA, percebe-se o processamento de símbolos da computação a fim de se encontrarem métodos genéricos para automatizar atividades perceptivas e cognitivas, por meio de um computador (PEREIRA, *s.d.*), podendo inclusive comportar aspectos de psicanálise e aspectos de psicossíntese.

## 2.4 APRENDIZADO DE MÁQUINA

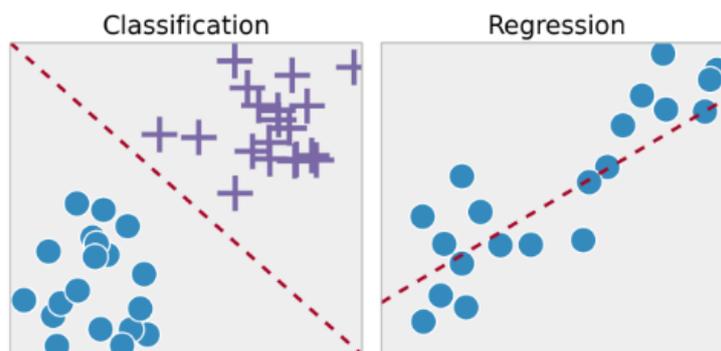
Sendo parte de um dos ramos da inteligência artificial, aprendizado de máquina, ou *Machine Learning* (ML), relaciona-se à construção de programas, que automaticamente melhoram com sua experiência (MITCHELL, 1997). É perceptível a importância do aprendizado de máquina à medida que a computação vai evoluindo. O aprendizado de máquina trouxe grandes inovações ao mundo. Nota-se a grande movimentação em relação aos carros autônomos e até em recomendações de filmes e músicas que uma pessoa possa consumir.

Isso ocorre devido à grande facilidade de se criarem algoritmos que possam coletar dados e aprender com eles e conseqüente realizar uma previsão sobre alguma coisa no mundo (COPELAND, 2016). Alguns métodos de aprendizado são utilizados para se chegar ao resultado esperado, como a classificação supervisionada.

### 2.4.1 Aprendizado Supervisionado

Algoritmos aplicados com aprendizado supervisionado possuem a capacidade de aplicar o que foi aprendido no passado a novos dados, usando exemplos rotulados para prever eventos futuros (EXPERT SYSTEM, 2017). Nesse tipo de aprendizado, há a possibilidade de se aplicarem pesos ou de se calibrarem níveis de assertividade e de precisão de um modelo. São divididos em dois grupos que, são representados na Figura 1.

**Figura 1** – Exemplo de Classificação e Regressão



Fonte: BARROS, 2016.

Os grupos apresentados na Figura 1 são definidos a seguir:

- **Classificação:** adiciona-se uma entrada e atribui-se um rótulo a ela, então são métodos usados com objetivo de respostas binárias (BARROS, 2016); é usado neste trabalho com a capacidade de prever se um arquivo executável é malicioso ou legítimo, por meio das características recebidas desse arquivo.

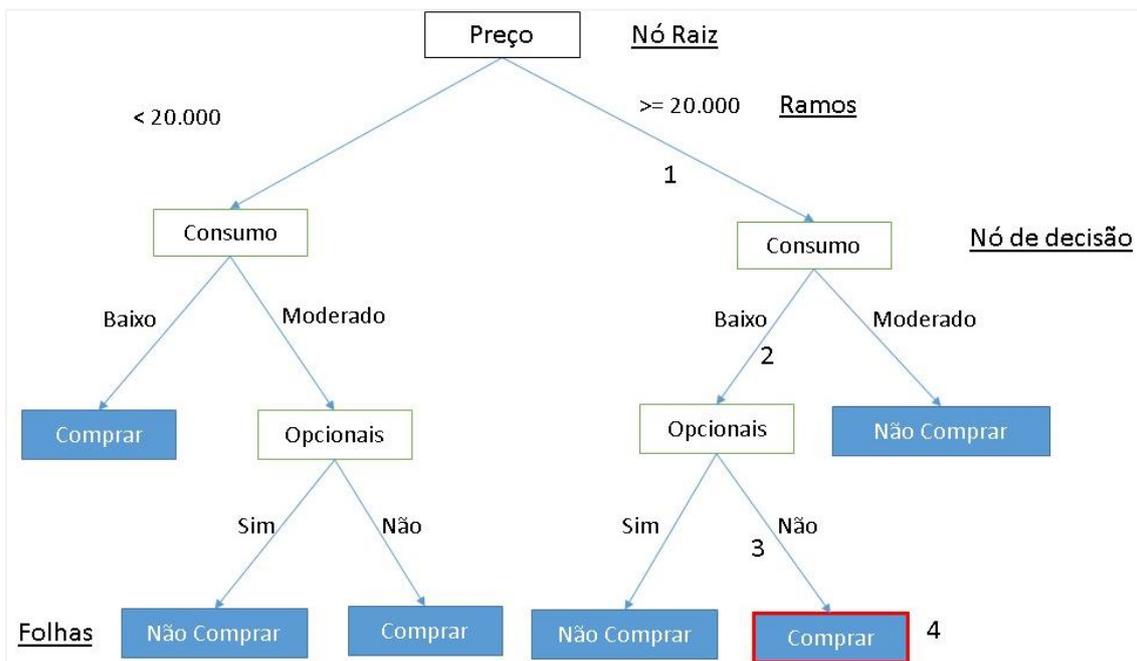
- Regressão: são métodos usados com previsões não binárias (BARROS, 2016); são aplicados a modelos de perguntas como “Qual idade?” ou “Quanto custa?”, ou seja, dada a imagem de um homem ou mulher, o modelo teria capacidade de prever a idade dessa pessoa.

E ainda podem existir algoritmos que utilizam o método misto, ou seja, podem utilizar partes de regressão para fazer a classificação ou o oposto.

#### 2.4.1.1 Árvores de Decisão

Extremamente utilizada em problemas de classificação, árvore de decisão é uma ferramenta de suporte à decisão, que usa gráfico ou modelo de decisão baseado em uma árvore (BRID, 2018). Nas árvores de decisão, cada nó interno representa um “teste” em um atributo, cada ramo representa o resultado do teste, cada nó da folha atribui uma classificação e, por fim, caminhos da raiz representam as regras de classificação (DEVMEDIA, 2014), como representados na Figura 2.

**Figura 2** – Exemplo de Classificação e Regressão



Fonte: DEVMEDIA, 2014.

A ideia básica de qualquer algoritmo de árvore de decisão é, inicialmente, selecionar o melhor atributo, torná-lo um nó de decisão e dividir o conjunto de dados em subconjuntos menores. Inicia-se a construção da árvore repetindo esse processo recursivamente para cada filho até que as condições de parada correspondam à não existência de mais instâncias e atributos restantes, e todas as tuplas pertencerem ao mesmo valor de atributo (NAVLANI, 2018).

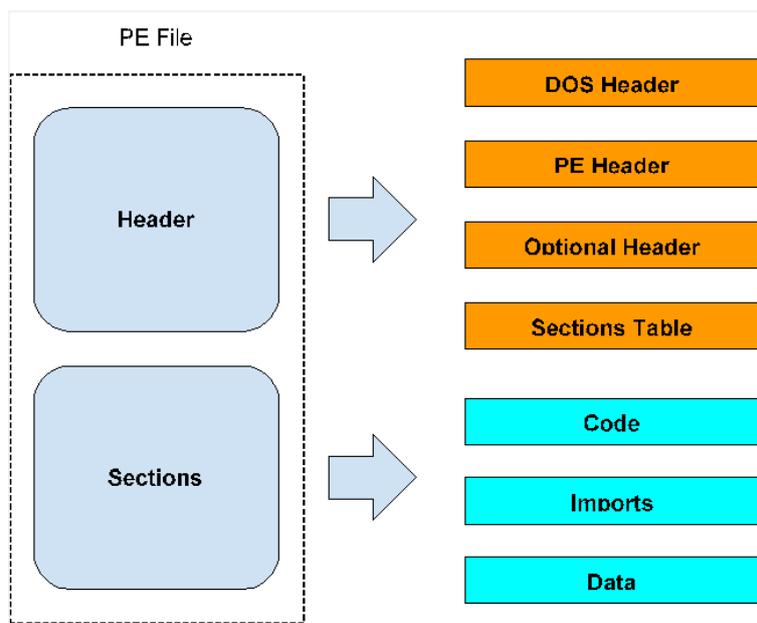
## 2.5 WINDOWS PORTABLE EXECUTABLE (PE)

Sendo o espelho de um sistema operacional, o formato do *Portable Executable* (PE) tem um papel fundamental em todos os sistemas operacionais da Microsoft (PIETREK, 1994). É o formato que possui a estrutura padrão de armazenamento de dados de arquivos, onde são encapsuladas informações como código, dados de inicialização, sequência de execução, checagem de compatibilidade de versão do sistema operacional, entre várias outras informações.

O formato PE é composto por cabeçalhos e sessões, sendo que cada um deles possui outras características importantes para compor totalmente a estrutura de um arquivo PE. Essas características são presentes em arquivos com a extensão *exe*, *dll* e *sys*. Observando a Figura 3, pode-se entender um pouco sobre como é a estrutura citada.

O *Header* ou cabeçalhos, como o nome sugere, consiste na sequência de *bits* que descrevem os dados no início do arquivo (WIKIBOOKS, 2018). É o setor onde se encontram a assinatura do cabeçalho PE, bibliotecas que serão usadas para execução e funcionamento do arquivo executável, versão do sistema operacional, descrição de como a memória deverá ser tratada entre diversas informações (WIKIBOOKS, 2018).

**Figura 3** – Estrutura de um arquivo PE.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Conforme mostra a Figura 3, *Sections* ou sessões é o local onde estão salvos instruções, recursos, dados e informações do arquivo, sendo também onde se encontra o código do arquivo executável (DEV MEDIA, 2005). A Figura 4 representa como é um pouco do cabeçalho PE. Nesse caso, foi utilizando *Python 2.7* para capturar as características.

**Figura 4** – Captura de informações do PE.

```

1 #Biblioteca usada para capturar arquivos PE
2 import pefile
3 #Arquivo de exemplo a ser usado para coletar os exemplos
4 exe_path = "/home/alexbruno/TCC/MalwareDetect/exe-dir/legitimate/atmlib.dll"
5 #Capturando todas as informacoes PE do arquivo selecionado
6 pe = pefile.PE(exe_path)
7 #Mostrando na tela apenas as caracteristicas selecionadas abaixo
8 print("[*] Machine value: %s" % pe.FILE_HEADER.Machine)
9 print("[*] e magic value: %s" % hex(pe.DOS_HEADER.e_magic))
10 print("[*] Signature value: %s" % hex(pe.NT_HEADERS.Signature))

```

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

No código, é usada a biblioteca *Pefile*, e o arquivo usado como exemplo para se terem as características PE adquiridas foi o ATMLIB.DLL. Assim, na linha 6 são atribuídas todas as características desse arquivo para a variável “pe”. Como resultado do código, características como valor de máquina, número mágico e valor da assinatura são mostradas na tela. Mas há formas de se mostrarem todas as características PE deste arquivo, trazendo a possibilidade de o usuário final analisá-lo como bem entender, sendo passível inclusive de modificações de características, dependendo do nível de conhecimento do usuário.

### 3 METODOLOGIA

O presente estudo teve natureza descritiva, de caráter bibliográfico, com intuito de se adquirir a capacidade de decidir se a utilização de ferramentas de segurança aplicadas à IA obteria um melhor desempenho e segurança do que ferramentas usuais que o mercado pode oferecer.

Então foi desenvolvido um algoritmo de aprendizado de máquina, utilizando-se a linguagem de programação *Python*, o qual é capaz de pegar o conteúdo PE de um arquivo executável e, com base em uma classificação realizada por esse algoritmo e na seleção das melhores características, definir se um arquivo é malicioso ou legítimo.

Para validação do algoritmo de aprendizado de máquina, foram utilizados treze mil e quinze arquivos, sendo dez mil maliciosos, retirados do acesso ao site Virus Share, que é um repositório de arquivos maliciosos disponibilizado para a comunidade. O restante foi retirado de uma máquina com sistema operacional recém-instalado sem suas devidas atualizações e sem conexão com a internet, garantindo maior precisão no conteúdo legítimo.

Então foram realizadas a montagem de 24 máquinas virtuais, sendo 6 para cada sistema operacional escolhido: Windows 7, 8, 10 e Server 2016. Foram também definidas configurações de máquina idênticas, com o propósito de se realizarem análises das detecções de *malwares*, garantindo-se melhor segurança, precisão dos dados e desempenho.

Pretendeu-se, portanto, obter informações palpáveis de cenários em que pudesse haver investimento da IA aplicada à segurança da informação e a cenários em

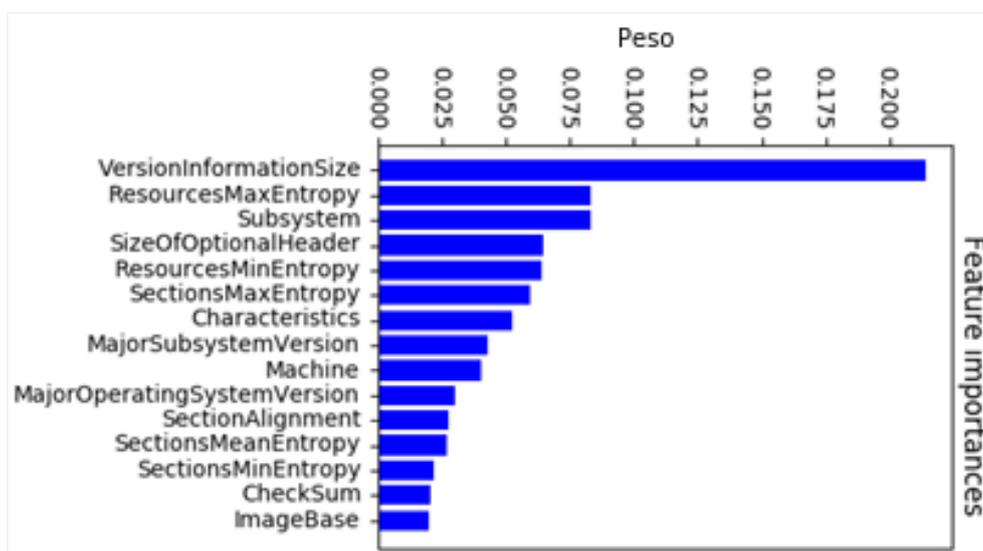
que os resultados pudessem trazer melhor desempenho após a utilização da inteligência artificial.

#### 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para o desenvolvimento do trabalho, inicialmente foram realizadas pesquisas sobre o funcionamento das técnicas *machine learning* a fim de se encontrar o melhor método para criação da solução. Foi utilizada a técnica de aprendizado supervisionado, sendo o projeto dividido em etapas.

Na primeira delas, foi realizada a coleta de dados, sendo determinada a utilização da base de dados com características do formato PE contendo 20.955 arquivos, os quais foram divididos ao meio entre conteúdos maliciosos e legítimos. Posteriormente, para preparação dos dados, foram retirados valores em branco e colunas não importantes ao desenvolvimento da análise. Para se obterem as melhores classificações, foi utilizada a ideia de seleção de *features*, com o propósito de se reduzir o conjunto de recursos para seleção das mais relevantes na identificação. Então, utilizando a seleção de *features*, com base em árvore, obteve-se a identificação de 15 *features* importantes nessa base de dados, conforme mostra a Figura 5.

**Figura 5** – Features selecionadas.



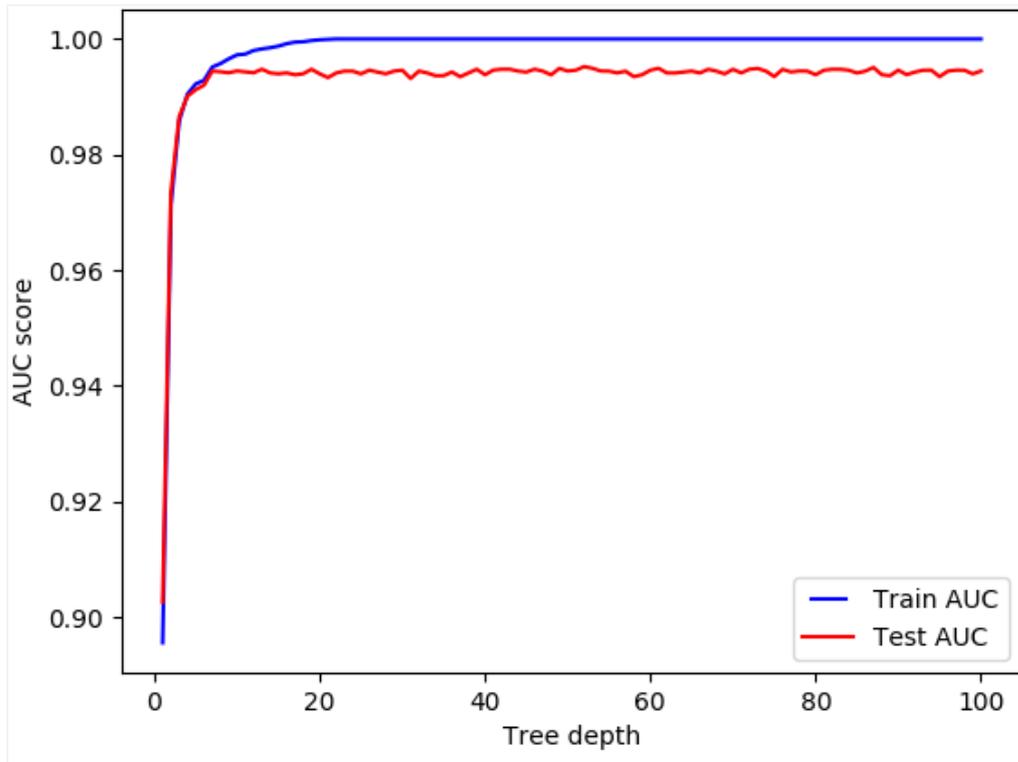
Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para identificação do arquivo, foi utilizado o modelo binário junto ao algoritmo de árvore de decisão. O modelo binário foi escolhido devido à base de dados apresentar respostas binárias.

Com a utilização da árvore de decisão, houve a possibilidade de melhorar os pesos de cada função dentro do algoritmo. Então foram criados gráficos para mostrar o resultado de cada função. Em seguida, foram selecionados os melhores valores e inseridos em uma função que faz a classificação utilizando todos os pesos adicionados,

buscando-se, assim, a melhor porcentagem possível na classificação. A Figura 6 mostra o resultado da função *tree\_depth*.

**Figura 6** – Porcentagem adquirida em relação ao número escolhido



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Após os gráficos plotados, é utilizada a função *GridSearchCV*, como mostra a Figura 7, que trata de um processo de executar o ajuste de hiperparâmetros para determinar os valores ideais para um determinado modelo. Nesse caso, o modelo passado foi o de árvore de decisão, junto aos valores adquiridos nos gráficos anteriores, assim é atribuído à variável “clf” o resultado dos melhores valores especificados.

**Figura 7** – Porcentagem adquirida em relação ao número escolhido

```

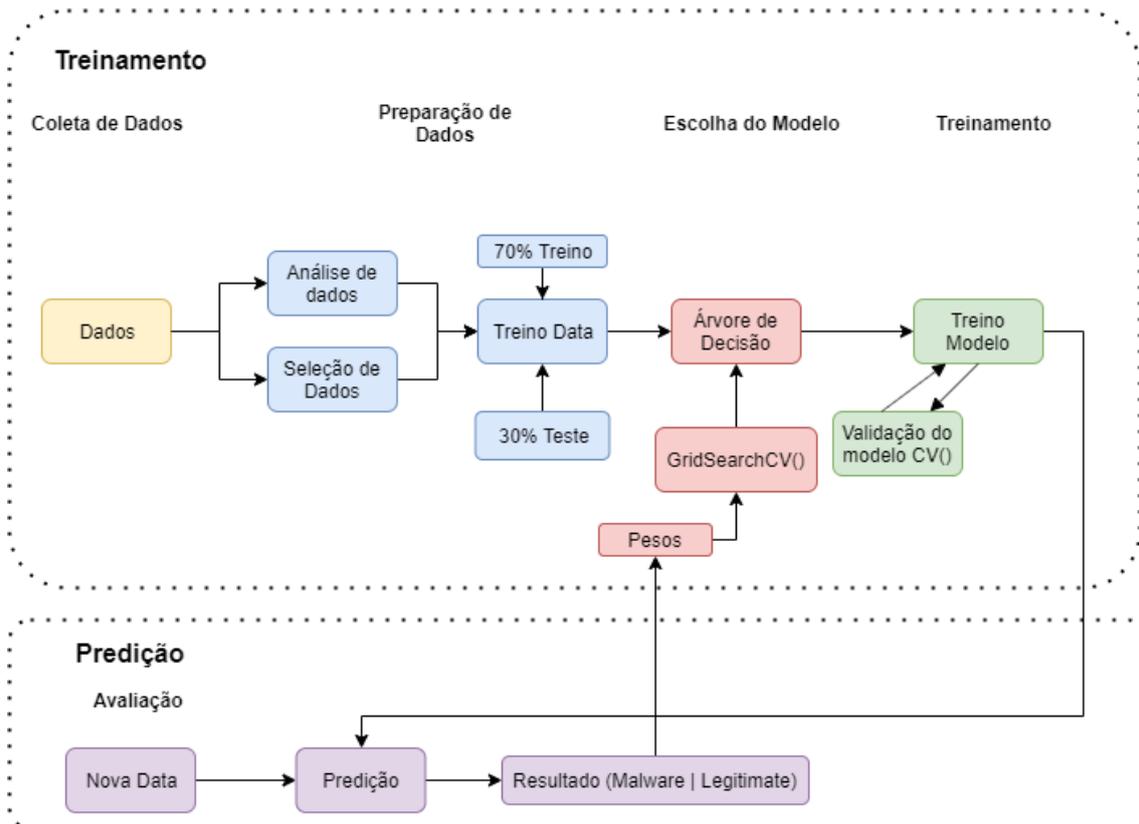
177 #Modelo a user usado: Arvore de Decisão
178 model=DecisionTreeClassifier(random_state=1)
179 #ABAIXO todos os parametros selecionados
180 params = {'criterion':['entropy', 'gini'],
181           'max_features': ['auto', 'sqrt', 'log2'],
182           'max_depth': [50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100],
183           'min_samples_split': [5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15],
184           'random_state':[1]}
185 #Teste de todos os parametros
186 clf = GridSearchCV(model, param_grid=params, cv=3, scoring='accuracy')

```

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Portanto, com os pesos selecionados, o algoritmo é finalmente treinado com uma acurácia acima de 99%. Para avaliação de precisão da classificação, foram selecionados 100 arquivos, em que 50 são legítimos e 50 maliciosos. Nesse caso, há um algoritmo de ML que coleta todas as informações do formato PE do arquivo e, com base nessas informações, identifica se o arquivo é malicioso ou não. Caso o resultado dos 100 arquivos não seja próximo da realidade, ou seja, se gerarem muitos falsos positivos, retorna-se à parte de escolha do modelo, sendo alterados os pesos de cada função.

**Figura 8** – Topologia do desenvolvimento



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A fim de se finalizar o projeto, foi iniciada a parte de testes das ferramentas. Foi realizada a criação das máquinas virtuais, sendo utilizada a versão gratuita do VMware Workstation, que trata de um software para criação de máquinas virtuais. Foram criadas 6 máquinas para os sistemas operacionais *Windows 7 Home*, *Windows 8.1*, *Windows 10* e *Windows Server 2016*, sendo que cada máquina recebeu uma ferramenta. Para se realizarem as análises, foram escolhidas 5 ferramentas tradicionais no mercado na área de segurança da informação, sendo elas AVAST, AVG, ESET, NORTON e PC PROTECT.

Para os testes serem justos e passíveis de serem comparados, foram adicionados alguns critérios:

1. uma ferramenta por máquina virtual;
2. todas as máquinas devem seguir as seguintes configurações:
  - a. 1 Processador;

- b. 4 Gb de memória;
3. cada ferramenta utilizará sua melhor versão gratuita;
4. cada ferramenta não poderá fazer a checagem nos arquivos de forma recursiva;
5. cada ferramenta não pode fazer nenhuma varredura inicial no sistema operacional;
6. cada ferramenta só realiza checagem na pasta que conterà os arquivos.

Para se realizarem esses testes, foram selecionados arquivos maliciosos e legítimos. O critério usado para os arquivos legítimos foi que todos os arquivos deveriam ser dos sistemas operacionais usados nos testes, garantido, assim, que todos os arquivos selecionados fossem legítimos. Para selecionar os arquivos, foram usados os comandos apresentados na Figura 9.

**Figura 9** – Comando para filtrar arquivos e o inserir dentro de outra pasta

```
1 Get-ChildItem -Path "DIRETÓRIO ORIGEM\*" -Include *.exe,*.dll
   -Recurse | Copy-Item -Destination D:\DIRETÓRIO DESTINO
```

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Como resultado, 3.015 arquivos legítimos foram selecionados dos 4 sistemas operacionais. Para a seleção dos arquivos maliciosos, foi requerido ao site VirusShare, que consiste em um repositório de arquivos maliciosos disponíveis ao público, o acesso do autor deste texto. Foi preciso, para tal fim, a demonstração de motivo de necessidade, e o cumprimento das normas impostas aos membros da plataforma em análise.

Após o acesso liberado, foram baixados 10.000 mil arquivos maliciosos da página, com a utilização do comando *CURL*, do sistema operacional Linux.

E, por fim, foram realizados testes em cada ferramenta para se identificarem o tempo gasto e a capacidade para se detectarem os arquivos maliciosos e legítimos, sendo identificados os resultados apresentados nas Figuras 10 e 11.

**Figura 10** – Análise em relação a detecção de Arquivos Maliciosos

Malware Detect - 10.000 Files												
SO / Software	Windows 7 Home			Windows 8			Windows 10			Windows Sever 2016		
	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão
IA (MY CODE)	9.553	02:38:48	95,53%	9.551	02:40:59	95,51%	9.516	03:10:59	95,16%	9.553	02:22:17	95,53%
AVAST	6.657	00:51:35	66,57%	8.149	01:09:23	81,49%	7.990	00:47:39	79,90%	NOT SUPPORTED		
AVG	6.539	01:04:38	65,39%	4.448	00:19:52	44,48%	7.772	00:51:11	77,72%	NOT SUPPORTED		
ESET	2.545	00:27:01	25,45%	2.543	00:22:24	25,43%	2.545	00:26:26	25,45%	NOT SUPPORTED		
PC PROTECT	8.902	00:04:43	89,02%	8.900	00:05:35	89,00%	8.901	00:06:50	89,01%	8.902	00:06:56	89,02%
NORTON	NOT SUPPORTED			1.329	01:52:23	13,29%	1.492	04:24:54	14,92%	NOT SUPPORTED		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Figura 11 – Análise em relação a detecção de Arquivos Legítimos

Legitimate Detect - 3.015 Files												
SO / Software	Windows 7 Home			Windows 8			Windows 10			Windows Sever 2016		
	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão	Detecção	Tempo	Previsão
IA (MY CODE)	2.893	00:49:06	95,95%	2.893	00:47:40	95,95%	2.893	01:00:07	95,95%	2.893	00:44:31	95,95%
AVAST	3.015	00:01:49	100,00%	3.015	00:00:25	100,00%	3.015	00:00:28	100,00%	NOT SUPPORTED		
AVG	3.015	00:29:34	100,00%	3.015	00:00:58	100,00%	3.015	00:00:41	100,00%	NOT SUPPORTED		
ESET	3.015	00:00:18	100,00%	3.015	00:00:30	100,00%	3.015	00:02:42	100,00%	NOT SUPPORTED		
PC PROTECT	3.015	00:00:24	100,00%	3.015	00:00:33	100,00%	3.015	00:00:49	100,00%	3.015	00:00:33	100,00%
NORTON	NOT SUPPORTED			3.015	00:03:03	100,00%	3.015	00:01:24	100,00%	NOT SUPPORTED		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Pela análise das tabelas, é perceptível a alta disponibilidade da utilização do algoritmo com IA, pois as demais ferramentas não possuem suporte para máquinas que utilizem Windows Server. Nota-se também uma alta taxa de detecção com a utilização do algoritmo com IA, mas, devido à metodologia usada, que coleta características de cada arquivo, é notório um tempo maior para realizar essa detecção.

Salienta-se que todas as ferramentas comerciais testadas utilizam das assinaturas dos arquivos maliciosos a fim de se realizar a devida detecção. Por conseguinte, foi notória uma baixa taxa de constatação pelos antivírus analisados, devido à não atualização de suas bases com as assinaturas dos arquivos rodados, tendo como resultado a não obtenção da detecção de mais de 90% dos arquivos. Conclui-se que, caso surja um arquivo malicioso no presente, a capacidade dos antivírus de detectá-lo é inferior, quando comparada à solução que utiliza algoritmo com IA.

## 5 CONCLUSÃO

O projeto em questão aborda um amplo conteúdo nas utilizações de IA empregando ML, além de expor o vasto campo abordado pela linguagem *Python*, que pode chegar, especificamente, para esse uso. Somado a tal fato, percebe-se o quão amplo pode ser o uso dessas ferramentas em quaisquer atividades de realização desejável.

Notou-se, na realização desse projeto, que o uso de ML para a identificação de *malware* traz resultados satisfatórios quando se trata de demonstrar, em números, a quantidade de identificações; no entanto, perde no quesito tempo, sendo, muito disso, devido ao método utilizado para realizar tais reconhecimentos, tendo em vista que, quanto maior o arquivo, maior é o tempo para o êxito de sua verificação.

As ferramentas de antivírus realizam sua identificação empregando, basicamente, a assinatura de cada arquivo. Tal fato demonstra que, se o antivírus não possuir essa assinatura em sua base de dados, o arquivo, ainda que malicioso, pode tornar-se algo legítimo para o usuário e, sendo assim, expô-lo a diversos riscos, dependendo do nível que esse *malware* possa exibir.

Ainda é perceptível, quando se trata de ML, a existência de diversos meios que possam apresentar um aperfeiçoamento, sendo eles tanto na identificação, quanto no tempo. O intuito do projeto consistiu em realizar a pesquisa e em desenvolver um algoritmo que seja capaz de aprender com os meios que são impostos a ele e que possua

a capacidade de englobar um aprimoramento na segurança para desfrute do usuário final, quando este possa vir a necessitar.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, Ken. **Crimes cibernéticos são a maior ameaça à sobrevivência das empresas, aponta estudo da EY**. 2013. Disponível em:

[https://www.ey.com/br/pt/services/release\\_pesquisa\\_seguranca\\_informacao\\_ey](https://www.ey.com/br/pt/services/release_pesquisa_seguranca_informacao_ey).

BARROS, Pedro. **Aprendizagem de máquina: supervisionada ou não supervisionada?**. 7 abr. 2016. Disponível em:

<https://medium.com/opensanca/aprendizagem-de-maquina-supervisionada-ou-nao-supervisionada-7d01f78cd80a>.

BASTOS Alberto; CAUBIT, Rosângela. **Gestão de Segurança da Informação: ISO 27001 e 27002: uma visão prática**. Porto Alegre: Zouk, 2009.

BEAL, Adriana. **Segurança da informação: Princípios e melhores práticas para a proteção dos ativos de informação nas organizações**. São Paulo: Atlas, 2008.

BRID, Rajesh S. **Decision trees: a simple way to visualize a decision**. 2018. Disponível em: <https://medium.com/greyatom/decision-trees-a-simple-way-to-visualize-a-decision-dc506a403aeb>.

CANALTECH. **O que é antivírus?** 2014. Disponível em: <https://canaltech.com.br/antivirus/o-que-e-antivirus/>.

COPELAND, Michael. **What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning**. 2016. Disponível em:

<https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/>.

DEVMEDIA. **Mineração de dados com árvores de decisão**. 2014. Disponível em:

<https://www.devmedia.com.br/mineracao-de-dados-com-arvores-de-decisao/31397>.

DEVMEDIA. **Windows Portable Executable**, 2005. Disponível em:

<https://www.devmedia.com.br/windows-portable-executable/857>.

EXPERT SYSTEM. **What is Machine Learning?: a definition**. 2017. Disponível em:

<https://www.expertsystem.com/machine-learning-definition/>.

KAPLAN, Andreas; HAENLEIN, Michael. **Siri, Siri, in my hand: who's the fairest in the land?: on the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence.** 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681318301393>.

LYRA, Mauricio Rocha. **Segurança e auditoria em sistemas da informação.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

MITCHELL, Tom M. **Machine Learning.** New York: McGraw-Hill, 1997.

NAVLANI, Avinash. **Decision Tree Classification in Python.** 2018. Disponível em: <https://www.datacamp.com/community/tutorials/decision-tree-classification-python>.

PEREIRA, Luís Moniz. **Inteligência artificial: mito e ciência.** Disponível em: <http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/6511-6510-1-PB.pdf>.

PIETREK, Matt. **Peering inside the PE: a tour of the Win32 Portable Executable File Format.** 1994. Disponível em: [http://bytepointer.com/resources/pietrek\\_peering\\_inside\\_pe.htm](http://bytepointer.com/resources/pietrek_peering_inside_pe.htm).

PNAD. **Contínua TIC 2016: 94,2% das pessoas que utilizaram a Internet o fizeram para trocar mensagens.** 21 fev. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/20073-pnad-continua-tic-2016-94-2-das-pessoas-que-utilizaram-a-internet-o-fizeram-para-trocar-mensagens>.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial.** 2. ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

SÊMOLA, Marcos. **Gestão da Segurança da Informação: uma visão executiva.** Rio de Janeiro: Elsevier Campus, 2003.

VLCEK, Ondrej. Como funciona um antivírus? **Canaltech**, 07 dez. 2015. Entrevista concedida a Igor Lopes. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=g8cq4-nhYA>.

WIKIBOOKS. **Windows Executable Files.** 2018. Disponível em: [https://en.wikibooks.org/wiki/X86\\_Disassembly/Windows\\_Executable\\_Files#Section\\_Table](https://en.wikibooks.org/wiki/X86_Disassembly/Windows_Executable_Files#Section_Table).

# Efeitos do uso de silicato e calcário líquido sobre as características de fertilidade do solo e desenvolvimento do capim-marandu

## *Effects of silicate and liquid limestone use on soil fertility characteristics and marandu grass development*

**Alexandre Mendes Bento da Silva**

Graduando do curso de Zootecnia (UNIPAM)

E-mail: alexandremendesbento123@gmail.com

**Hélio Henrique Vilela**

Professor Orientador (UNIPAM)

E-mail: heliohv@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O capim-marandu exige solos de média fertilidade. A acidez do solo altera a disponibilidade de nutrientes e seu desenvolvimento. Assim, objetivou-se avaliar a aplicação de calcário líquido, calcário e silicato na correção da acidez do solo e desenvolvimento inicial do capim-marandu. Para isso, utilizou-se um DIC, com quatro repetições. Os dados foram comparados pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Sessenta dias após aplicação, o calcário líquido não corrigiu a acidez do solo. O calcário e silicato proporcionaram correção da acidez e elevação da saturação de bases. O uso de silicato proporcionou maior comprimento e massa seca de raiz, produção de MS, comprimento da última folha, densidade populacional de perfilhos e peso/perfilho. O uso de silicato se mostrou eficiente na melhoria das características do solo e desenvolvimento do capim-marandu, podendo substituir o calcário, enquanto o uso de calcário líquido se mostrou menos eficiente.

**Palavras-chave:** Acidez do solo. Matéria seca. Pastagem. Saturação de bases.

**Abstract:** Marandu grass requires medium fertility soils. Soil acidity alters nutrient availability and development. Thus, the objective was to evaluate the application of liquid limestone, limestone and silicate in the correction of soil acidity and initial development of marandu grass. For this, a DIC was used, with four repetitions. The data were compared using the Scott-Knott test, at 5% significance. Sixty days after application, the liquid limestone did not correct the acidity of the soil. The limestone and silicate provided correction of acidity and increased base saturation. The use of silicate provided greater length and dry root weight, DM production, length of the last leaf, tiller population density and weight / tiller. The use of silicate proved to be efficient in improving soil characteristics and the development of marandu grass, being able to replace limestone, while the use of liquid limestone was less efficient.

**Keywords:** Soil acidity. Dry matter. Pasture. Base saturation.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A grande maioria dos solos de Minas Gerais e notadamente os da região de cerrado, que cada vez mais são utilizados na atividade agropecuária, mesmo dotados de boas propriedades físicas, apresentam, em geral, características químicas inadequadas: elevada acidez (baixo pH), altos teores de Al trocável e deficiência de nutrientes, especialmente de Ca, Mg e P. Tais características resultam em baixa produção dos pastos em consequência do menor enraizamento das plantas, prejudicando a absorção de água e nutrientes (FONTANA, 2006).

No entanto, solos com essas características, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial de produção, possibilitando uma agropecuária tecnificada e com elevada produtividade. Isso ocorre, pois o aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na disponibilidade de N, P, K, Ca e Mg, além de melhor enraizamento das plantas (SFREDO, 2008). Sendo assim, muitos trabalhos e publicações tem demonstrado a necessidade de calagem nos solos brasileiros, com intuito de corrigir sua acidez, melhorando suas características químicas de fertilidade e, conseqüentemente, sua produtividade.

Os corretivos da acidez do solo mais usados são rochas calcárias moídas, constituídas por misturas de minerais como a calcita e a dolomita. Possuem, em sua composição, carbonatos de cálcio e/ou magnésio, que são pouco solúveis em água. Para que a acidez do solo seja neutralizada, as partículas de solo devem entrar em contato com o calcário ou com os produtos de sua transformação. Decorre daí a necessidade de se incorporar o calcário no solo da melhor forma possível, o que nem sempre se consegue fazer em condições de campo.

Atualmente, algumas empresas comercializam corretivos de solo na forma líquida, chamado de calcário líquido e, de acordo com as mesmas, seus resultados no solo são mais rápidos e duradouros em relação ao calcário em pó, tendo a finalidade de corrigir a acidez do solo, fornecer  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e neutralizar os efeitos fitotóxicos do  $\text{Al}^{3+}$  no solo (BURG *et al.* 2013). No entanto, o uso do calcário líquido ainda não tem sua eficácia comprovada, pois poucas são as informações encontradas em relação ao seu uso, comparado com o calcário convencional.

Os resíduos de siderurgia, a exemplo da escória de aciaria (silicato de Ca e Mg), lama cal e alguns lodos de esgoto têm a capacidade de neutralizar a acidez e possibilitar o deslocamento de nutrientes no perfil do solo e podem ser usados como materiais alternativos ao calcário, por disponibilizarem  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e por haver, em sua composição, CaO, CaOH,  $\text{SiCO}_3$ , NaOH, além de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  (OLIVEIRA *et al.*, 2002; CARVALHO-PUPATTO, 2004; RAMOS *et al.*, 2006). Adicionalmente, é provável que a escória de aciaria tenha a vantagem de reduzir a acidez do solo mais rapidamente que o calcário, até mesmo em profundidade, uma vez que contêm silicatos, compostos mais solúveis que os carbonatos do calcário, permitindo que os produtos da reação de dissociação apresentem maior mobilidade no solo (ALCARDE, 1992; QUAGGIO, 2000).

Nesse sentido, a utilização de produtos que corrijam a acidez do solo e reduzam os teores de alumínio tóxico, fornecendo Ca e Mg, torna-se uma ferramenta de grande importância na agropecuária. No entanto, o uso da escória de aciaria com este propósito

ainda é pequeno, embora grandes quantidades sejam geradas nas siderúrgicas de aço. Quanto ao calcário líquido, seu uso é recente e poucas informações estão disponíveis sobre sua utilização. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o poder corretivo de acidez do solo e o desenvolvimento inicial da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em solo de elevada acidez e baixa saturação de bases, o qual foi corrigido com calcário, calcário líquido e silicato de Ca e Mg.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre 03 de março a 21 de agosto de 2019, em uma fazenda da região de Patos de Minas - MG, cujo clima, segundo classificação de Köppen (1948) é do tipo Aw, caracterizado por grande concentração de chuvas durante o verão. Foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais, as quais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade de cinco dm<sup>3</sup>.

Para avaliar os efeitos dos corretivos sobre as características de fertilidade do solo e desenvolvimento inicial do capim-marandu, utilizou-se um solo proveniente de uma pastagem degradada. Foi enviada uma amostra desse solo para a Central de Análises de Fertilidade do Solo (CeFert) do Centro Universitário de Patos de Minas/UNIPAM, para determinação de suas características químicas e de fertilidade, as quais estão apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1** – Resultados da análise química de fertilidade do solo utilizado no experimento

Análise	Valor
pH água	5,65
M.O.	2,20 dag kg <sup>-1</sup>
P-rem	13,14 mg L <sup>-1</sup>
P-meh	0,50 mg dm <sup>-3</sup>
K+	10,52 mg dm <sup>-3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	0,6 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg <sup>2+</sup>	0,00 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Al <sup>3+</sup>	0,09 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H + Al	2,60 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
SB	0,63 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
t	0,72 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
T	3,23 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
V	19,43%
M	12,55%

SB = Soma de Bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. de bases / m = Sat. por alumínio; P, K = [Mehlich - 1, HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>O, 0,125 mol L<sup>-1</sup>], S-S<sup>4</sup>O<sub>2</sub> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>; Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L<sup>-1</sup>]; H + Al = [Solução Tampão - SMP a pH 7,5]; M.O. = Método Titulométrico.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

As quantidades usadas de calcário convencional e de silicato de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , — 38% de  $\text{CaO}$ , 9%  $\text{MgO}$ , 22%  $\text{SiO}_2$  e PRNT de 79% — foram determinadas utilizando-se o método de saturação por bases. Para isso, considerou-se a elevação de saturação de bases do solo para 60% (1,5 t/ha de silicato) e para 80%, tanto para o uso do calcário quanto para o uso do silicato (2,2 t  $\text{ha}^{-1}$ ). Quanto ao calcário líquido, utilizou-se a recomendação do fabricante (10 L  $\text{ha}^{-1}$ ) e outra quantidade superior à recomendada, conforme descrito na tabela 2.

**Tabela 2** – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento, entre 03/03/2019 e 21/08/2019, Patos de Minas/MG

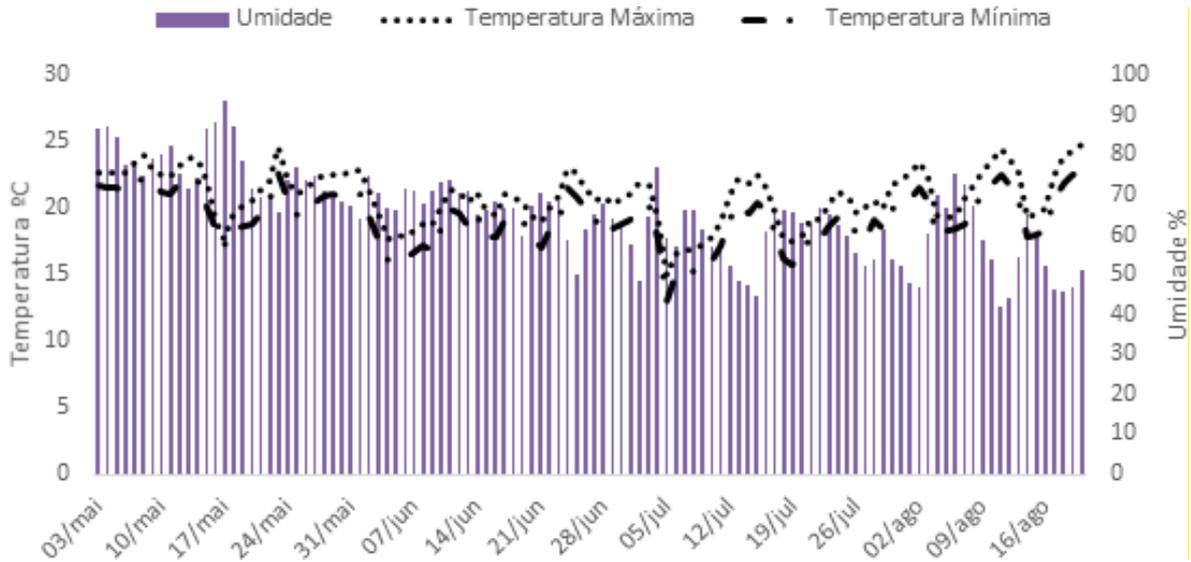
Tratamentos	Especificações
Controle	Solo sem uso de corretivo
Silicato 2,2 t $\text{ha}^{-1}$	Uso de 2,2 t $\text{ha}^{-1}$ de silicato
Silicato 1,5 t $\text{ha}^{-1}$	Uso de 1,5 t $\text{ha}^{-1}$ de silicato
Calcário líquido 10 L $\text{ha}^{-1}$	Uso de 10 L $\text{ha}^{-1}$ de calcário líquido
Calcário líquido 15 L $\text{ha}^{-1}$	Uso de 15 L $\text{ha}^{-1}$ de calcário líquido
Calcário convencional 2,2 t $\text{ha}^{-1}$	Uso de 2,2 t $\text{ha}^{-1}$ de calcário convencional

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nos tratamentos que envolveram o uso de corretivos de acidez, o solo foi misturado e homogeneizado com os respectivos corretivos, usando-se um saco com capacidade para cinco litros. Após a homogeneização, os vasos foram preenchidos com o solo mais os corretivos, 60 dias antes da data prevista para a semeadura, e irrigados duas vezes por semana. Decorrido esse período, foram colhidas amostras de solo de cada vaso, formando uma amostra composta de cada tratamento, as quais foram encaminhadas para análise na Central de Análises de Fertilidade do Solo (CeFert) do Centro Universitário de Patos de Minas/UNIPAM, com objetivo de avaliar os efeitos dos corretivos sobre as características químicas e de fertilidade do solo.

Em seguida, procedeu-se a semeadura, no dia 05 de junho de 2019, a qual foi realizada diretamente em sulcos abertos no solo contido nos vasos, o qual foi adubado segundo as exigências de fertilidade do capim-marandu. Após a semeadura, os vasos foram irrigados quatro vezes na semana, com a mesma quantidade de água em cada vaso, durante todo o período experimental. Trinta dias após a germinação foi realizado um desbaste, deixando-se em cada vaso, 10 plantas.

Os dados meteorológicos durante o período em que o componente vegetal foi avaliado (semeadura até as avaliações) foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estão apresentados na figura 1.

**Figura 1** – Médias de temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%).

Decorridos 60 dias após a germinação, foram avaliadas as seguintes variáveis:

- massa seca de raízes – obtida por meio da lavagem de todo o sistema radicular das plantas presentes em cada balde e, posteriormente, secagem em estufa a 60°C;
- comprimento de raízes – foi obtida medindo-se desde a base da planta até a ponta da raiz mais longa;
- produção de matéria seca (MS) – obtida por meio da colheita da parte aérea das plantas e secagem em estufa a 60°C;
- densidade populacional de perfilhos (DPP) – obtida por meio da contagem dos perfilhos vivos contidos em cada vaso;
- altura de plantas e comprimento de colmo – medindo-se a altura da planta desde sua base até a ponta da folha mais alta e, medindo-se o colmo, desde a base da planta, até a inserção (lígula) da última folha expandida, em cinco perfilhos tomados aleatoriamente, em cada vaso;
- comprimento da última folha expandida – obtido por meio da mensuração do comprimento da última folha expandida, em cinco perfilhos tomados aleatoriamente em cada balde;
- relação folha:colmo – obtida por meio da pesagem separada de todas as folhas e colmos de cada um dos perfilhos tomados para análise e, posteriormente, dividindo-se o peso seco das folhas pelo peso seco de colmos;
- peso por perfilho – obtido por meio da divisão da produção de MS da parte aérea pela DPP.

Para apresentação e discussão dos dados referentes às características químicas e de fertilidade do solo, utilizou-se a análise descritiva. Quanto aos dados referentes ao desenvolvimento inicial do capim-marandu, os dados obtidos foram tabulados e, posteriormente, submetidos à análise de variância. Quando observado efeito

significativo dos tratamentos, estes foram submetidos ao teste Scott-Knott, adotando-se 5% como nível de significância, utilizando-se o software Sistema de Análise de Variância – SISVAR (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às características químicas e de fertilidade do solo, antes e após a aplicação dos corretivos de acidez, estão apresentados na tabela 3.

Todos os corretivos foram eficientes em elevar o índice de saturação por bases do solo (V%). Comparado ao tratamento controle, o uso de 2,2 t ha<sup>-1</sup> e 1,5 t ha<sup>-1</sup> de silicato elevou em 282% e 236%, respectivamente, o índice de saturação por bases. Quando se utilizaram calcário convencional, 10 L ha<sup>-1</sup> de calcário líquido e 15 L ha<sup>-1</sup> de calcário líquido, o índice de saturação por bases subiu 365%, 188% e 235%, respectivamente, comparado ao tratamento controle. A maior elevação da saturação de bases observada quando se utilizaram 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato ou calcário convencional se deve à maior presença de Ca e Mg nos corretivos e em função da maior disponibilização de outras bases, após correção da acidez.

**Tabela 3** – Resultados da análise química de fertilidade do solo, antes e 60 dias após aplicação dos corretivos

Análise	Tratamentos					
	S 2,2 <sup>1</sup>	S 1,5 <sup>2</sup>	C.C <sup>3</sup>	C.L 10L <sup>4</sup>	C.L 15L <sup>5</sup>	Test. <sup>6</sup>
pH água antes	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60
pH água após	5,60	5,80	6,40	5,27	5,51	5,64
M.O. (dag kg <sup>-1</sup> ) antes	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17
M.O. (dag kg <sup>-1</sup> ) após	2,00	2,10	1,95	2,25	1,95	2,11
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) antes	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14
P-rem (mg L <sup>-1</sup> ) após	18,61	15,40	14,57	13,02	18,08	13,09
P-meh (mg dm <sup>-3</sup> ) antes	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
P-meh (mg dm <sup>-3</sup> ) após	0,77	0,67	2,70	1,07	1,28	0,43
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) antes	10,52	10,52	10,52	10,52	10,52	10,52
K <sup>+</sup> (mg dm <sup>-3</sup> ) após	25,25	23,27	16,37	17,36	17,36	10,50
Ca <sup>2+</sup> (cmolcdm <sup>-3</sup> ) antes	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ca <sup>2+</sup> (cmolcdm <sup>-3</sup> ) após	1,40	1,30	1,20	1,30	1,20	0,59
Mg <sup>2+</sup> (cmolcdm <sup>-3</sup> ) antes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>Mg<sup>2+</sup> (cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	1,20	0,60	2,20	0,10	0,70	0,00
<b>Al<sup>3+</sup>(cmolcdm<sup>-3</sup>) antes</b>	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<b>Al<sup>3+</sup>(cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,09
<b>H+Al (cmolcdm<sup>-3</sup>) antes</b>	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,61
<b>H+Al (cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	2,20	2,30	1,40	2,50	2,30	2,60
<b>SB (cmolcdm<sup>-3</sup>) antes</b>	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
<b>SB (cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	2,66	1,96	3,44	1,44	1,94	0,62
<b>t (cmolcdm<sup>-3</sup>) antes</b>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<b>t (cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	2,68	1,96	3,45	1,47	1,97	0,74
<b>T (cmolcdm<sup>-3</sup>) antes</b>	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23	3,23
<b>T (cmolcdm<sup>-3</sup>) após</b>	4,86	4,26	4,84	3,94	4,24	3,21
<b>V (%) antes</b>	19,43	19,43	19,43	19,43	19,43	19,43
<b>V (%) após</b>	54,78	46,00	71,09	36,62	45,81	19,31
<b>m (%) antes</b>	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65	12,65
<b>m (%) após</b>	0,74	0,00	0,29	2,03	1,52	12,16

SB = Soma de Bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. de bases / m = Sat. por alumínio; P, K = [Mehlich - 1, HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0125 mol L<sup>-1</sup> ], S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = [Fosfato Monobásico Cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup> ; Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L<sup>-1</sup>]: H + Al = [Solução Tampão - SMP a pH 7,5]; M.O. = Método Titulométrico. 1 – Silicato de Ca e Mg 2,2 t/ha / 2 – Silicato de Ca e Mg 1,5 t/ha / 3 – Calcário convencional 2,2 t/ha / 4 – Calcário líquido 10 litros/ha / 5 – Calcário líquido 15 litros/ha / 6 – Testemunha.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Ambos os corretivos também apresentaram melhores resultados quanto à redução na saturação por alumínio (m%). Segundo Doner e Lynn, (1989), a calcita e a dolomita presentes no calcário apresentam, em grande parte da sua constituição, o carbonato de cálcio e magnésio. Esses carbonatos reagem com a água no solo, liberando uma hidroxila que reage com o alumínio, formando o hidróxido de alumínio, o qual não é absorvido pelas plantas e neutraliza a acidez do solo.

Em relação ao pH, o calcário convencional foi o mais eficiente em elevar este parâmetro, saindo de 5,6 no tratamento testemunha para 6,4, no tratamento que recebeu 2,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário, subindo 14%. Isso pode ser explicado, pois o corretivo que mais reduziu os valores de H+Al foi o calcário convencional, o que resulta em maiores valores de pH. Segundo Alcarde (1992), o silicato pode aumentar o pH do solo em função do poder neutralizante da base SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. No entanto, esse efeito não ficou tão evidenciado neste trabalho.

Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$  foram influenciados positivamente pelos corretivos, tendo dobrado os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e aumentado os teores de  $\text{Mg}^{2+}$ , enquanto os teores de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}+\text{Al}$  decresceram, resultando em maiores valores de soma de bases (SB) e estão de acordo com aqueles encontrados por Araújo *et al.* (2009), Fageria *et al.* (2010) e Auler *et al.* (2011).

De forma geral, os resultados obtidos são satisfatórios quando se utilizou silicato ou calcário convencional. Esses resultados já eram esperados uma vez que, segundo Oliveira *et al.* (2000), a calagem apresenta benefícios diretos às culturas mediante correção da acidez do solo, diminuição da toxidez por Al e Mn e aumento dos teores de Ca e Mg disponíveis às plantas. Além disso, a calagem pode aumentar a disponibilidade de N, P, S e reduzir a disponibilidade de Fe, Cu, Mn e Zn, além de aumentar a CTC e a mineralização da matéria orgânica do solo, conforme foi observado.

Estudos com escórias aplicadas ao solo têm demonstrado aumento de pH e redução do  $\text{H}+\text{Al}$  (PRADO; FERNANDES, 2003), em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o  $\text{SiO}_3^{2-}$  (ALCARDE, 1992) e de incrementos na disponibilidade de P (PRADO *et al.*, 2002), Ca e Mg (PRADO; FERNANDES, 2000), o que também foi observado.

O uso do calcário líquido proporcionou ligeira redução de pH, o que não era esperado, e incremento na disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , resultado já esperado, devido ao produto conter nano partículas de cálcio e magnésio associados a carbonatos. Quando utilizado na quantidade recomendada pelo fabricante (10 l/ha), o calcário líquido foi o menos eficiente em reduzir os teores de  $\text{H}+\text{Al}$ , o índice de saturação por alumínio e menos eficiente em aumentar a soma de bases, a CTC efetiva, a CTC a pH 7,0 e o índice de saturação por bases.

Os dados referentes ao comprimento de raízes, massa seca de raízes e produção de matéria seca da parte aérea foram influenciados pelos tratamentos ( $P < 0,05$ ) e estão apresentados na tabela 4.

**Tabela 4** – Comprimento de raiz (CR), massa seca de raiz (MSR) e produção de matéria seca (PMS) do capim-marandu em função dos tratamentos.

Tratamentos	CR (cm)	MSR (g/vaso)	PMS (g/vaso)
Silicato 2,2 t ha <sup>-1</sup>	61,00 a	15,65 a	33,40 a
Silicato 1,5 t ha <sup>-1</sup>	41,50 b	15,57 a	23,57 b
Calcário 2,2 t/ha <sup>-1</sup>	43,75 b	15,54 a	24,05 b
Calcário líquido 15 L ha <sup>-1</sup>	36,75 b	11,48 b	13,88 c
Calcário líquido 10 L ha <sup>-1</sup>	28,63 c	9,37 b	17,21 c
Controle	30,50 c	11,62 b	15,46 c
CV (%)	13,49	13,57	14,76

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Maior comprimento de raiz foi observado quando se utilizaram 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato, enquanto a massa seca de raiz foi maior quando se utilizou silicato ou calcário convencional. Segundo Alcarde (1992), o silicato de Ca é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de Ca. No entanto, a solubilidade é bastante variável em função da fonte. As escórias de alto forno apresentam alto teor de Si, mas baixa solubilidade; as escórias de aciaria apresentam menor teor de Si, porém melhor solubilidade, enquanto as escórias da produção do aço inox são as que apresentam o Si na forma mais solúvel. Sendo assim, é possível que a solubilidade do silicato utilizado fosse maior que a do calcário, disponibilizando mais Ca<sup>2+</sup> no solo, conforme se pode observar na tabela 3, proporcionando maior crescimento radicular. Resultado semelhante foi encontrado por Fortes (2006) o qual observou que a elevação do Ca<sup>2+</sup> (1,35 cmolc/dm<sup>3</sup>) e do fósforo para o capim-marandu foi suficiente para obter maior produção de massa seca da parte radicular.

A produção de matéria seca foi 116,04% maior (P<0,05) quando se utilizaram 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato, comparado à não correção do solo, sendo próximo ao encontrado por Fonseca *et al.* (2009). A produção da parte aérea é, de certa forma, reflexo do desenvolvimento radicular. Nesse sentido, o maior comprimento de raízes observado quando se utilizaram 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato contribuiu para a maior absorção de água e nutrientes, conseqüentemente gerando maior desenvolvimento da parte aérea, o que pode ser comprovado na tabela 6, na qual se observa que esse tratamento proporcionou maior DPP e maior peso/perfilho.

Segundo Sherman e Riveros (1990), a temperatura ideal para o crescimento do capim-marandu é de 30 a 35 °C, com mínima de 15 °C. Sendo assim, é possível inferir que o pequeno desenvolvimento observado é conseqüência das condições climáticas durante o período experimental, no qual a temperatura, com média ao redor dos 22 °C (figura 1), foi limitante ao desenvolvimento do capim e, conseqüentemente, à produção de matéria seca.

A altura de plantas e o comprimento de colmo não foram influenciados pelos tratamentos (P>0,05), porém observou-se efeito significativo (P<0,05) para o comprimento da última folha expandida (Tabela 5).

**Tabela 5** – Altura de plantas (AP), comprimento de colmo (CC) e comprimento da última folha expandida (CFE) do capim-marandu em função dos tratamentos

Tratamentos	AP (cm)	CC (cm)	CFE (cm)
Silicato 2,2 t ha <sup>-1</sup>	49,50	12,98	30,98 a
Silicato 1,5 t ha <sup>-1</sup>	43,25	8,49	25,78 b
Calcário 2,2 t ha <sup>-1</sup>	47,75	12,77	25,53 b
Calcário líquido 15 L ha <sup>-1</sup>	42,00	9,55	24,70 b
Calcário líquido 10 L ha <sup>-1</sup>	43,75	9,83	20,33 b
Controle	42,27	9,17	21,45 b
CV (%)	18,14	18,15	18,68

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Embora sem efeito estatístico, observou-se que o uso de 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato proporcionou um incremento de 17,86% na altura de plantas quando comparado ao valor mais baixo, observado quando se utilizaram 15 l ha<sup>-1</sup> de calcário líquido. Em relação ao comprimento de colmo, o uso de 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato proporcionou um incremento de 52,88% no comprimento de colmo, quando comparado ao valor mais baixo, observado quando se usou 1,5 t ha<sup>-1</sup> de silicato.

Quanto ao comprimento da última folha expandida, o uso de 2,2 t ha<sup>-1</sup> de silicato proporcionou maior comprimento ( $P < 0,05$ ). A maior disponibilização de P e mineralização da matéria orgânica, disponibilizando mais N, podem ter contribuído para que comprimento da última folha expandida fosse maior, além da disponibilidade de Ca e Mg.

Na tabela 6 estão apresentados os dados referentes à relação folha/colmo, densidade populacional de perfilhos e peso/perfilho, na qual se pode observar que a relação folha/colmo não foi influenciada pelos tratamentos ( $P > 0,05$ ).

De acordo com Sbrissia e Da Silva (2001), a relação folha/colmo apresenta relevância variada de acordo com a espécie forrageira e período do ano, sendo menor em espécies de colmo tenro e de menor lignificação.

**Tabela 6** – Relação folha/colmo, densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso/perfilho do capim-marandu em função dos tratamentos

Tratamentos	Folha/colmo	DPP (perfilhos/vaso)	Peso/perfilho (g)
Silicato 2,2 t ha <sup>-1</sup>	0,90	15,75 a	2,11 a
Silicato 1,5 t ha <sup>-1</sup>	0,93	13,25 a	1,78 b
Calcário 2,2 t ha <sup>-1</sup>	0,96	14,75 a	1,63 c
Calcário líquido 15 L ha <sup>-1</sup>	0,85	10,00 b	1,46 c
Calcário líquido 10 L ha <sup>-1</sup>	0,90	10,75 b	1,38 c
Controle	0,96	10,50 b	1,34 c
CV (%)	11,57	10,39	11,19

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Essa variável pode ser utilizada como índice de valor nutritivo da forragem, pois, assim como a altura do pasto e disponibilidade de massa seca, facilita a prensão de forragem pelo animal e, dessa forma, o seu comportamento durante o pastejo (ALDEN; WHITAKER, 1970). Portanto, maiores valores de relação folha/colmo são aqueles que proporcionam melhor eficiência de pastejo e, conseqüentemente, melhor desempenho animal.

A DDP foi superior ( $P < 0,05$ ) quando se utilizou silicato ou calcário convencional, o que pode ser explicado pela melhor condição de solo gerado quando do uso desses corretivos. Segundo Da Silva e Sbrissia, (2000), a produção de forragem em uma pastagem é definida, em parte, pelo número de perfilhos existentes na área, o qual,

por sua vez, é determinado pelo estágio fisiológico da planta, sendo interessante alta DPP, principalmente na fase de estabelecimento, o que garante boa cobertura do solo, evitando-se possíveis erosões, uma vez que a formação de pastagens ocorre na estação chuvosa. Considerando-se a produção de forragem, a maior DPP observada com o uso de silicato e calcário convencional explicam, em parte, a maior produção de matéria seca observada para esses tratamentos (tabela 4).

O peso/perfilho foi maior ( $P < 0,05$ ) quando se utilizaram  $2,2 \text{ t ha}^{-1}$  de silicato, o que pode ser explicado, embora sem efeito significativo, pela altura de planta, pelo comprimento de colmo e pelo comprimento da última folha expandida, comprovando ser perfilhos maiores e, conseqüentemente, mais pesados.

#### 4 CONCLUSÕES

O uso de silicato de Ca e Mg mostrou-se eficiente em melhorar as características de fertilidade do solo e promoveu o desenvolvimento do capim-marandu, podendo substituir o calcário convencional. O uso do calcário líquido não se mostrou eficiente.

#### REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).
- ALDEN, W. G.; WHITAKER, I. A. The determinants of herbage intake by grazing sheep: the inter relationship of factors influencing herbage intake and availability. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 21, n. 5, p. 755-766, 1970.
- ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; GARBUJO, F. J. Aplicação do calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1755-1764, 2009.
- AULER, P. A. M.; NEVES, C. S. V. J.; FIDALSKI, J.; PAVAN, M. A. Calagem e desenvolvimento radicular, nutrição e produção de laranja "Valência" sobre porta-enxertos e sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 254-261, 2011.
- BURG, G.; DEAK, E.; SCHMIDT, M. R.; BEUTLER, A. N.; GALON, L.; GIACOMELI, R. Efeito do calcário líquido nas características químicas do solo. **Revista Salão de Pesquisa**, Itaquí, v. 5, n. 2, p. 93, 2013.
- CARVALHO-PUPATTO, J.G. *et al.* Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p.1213-1218, 2004.

DA SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F. A planta forrageira no sistema de produção. *In*: PEIXOTO, A. M.; PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: a planta forrageira no sistema de produção, 17, Piracicaba, 2000. **Anais [...]**. Piracicaba: FEALQ, p. 3-20, 2000.

DONER, H. E.; LYNN, W. C. Carbonate, halide, sulfate and sulfide minerals. *In*: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Wisconsin: **Soil Society of America**, 1989. p. 279-324.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. DOS; MOREIRA, A. Yield, nutrient uptake and changes in soil chemical properties as influenced by liming and iron application in common bean in a no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p.1740-1749, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec**, v. 38, n. 2 p. 109-112, 2014.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. D. M.; VIDAL, A. D. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 221-232, 2009.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

FONTANA, Ademir *et al.* Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

GOODROAD, L. L.; JELLUM, M. D. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. **Plant Soil**, v. 106, n. 85-89, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. INMET, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas/>.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 26, p. 505-519, 2002.

OLIVEIRA, I. P.; CUNHA, R.; SANTOS, R. S. M. dos; FARIA, C. D. de; CUNHA, G. F. (2000). Efeito da correção da fertilidade do solo no desenvolvimento da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em latossolo com diferentes históricos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 1, p.57-64, jan./jun. 2000.

PRADO, R. D. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; PEREZ VILLAR, M. L. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, 539-546, 2002.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.287- 296, 2003.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v. 57, p.739-744, 2000.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.849-857, 2006.

SBRISSIA, A. F.; Da SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001, p.731-754.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

SHERMAN, P. J.; RIVEROS, F. **Tropical grasses**. Roma: FAO, 1990.