

Edilson Antonio Catapan  
Organizador



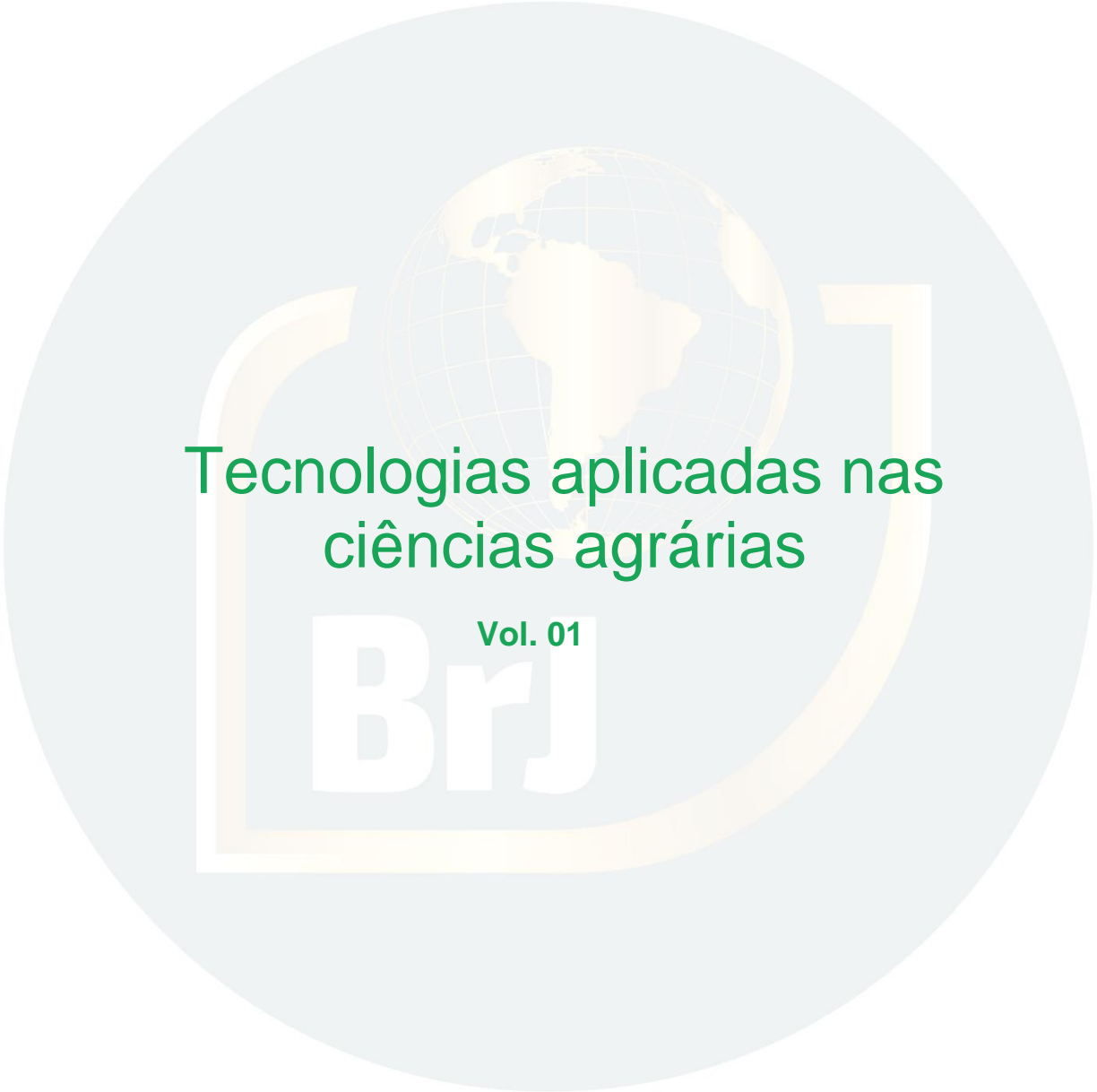
TECNOLOGIAS APLICADAS NAS  
**CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
VOL. 01

SAO JOSÉ DOS PINHAIS  
2021



**Edilson Antonio Catapan**

(Organizador)



**Tecnologias aplicadas nas  
ciências agrárias**

Vol. 01

**BrJ**

**Brazilian Journals Editora**

**2021**

2021 by Brazilian Journals Editora  
Copyright © Brazilian Journals Editora  
Copyright do Texto © 2021 Os Autores  
Copyright da Edição © 2021 Brazilian Journals Editora  
Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan  
Diagramação: Aline Barboza Coelli  
Edição de Arte: Brazilian Journals  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos livros e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fátima Cibele Soares - Universidade Federal do Pampa, Brasil  
Prof. Dr. Gilson Silva Filho - Centro Universitário São Camilo, Brasil  
Prof. Msc. Júlio Nonato Silva Nascimento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Adriana Karin Goelzer Leining - Universidade Federal do Paraná, Brasil  
Prof. Msc. Ricardo Sérgio da Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
Prof. Esp. Haroldo Wilson da Silva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil  
Prof. Dr. Orlando Silvestre Fragata - Universidade Fernando Pessoa, Portugal  
Prof. Dr. Orlando Ramos do Nascimento Júnior - Universidade Estadual de Alagoas, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Angela Maria Pires Caniato - Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Genira Carneiro de Araujo - Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. José Arilson de Souza - Universidade Federal de Rondônia, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Maria Elena Nascimento de Lima - Universidade do Estado do Pará, Brasil  
Prof. Caio Henrique Ungarato Fiorese - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana Saionara Gollo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariza Ferreira da Silva - Universidade Federal do Paraná, Brasil  
Prof. Msc. Daniel Molina Botache - Universidad del Tolima, Colômbia  
Prof. Dr. Armando Carlos de Pina Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Juliana Barbosa de Faria - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Esp. Marília Emanuela Ferreira de Jesus - Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof. Msc. Jadson Justi - Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alexandra Ferronato Beatrice - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Caroline Gomes Mâcedo - Universidade Federal do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Dilson Henrique Ramos Evangelista - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Edmilson Cesar Bortoletto - Universidade Estadual de Maringá, Brasil



**Ano 2021**

Prof. Msc. Raphael Magalhães Hoed - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Eulália Cristina Costa de Carvalho - Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof. Msc. Fabiano Roberto Santos de Lima - Centro Universitário Geraldo di Biase, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Dr. Helder Antônio da Silva, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina de Castro Nadaf Leal - Universidade Estácio de Sá, Brasil  
Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Morais - Universidade do Vale do Rio do Sino, Brasil  
Prof. Dr. Richard Silva Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Tonani Tolfo - Centro Universitário de Rio Preto, Brasil  
Prof. Dr. André Luís Ribeiro Lacerda - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
Prof. Dr. Wagner Corsino Enedino - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil  
Prof. Dr. José Alberto Yemal - Universidade Paulista, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Estela Sanjuan Montebello - Universidade Federal de São Carlos, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Onofre Vargas Júnior - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rita de Cássia da Silva Oliveira - Universidade do Estado do Pará, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leticia Dias Lima Jedlicka - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joseina Moutinho Tavares - Instituto Federal da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. Paulo Henrique de Miranda Montenegro - Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof. Dr. Claudinei de Souza Guimarães - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Christiane Saraiva Ogradowski - Universidade Federal do Rio Grande, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Pereira - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Alexandra da Rocha Gomes - Centro Universitário Unifacvest, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Djanavia Azevêdo da Luz - Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof. Dr. Eduardo Dória Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Juliane de Almeida Lira - Faculdade de Itaituba, Brasil  
Prof. Dr. Luiz Antonio Souza de Araujo - Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Dr. Rafael de Almeida Schiavon - Universidade Estadual de Maringá, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rejane Marie Barbosa Davim - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil  
Prof. Msc. Salvador Viana Gomes Junior - Universidade Potiguar, Brasil  
Prof. Dr. Caio Marcio Barros de Oliveira - Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ercilia de Stefano - Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Msc. Marcelo Paranzini - Escola Superior de Empreendedorismo, Brasil  
Prof. Msc. Juan José Angel Palomino Jhong - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica, Perú  
Prof. Dr. Edson da Silva - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
Prof. Dr. João Tomaz da Silva Borges - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Brasil



Ano 2021

Profª Drª Consuelo Salvaterra Magalhães - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. José Gpe. Melero Oláquez - Instituto Tecnológico Nacional de México, Cidade do México

Prof. Dr. Adalcio Machado - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Brasil

Profª Drª Claudia da Silva Costa - Centro Universitário Planalto do Distrito Federal, Brasil

Profª. Msc. Alicia Ravelo Garcia - Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Artur José Pires Veiga - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil

Profª Drª María Leticia Arena Ortiz - Universidad Nacional Autónoma de México, México

Profª Drª Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Brasil

Profª Drª Muriel Batista Oliveira - Faculdade de Ciências Contábeis de Nova Andradina, Brasil

Prof. Dr. José Amilton Joaquim - Universidade Eduardo Mondlane, Brasil

Prof. Msc. Alceu de Oliveira Toledo Júnior - Universidade estadual de Ponta Grossa, Brasil

Prof. Dr. Márcio Roberto Rocha Ribeiro - Universidade Federal de Catalão, Brasil

Prof. Dr. Alecson Milton Almeida dos Santos - Instituto Federal Farroupilha, Brasil

Profª. Msc. Sandra Canal - Faculdade da Região Serrana, Brasil



Ano 2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**C357t Catapan, Edilson Antonio**

Tecnologias aplicadas nas ciências agrárias / Edilson Antonio Catapan. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2021.

254 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: Bibliografia

ISBN: 978-65-81028-13-8.

1. Vegetação. 2. Ciência. I. Catapan, Edilson Antonio II.  
Título

Brazilian Journals Editora  
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil  
[www.brazilianjournals.com.br](http://www.brazilianjournals.com.br)  
[editora@brazilianjournals.com.br](mailto:editora@brazilianjournals.com.br)



**Ano 2021**

## APRESENTAÇÃO

A obra intitulada “Tecnologias aplicadas nas ciências agrárias vol.1”, publicada pela Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora, apresenta um conjunto de doze capítulos que visa abordar diversos trabalhos voltados para a área das ciências agrárias.

Logo, os artigos apresentados neste volume abordam: a influência de níveis de luz no desenvolvimento e índice de refletância das folhas de grama esmeralda imperial®. Outro trabalho que será apresentando ao longo do livro, é um estudo sobre as condições da cobertura de vegetação e uso da terra com a finalidade de gestão territorial na área onde existe uma proposta de criação do Geoparque Serra do Sincorá a ser submetida à UNESCO, localizada na Chapada Diamantina - Bahia. Outro estudo que faz parte do livro é um estudo voltado para a caracterização morfológica, física, química e mineralógica de Neossolos Regolíticos ao longo de um gradiente pluviométrico no semiárido Paraibano. Também será discorrido sobre um trabalho, cujo objetivo é avaliar a ação do GA3 no crescimento inicial de plantas de pinhão manso, via pré-embebição de sementes e em pulverizações foliares, entre outros.

Desta forma, agradecemos aos autores por todo esforço e dedicação que contribuíram para a construção dessa obra, e esperamos que este livro possa colaborar para a discussão e entendimento de temas relevantes para a área das ciências agrárias, orientando docentes, estudantes, gestores e pesquisadores à reflexão sobre os assuntos aqui apresentados.

Edilson Antonio Catapan

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 01</b> .....	<b>10</b>
LIGHT LEVELS INFLUENCE ON DEVELOPMENT AND LEAVES REFLECTANCE INDEX OF IMPERIAL® ZOYSIA GRASS	
Maximiliano Kawahata Pagliarini	
Diego Oliveira da Paz	
Vanessa Dias Rezende Trindade	
Patrick Luan Ferreira dos Santos	
Regina Maria Monteiro de Castilho	
DOI: 10.35587/brj.ed.0001317	
<b>CAPÍTULO 02</b> .....	<b>22</b>
ZOYSIA GRASS GROWTH AFFECTED BY PHYSICAL ATTRIBUTES OF SUBSTRATES FORMULATION	
Jéssica Pigatto De Queiroz Barcelos	
Maximiliano Kawahata Pagliarini	
Patrick Luan Ferreira Dos Santos	
Heitor Pontes Gestal Reis	
Regina Maria Monteiro De Castilho	
DOI: 10.35587/brj.ed.0001318	
<b>CAPÍTULO 03</b> .....	<b>36</b>
MONITORAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO EM SALAS DE ORDENHA	
Pedro Hurtado de Mendoza Borges	
Charles Esteffan Cavalcante	
Pedro Hurtado de Mendoza Morais	
Záira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza	
DOI: 10.35587/brj.ed.0001319	
<b>CAPÍTULO 04</b> .....	<b>50</b>
FITOFISIONOMIAS NA ÁREA DE PROPOSIÇÃO DO GEOPARQUE SERRA DO SINCORÁ, NA CHAPADA DIAMANTINA, COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SIG	
Artur José Pires Veiga	
Eduardo Silveira Bernardes	
Marcelo Araújo da Nóbrega	
Lais Oliveira Francisco	
Deborah de Oliveira Silva	
DOI: 10.35587/brj.ed.0001320	
<b>CAPÍTULO 05</b> .....	<b>74</b>
INDUCCIÓN DE MECANISMOS DE DEFENSA DE LAS PLANTAS	
Francisco Angel Simón Ricardo	
DOI: 10.35587/brj.ed.0001321	
<b>CAPÍTULO 06</b> .....	<b>123</b>
CULTIVOS IN VITRO DE PLÁTANO BIOINDICADOR - FITOREMEDIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS CON AGROTÓXICOS	
Francisco A. Simón Ricardo	
Gonzalo Dierksmeier	



Reynel Mayet  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001322

- CAPÍTULO 07 .....147**  
CHARACTERIZATION OF *NEOSSOLOS* REGOLÍTICOS (PSAMMENTS) THROUGH A PLUVIOMETRIC GRADIENT IN BRAZILIAN SEMIARID  
Sebastiana Maely Saraiva  
Vânia da Silva Fraga  
José Coelho de Araújo Filho  
Roseilton Fernandes dos Santos  
Bruno de Oliveira Dias  
Evaldo dos Santos Felix  
João Ítalo de Sousa  
Kalline Almeida Alves Carneiro  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001323
- CAPÍTULO 08 .....166**  
O QUE É O CAVALO? COMO A LITERATURA DE FICÇÃO CONTRIBUI PARA A RESPOSTA  
João Paulo Novelletto Pisa  
Denise Pereira Leme  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001324
- CAPÍTULO 09 .....184**  
INSECTOS ASOCIADOS A PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE SIMOJOVEL, CHIAPAS, MÉXICO  
Eduardo Aguilar-Astudillo  
Carlos Joaquín Morales-Morales  
Reynerio A. Alonso-Bran  
Víctor Manuel Aguilar-Castillo  
Jorge Alejandro Espinosa-Moreno  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001325
- CAPÍTULO 10 .....196**  
CRESCIMENTO INICIAL E ÍNDICES FISIOLÓGICOS DE ACESSOS DE MAMOEIRO INOCULADOS COM PAPAYA RINGSPOT VÍRUS  
Ana Maria Pereira Bispo de Castro  
Josimare Queiroz da Conceição  
Ademir Trindade Almeida  
Gisele da Silva Machado  
Ellen Rayssa Oliveira  
Jamile Maria da Silva dos Santos  
Clovis Pereira Peixoto  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001326
- CAPÍTULO 11 .....218**  
ÁCIDO GIBERÉLICO NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE PINHÃO MANSO  
Valfredo da Silva Pereira  
Clovis Pereira Peixoto  
Ademir Trindade Almeida

Elvis Lima Vieira  
Ellen Rayssa Oliveira  
Denio de Oliveira  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001327

**CAPÍTULO 12 .....238**  
ANÁLISE DE TRILHA EM CARACTERES AGROMORFOLÓGICOS DE GENÓTIPOS  
DE AMENDOINZEIRO DO GRUPO BOTÂNICO VALÊNCIA

João Albany Costa  
Clovis Pereira Peixoto  
Ademir Trindade Almeida  
Jamile Maria da Silva dos Santos  
Ellen Rayssa Oliveira  
Joeferson da Silva Santos  
Elvis Lima Vieira  
Valfredo da Silva Pereira  
DOI: 10.35587/brj.ed.0001328

**SOBRE O ORGANIZADOR .....254**

# CAPÍTULO 01

## LIGHT LEVELS INFLUENCE ON DEVELOPMENT AND LEAVES REFLECTANCE INDEX OF IMPERIAL® ZOYSIA GRASS

### **Maximiliano Kawahata Pagliarini**

Doutor em Agronomia

Universidade Federal da Grande Dourados (Técnico em Agropecuária)

Endereço: Rodovia Dourados/Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Caixa

Postal: 364, CEP: 79.804-970

E-mail: mpagliarini@ufgd.edu.br

### **Diego Oliveira da Paz**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha

Solteira (Mestrando em Agronomia)

Endereço: Passeio Palmas, n.310, Zona Sul, Ilha Solteira SP, CEP 15385-000

E-mail: d.paz@unesp.br

### **Vanessa Dias Rezende Trindade**

Engenheira Agrônoma

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

(Mestranda em Agronomia)

Endereço: Avenida Brasil, 56 - Centro - Ilha Solteira/SP - CEP 15385-000

Email: vanessadrtrindade@gmail.com

### **Patrick Luan Ferreira dos Santos**

Mestre em Agronomia

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu

(Doutorando em Agronomia)

Endereço: Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso

E-mail: patricklfsantos@gmail.com

### **Regina Maria Monteiro de Castilho**

Doutora em Ciências Biológicas

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

(Professora Assistente)

Endereço: Avenida Brasil, 56 - Centro - Ilha Solteira/SP - CEP 15385-000

E-mail: castilho@agr.feis.unesp.br

**ABSTRACT:** The lawn aesthetics is one of the most important aspect, which professionals need to observe. Shading influence on grass development may be harmful to plant physiology, which will have its photosynthetic processes reduced. A grass that receives less light may etiolate, and, in popular terms, it can fade making it less attractive, since what is expected for a lawn is its vibrant green colour. Therefore, the research aimed to study the influence of luminosity levels and changes in light spectrum in development and leaf reflectance indices of Imperial® Zoysia Grass var.. Grass was implanted in black plastic containers filled with substrate formed by, soil, sand and soil conditioner. Luminosity levels tested were: T1: full sun, T2: 50 % black shading net and T3: 50 % red solar spectrum manipulation net. The lawn height was

assessed using the prism methodology. Digital images were obtained and red, green and blue (RGB) mean values components were reported. RGB results were converted to HSB values (Hue, Saturation and Brightness). After obtaining HSB values, Dark Green Colour Index (DGCI) was calculated. Treatments T2 and T3 interfered in the development and reflectance index of leaves of Zoysia grass Imperial®. For Hue component the cited treatments turn leaves to yellow, which means leaves chloroses caused by the reduction of chlorophyll concentration. DarkGreen Colour Index, T2 and T3 influenced in leaves coloration turning them yellowish, proving hue results, which is symptom of chlorosis and etiolation.

**KEYWORDS:** Zoysia japonica; Vibrant green; Shading influence; Grass.

**RESUMO:** A estética dos gramados é um dos aspectos mais importantes que os profissionais precisam observar. Influência do sombreamento no desenvolvimento de gramados pode ser prejudicial para a fisiologia da planta ocasionando a redução de processos fotossintéticos. Grama que recebe menos luz pode estiolar e, em termos populares, podedesbotar tornando-se menos atrativa, já que o que se espera de um gramado é sua cor verde vibrante. Por isso, a pesquisa objetivou o estudo da influência de níveis de luminosidade e mudança no espectro de luz no desenvolvimento e índice de refletância de folhas de grama esmeralda Imperial®. Tapetes de grama foram implantados em contêineres de plástico preenchidos com substrato formado por solo, areia e condicionador de solo. Os níveis de luminosidade testados foram: T1: pleno sol, T2: telade sombreamento preta de 50 % e T3: tela de manipulação de espectro vermelha de 50 %. A altura de folhas de grama foi avaliado pelo método do prisma. Imagens digitais foram obtidas e os valores médio de vermelho, verde e azul (RGB) foram avaliados. Resultadosde RGB foram convertidos em valores de HSB (Matiz – H, Saturação – S e Brilho – B). Após obter HSB, Índice de cor verde escuro (DGCI) foi calculado. T2 e T3 interferiram no desenvolvimento e no índice de refletância de folhas de grama esmeralda Imperial®. Para o matiz os tratamentos supracitados tornaram as folhas amarelas, que significa clorose causada pela redução da concentração de clorofila. Índice de cor verde escuro, T2 e T3 ifluenciaram na coloração das folhas também tornando-as amareladas, comprovando os resultados de matiz, que são sintomas de clorose e estiolamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zoysia japonica; Verde vibrante; Influência de sombreamento; Grama.

## 1. INTRODUCTION

Zoysia grass (*Zoysia japonica*) is native to Japan. It is a rhizomatous and branched herbaceous grass. Its characteristics are narrow leaves, fast-growing and intense green colour; with different leaf textures and shades of green, forming a perfect rug. The Imperial® variety, selected and developed by a private research centre, is the first grass cultivation protected in Brazil by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. This variety has slightly wider leaves compared to Zoysia grass. It has more vigorous root system among all grasses of this family. Excellent drought tolerance, low nutritional requirement, and slow growth when compared to other grass species (ITOGRASS, 2020).

The presence of lawns, whether ornamental or sportive, has beneficial effects to human beings and to the environment, enabling the improvement of air quality, for example, due to the high potential for atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration, in addition to the efficiency in protecting the soil against erosion. However, for lawns, effectively perform these functions it is necessary to be properly deployed in environments conducive to good development (SANTOS *et al.*, 2018).

For this reason, studies involving cultivated grasses have increased considerably in recent years, based on the growing demand for green grassy areas in condominiums; public areas; sports and recreational centres, as well as highways flowerbeds. This increase has been accompanied by the introduction of new species of grasses and technologies such as irrigation, fertilization, use of pesticides and growth regulators (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

For lawn establishment, some abiotic factors may interfere on its development, such as water availability, soil fertility, and weeds competition. However, one of the main factors is the level of light that this lawn receives. Regard less of the goal, the lawn is part of a set weather other plants or physical structures, such as concrete, wood, iron. Therefore, it is necessary to be careful with excessive shading in grass areas.

Belonging to C<sub>4</sub> plant group, grasses need an extra supply of energy, requiring higher luminous intensity, due to their characteristic of reducing CO<sub>2</sub> losses, C<sub>4</sub> plants are more productive than C<sub>3</sub> plants, however their efficiency in converting light energy into chemical energy is lower (AMARAL *et al.*, 2016).

The shading influence on lawn may be harmful to plant physiology, which will have its photosynthetic processes reduced and as a result affecting the aesthetics of

the place in which it is inserted. A grass that receives less light may etiolate, and, in popular terms, it can fade making it less attractive, since what is expected for a lawn is its vibrant green colour.

For researchers, the experimentation models may be difficult to continue the research as the only way is with destructive evaluation. For this reason, they are trying always to create new methods non-destructive.

Therefore, procedures using colour images process are increasing in agriculture field practices for maximizing profit (El-Azazy, 2018).

The author pointed that colour model is a system of colours representation and their relation to each other. One of this models is the RGB (Red, Green and Blue) whose definition is analyse an image according to intensity of red, green and blue (Kondekar and Bodhe, 2018). In this case, another index derives from RGB model such as Dark Green Colour Index (DGCI), which varies from 0 (very yellow) to 1 (dark green) (Rhezaliand Lahlali, 2017).

Many studies have been used on digital images for indirectly nitrogen content determination and for other purposes in a non-destructive way in different plant species leaves as *Citrus volkameriana* (El-Azazy, 2018); *Capsicum annuum* (FELIZBERTO *et al.*, 2016); *Santalum album* (Chen and Wang, 2019); *Axonopus compressus*, *Zoysia matrella* and *Paspalum vaginatum* (MALLESHAIAH *et al.*, 2017).

However, in national or international literature, there are no works studying the effect of light at leaves colour characteristics of lawns, for instance. For this reason, the research aimed to study the influence of luminosity levels and changes in light spectrum on leaf reflectance indices and development of Imperial® *Zoysia* Grass.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted in a region whose climate was classified by Köppen Aw type, characterized by tropical humid with rainy season in summer and dry in winter. In 2019, the annual precipitation was 1,044.2 mm. The relative air humidity varied from 47.9 % to 96.2 % (annual minimum and maximum humidity, respectively) and annual temperature means was minimum of 19.4 °C and maximum of 32.9 °C (UNESP *et al.*, 2020).

Imperial® *Zoysia* grass was implanted in black plastic containers (47.5 x 17.5 cm – top; 41.5 x 11.3 cm – bottom; 15, 5 cm high, 8.46 L volume), using donated

carpets from Itogress®, located in municipality of Pereira Barreto-SP. The containers were filled with substrate formed by, soil, sand and soil conditioner (1:1:1, v:v:v).

The chosen experimental design was completely randomized scheme with three treatments and seven replicates. The luminosity levels tested were: full sun, black shadingnet of 50 % and red solar spectrum manipulation net of 50 %. The nets were fixed on structures made of 1/4" iron rebar with 1 x 1 x 1 m (height x width x length) of dimension. The containers irrigation was performed daily until substrate field capacity was reached. A covering fertilization was made on the day of experiment implementation to relieve plant stress. Fertilizer was applied by concentration of 10 g L<sup>-1</sup> of water, according to the manufacturer recommendation, 2 L of solution per container. The product contained 13 % Nitrogen, 5 % Phosphorus, 13 % Potassium, 1 % Calcium, 1 % Magnesium, 14 % Sulphur, 0.06 % Boron, 0.05% Copper, 0.2 % Iron, 0.1 % Manganese, 0.005 % Molybdenum and 0.2% Zinc.

The lawn height was assessed (7 and 14 days after grass transplant) using the prism (portable device made of steel and mirror which reflects light at 90° and contains graduated scale in cm). It was placed on the lawn surface, in three points, obtaining mean value.

The digital images were obtained once, 14 days after grass transplant, from a Sony DSC-W30 7.2 mega pixels digital camera fixed at the end of a structure in the form of an inverted "L" for images to be obtained parallel to lawn surface, in the same height (1.6 m). The images were transferred to a computer and each of these figures was analysed by Fireworks MX software.

Red, green and blue (RGB) mean values components from analysed image were reported. RGB components are the quantities of red, green and blue light transmitted by the image and are measured at values from 0 to 255. These components are combined in intensities to produce all other colours.

As only the green (G) component does not define the green colour, depending also on red (R) and blue (B) components, the RGB results were compiled for a spreadsheet in MS Excel® and converted to HSB values (Hue, Saturation and Brightness), according to Karcher and Richardson (2003) methodology.

The hue describes colour pigment and it is measured from 0° to 360° (0° red; 60° yellow; 120° green; 180° cyan; 240° blue and 300° magenta). Saturation describes colour vividness or fading and it is measured from 0 % to 100 % (Higher percentage higher colour vividness). Brightness describes the amount of white that a colour

contains and is also measured from 0% to 100% (higher percentage, higher the colour brightness). After obtaining HSB values, it was possible to calculate the Dark Green Colour Index (DGCI) by Karcher and Richardson (2003) proposal. DGCI value is on a scale from 0 (very yellow) to 1 (dark green) (RHEZALI and LAHLALI 2017). DGCI was calculated as:

$$DGCI = [((\text{Hue}) - 60) / 60 + (1 - (\text{Saturation})) + (1 - (\text{Brightness}))] / 3.$$

The data were analysed for analysis of variance (F test) and Tukey test at 5 % of probability for means comparison in relation to levels of luminosity using SISVAR program (FERREIRA, 2019) for statistical analysis.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1, it is observed that both at 7 and 14 days after transplant (DAT) there was statistical difference for leaf height developed in different types and levels of shading. At 7 DAT, T3 (50 % red solar spectrum manipulation net) and T2 (50 % black shading net), presented height 3.16 and 3.33 cm, respectively and did not differ statistically from each other, but both differed in relation to T1 (full sun) which achieved only 2.50 cm.

In the other hand, at 14 DAT all treatments have differed one to the other and the order from the highest to smallest was T2 with 8.44 cm, T3 with 6.10 cm and T1 with 4.27 cm (Table 1). As we can see the amount of light received in each net type have interfered. The percentage of increment in one week also was bigger in T3 (153.45 %), following to T2 (93.04 %) and T1 with 70.80 % of increment.

**Table 1** – Leaf height of Imperial® Zoysia grass under different types and levels of shading at 7 and 14 days after transplant (DAT).

Treatments	Leaf height (cm)	
	7 DAT	14 DAT
T1	2.50 b	4.27 c
T2	3.33 a	8.44 a
T3	3.16 a	6.10 b
CV(%)	7.86	4.59

T1: Full sun, T2: 50% black shading net and T3: 50% red solar spectrum manipulation net. Means followed by the same lower case letters in the columns do not differ at 5% of probability level by the Tukey test.

Díez *et al.* (2017), Taiz *et al.* (2017) and Leal *et al.* (2015) reported that there are



many factors, which affect plant development such as abiotic ones.

The authors published, although, in this case, light availability and intensity in the cultivation environment may affect plants morphophysiological responses, acting directly in the process of photochemical and biochemical reactions of photosynthesis; light intensity may damage photosynthetic apparatus.

For them, it may change Ribulose 1.5 bisphosphate carboxylase/oxygenase as carboxylation speed and CO<sub>2</sub> assimilation, which may cause formation of photo-assimilated substance for plant.

Jaimez *et al.* (2018) showed that plants create foliar functional strategies related to chlorophyll-a fluorescence on photosystem II (PSII), enabling efficient use of light. In this case, for present study, we may try to exemplify this theory as the reduction of luminosity increase the grass height.

Studying the influence of shading in Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) growth, Maciel *et al.* (2011) and Amaral *et al.* (2016), found similar results in relation to data presented here, where grass had higher heights when subjected to shading.

Another interesting point of view to grass growth is the necessity to have the lawn cut to maintain aesthetic and its objective. Therefore, slower growth is advantageous for not be necessary many cuts and enhance maintenance costs (AMARAL *et al.*, 2019). However, it is important to note the colour of grass when submitted to shading. Lawns used to be green and other presented colour may be harmful for this landscape and/or sportive grasses.

Despite of the biggest growth in T2 and T3 (Table 1) for leaf height, when we analysed the radiance index it is possible to note that T1 presented the biggest values for Green component (G), Hue (H) and Dark Green Colour Index (DGCI). T1 achieved 49 value for G differing statistically of T2 (42) and T3 (43). In relation to H the difference among all treatments was bigger, T1 showed 104 °H while T2 and T3 79 °H each one. From a scale of 0 to 1, the DGCI of T1 presented value of 0.71, T2 value of 0.60 and T3 0.59 (Table 2).

Saturation (S) and Brightness (B) have not presented statistical difference among all treatments (Table 2).

**Table 2** – Analysis of the green component (G), Hue (H), Saturation (S), Brightness (B) and Dark Green Colour Index (LVEF) in Imperial<sup>®</sup> Zoysia grass under different types and levels of shading at 7 and 14 days after transplant (DAT).

	G <sup>1</sup>	H	S	B	DGCI <sup>1</sup>
		( °H )	(%)	(%)	
T1	49 a	104 a	21 a	38 a	0,71 a
T2	42 b	79 b	15 a	36 a	0,60 b
T3	43 b	79 b	19 a	36 a	0,59 b
CV (%)	3,19	6,55	27,87	3,19	4,47
F	21,50*	19,97**	1,06 <sup>ns</sup>	3,21 <sup>ns</sup>	18,26**

T1: Full sun, T2: 50% black shading net and T3: 50 % red solar spectrum manipulation net.

<sup>1</sup> Dimensionless. Means followed by the same lower case letters in the columns do not differ at 5 % of probability level by the Tukey test

Backes *et al.* (2010) and Lima *et al.* (2012) affirmed that lower the G value more intense the green colour is. However, both cited works also described that using only green light amount is not efficient to quantify the image green colour. For RGB system, each colour tone is defined by three channels (red, green and blue), varying from 0 to 255.

The hue (H) describes colour pigment and it is measured from 0° to 360° (0° red; 60° yellow; 120° green; 180° cyan; 240° blue and 300° magenta). For H component, T2 and T3 presented values close to yellow, which means leaves chloroses caused by the reduction of chlorophyll concentration. One alternative answer is due to higher growth rate (Table 1), which caused reduction in chlorophyll concentration by dilution effect. Oliveira *et al.* (2017) and Gondim *et al.* (2018) also published that plant to enabling greater light interception, under shading occasions tend to expand the number and size of leaf limb, corroborating to previous point of view and with results found by this research.

For Dark Green Colour Index (DGCI) we may see statistic difference among treatments (Table 2). As G and H, T1 presented the biggest mean values (0.71) followed by T2 (0.60) and T3 (0.59) being the last two treatments not significant to each other.

According to Rhezali and Lahlali (2017), DGCI value ranged from 0, which means very yellow; to 1, which means dark green. Comparing to H value, and its concept, it is possible to affirm that the shading or spectrum light change (T2 and T3) influenced in leaves coloration turning them yellowish, which is symptom of chlorosis and etiolation.

Many works have been made using DGCI for measure the correlation between

dark green and fertilization, mainly with nitrogen and phosphorus. Caturegli *et al.* (2019) found positive correlation when compared the DGCI with doses of nitrogen applied in Bermuda grass as well as EL-Azazy *et al.* (2018) in *Citrus volkameriana*. Ivasko Júnior *et al.* (2020) also found greater DGCI when fertilized *Lagerstroemia indica* with greater amount of phosphorus and Nutini *et al.* (2018) in *Oryza sativa*. However, all replicates of this work were used the same substrate, fertilization, amount of water; the only thing different was levels of luminosity, therefore, we may deduce that light provoked the reduction of DGCI values in T2 and T3, making leaves longer and with diluted chlorophyll content.

For Simões *et al.* (2019), is extremely important to quantify incident radiation during plant development, in order to evaluate their effects in various physiological functioning processes, in addition, it is possible to establish management practices that enable better use of this resource by species of grass, which contributes to a specific aesthetic expectation.

#### **4. CONCLUSIONS**

Shading and changing the light spectrum interfered in the development and reflectance index of Imperial<sup>®</sup> Zoysia grass leaves.

For Hue component, 50 % black shading net and 50 % red solar spectrum manipulation net presented values close to yellow, which means leaves chloroses caused by the reduction of chlorophyll concentration.

Dark Green Colour Index value ranged from 0, which means very yellow; to 1, which means dark green. Comparing to Hue value, it is possible to affirm that the shading or spectrum light change influenced in leaves coloration turning them yellowish, which is symptom of chlorosis and etiolation.

#### **ACKNOWLEDGMENTS**

Authors acknowledge Izabela Militão Garcia e Mayara Maggi for experiment setup help and Itograss<sup>®</sup> for grass donation.

## REFERENCES

- AMARAL, J.A.; CASTILHO, R.M.M.; HAGA, K.I. Efeito de diferentes condições de luminosidade e substratos no desenvolvimento inicial de grama bermuda. **Cultura Agrônômica**, v. 25, n. 03, p. 291-302, 2016.
- AMARAL, J.A.; PAGLIARINI, M.K.; CASTILHO, R.M.M.; HAGA, K.I. Luminosity levels and substrates composition on Bermuda Grass development. *Ornamental Horticulture*, v. 25, n. 02, p. 168-179, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.14295/oh.v25i2.1454>
- BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R.L.; LIMA, C.P.; GODOY, L.J.G.; BÜLL, L.T.; SANTOS, A.J.M. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 69, n. 03, p. 661-668, 2010.
- CATUREGLI, L.; GAETANI, M.; VOLTERRANI, M.; MAGNI, S.; MINELLI, A.; BALDI, A.; GROSSI, N. (2019). Normalized Difference Vegetation Index versus Dark Green Colour Index to estimate nitrogen status on bermudagrass hybrid and tall fescue. **International Journal of Remote Sensing**, p. 1–16, 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2019.1641762>
- CHEN, Z.; WANG, X. Model for estimation of total nitrogen content in sandalwood leaves based on nonlinear mixed effects and dummy variables using multispectral images. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 195, p. 01-12, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2019.103874>
- DÍEZ, M.C.; MORENO, F.; GANTIVA, E. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. **Revista Faculdade Nacional de Agronomia**, v. 70, n. 01, p. 8023-8033, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61736>
- EL-AZAZY, A.M. Inspect the potential of using leaf image analysis procedure in estimating nitrogen status in citrus leaves. **Middle East Journal of Agriculture**, v. 07, n. 03, p. 1059- 1071, 2018.
- FELISBERTO, P.A.C.; GODOY, L.J.G.; FELISBERTO, G. Índices de cor da folha para monitoramento nutricional de nitrogênio em plantas de pimentão. **Revista Científica**, v. 44, n. 02, p. 207–216, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n2p207-216>
- FERREIRA, D, F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot typedesigns. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 04, p. 529-535, 2019.
- GONDIM, A.R.O.; PUIATTI, M.; FINGER, F.L.; CECON P.R. 2018. Artificial shading promotes growth of taro plants. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 02, p. 83-89, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632018v48i1355>
- ITOGRASS. **Grama Esmeralda Imperial**®. 2020. Disponível em: <https://itograss.com.br/grama-esmeralda-imperial/>. Acesso em: 14 abril de 2020.

IVASKO JÚNIOR, S.; BOBROWSKI, R.; LOMBARDI, K.C. Which vigor variables can be influenced by phosphate fertilization in mature *Lagerstroemia indica* L. trees? **Revista Floresta**, v. 50, n. 01, p. 1021-1030, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v50i1.60617>

JAIMEZ, R.E.; AMORES, F.P.; VASCO, A.; LOOR, R.G.; TARQUI, O.; QUIJANO, G.; JIMENEZ, J.C.; TERAZA, W. Photosynthetic response to low and high light of cacao growing without shade in an area of low evaporative demand. **Acta Biologica Colombiana**, v. 23, n. 01, p. 95-103, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n1.64962>

KARCHER, D.E., RICHARDSON, M.D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. **Crop Science**, v. 43, p. 943-951, 2003.

KONDEKAR, V.H.; BODHE, S.K.A. Comprehensive Investigation of Color Models used in Image Processing. **International Journal of Computer Applications**, v. 180, n. 22, p.19-24, 2018.

LEAL, C.C.P.; TORRES, S.B.; FREITAS, R.M.O.; NOGUEIRA, N.W.; FARIAS, R.M. Light intensity and type of container on producing *Cassia grandis* L. f. seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 939-945, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p939-945>.

MALLESHAIAH, S.; GOVINDASWAMY V.; MURUGAIAH, J.; M, G.; N C, S. Influence of traffic stress on warm season turfgrass species under simulated traffic. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 87, n. 01, p. 62-68, 2017.

NASCIMENTO, T.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; SALOMÃO, L.C.; FERRAZ, R.B.; ARAÚJO, V.R. Sistema radicular das gramíneas cultivadas em gramaturas de geotêxtil sob irrigação subsuperficial. **Irriga**, v. 24, n. 01, p. 54-68, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n1p54-68>

NUTINIA, F.; CONFALONIERIB, R.; CREMAA, A.; MOVEDIB, E.; PALEARIB, L.; STAVRAKOU DISC, D.; BOSCHETTIA, M. An operational workflow to assess rice nutritional status based on satellite imagery and smartphone apps. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 80-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.008>

OLIVEIRA, V.C.; SANTOS, A.R.; SOUZA, G.S.; SANTOS, R.M. Respostas fisiológicas de plantas de orégano (*Origanum vulgare* L.) cultivadas sob malhas coloridas e fertilizantes orgânicos. **Revista Colombiana de Ciências Horticolas**, v. 11, n. 02, p. 400- 407, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7591>

RHEZALI, A.; LAHLALI, R. 2017. Nitrogen (N) mineral nutrition and imaging sensors for determining n status and requirements of maize. **Journal of Imaging**, v. 03, n. 04, p. 01-16, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jimaging3040051>

SANTOS, A.J.M.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C.; GODOY, L.J.G.; LIMA, C.P. Equipamento portátil para medição da resistência à tração de tapetes de grama.

**Revista Energia na Agricultura**, v. 33, n. 01, p. 09-13, 2018.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n1p09-13>

SIMÕES, V. J. L. P.; LEITE, M. L. de M. V.; IZIDRO, J. L. P. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; TEIXEIRA, V. I.; Assimilação de carbono em plantas forrageiras. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 12, n. 01, p.125-134, 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/PAeT.V12.N1.14>

TAIZ, L.; ZEIGER E.; MØLLER I.; MURPHY A. 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Artmed: Porto Alegre, 2017. 888 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Dados climáticos de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Área de Hidráulica e Irrigação, 2020. Disponível em:  
[http://clima.feis.unesp.br/dados\\_diarios.php](http://clima.feis.unesp.br/dados_diarios.php). Acesso em: 16 abr. 2020.

# CAPÍTULO 02

## ZOYSIA GRASS GROWTH AFFECTED BY PHYSICAL ATTRIBUTES OF SUBSTRATES FORMULATION

### **Jéssica Pigatto De Queiroz Barcelos**

Mestre em Agronomia

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu (Doutorando em Agronomia)

Endereço: Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso

E-mail: jessica.pqb@gmail.com

### **Maximiliano Kawahata Pagliarini**

Doutor em Agronomia

Universidade Federal da Grande Dourados (Técnico em Agropecuária)

Rodovia Dourados/Itahum, Km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Caixa Postal: 364, CEP: 79.804-970

E-mail: mpagliarini@ufgd.edu.br

### **Patrick Luan Ferreira Dos Santos**

Mestre em Agronomia

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu (Doutorando em Agronomia)

Endereço: Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso

E-mail: patricklfsantos@gmail.com

### **Heitor Pontes Gestal Reis**

Mestre em Agronomia

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu (Doutorando em Agronomia)

Endereço: Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso

E-mail: heitor\_reis@hotmail.com

### **Regina Maria Monteiro De Castilho**

Doutora em Ciências Biológicas

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira (Professora Assistente)

Endereço: Avenida Brasil, 56 - Centro - Ilha Solteira/SP - CEP 15385-000

E-mail: castilho@agr.feis.unesp.br

**ABSTRACT:** Soil compaction causes several damages to turfgrass root system such as less water penetration, nutrient uptake and even photosynthesis processes. These processes leads unappropriated formation of tillers, rhizomes, stolon, reduced shoot growth as well as the chlorosis caused by nitrogen deficiency. This work aimed to evaluate physical characteristics in different formulations and substrate components in relation to Zoysia grass development. The experimental design used was completely randomized, composed by eight treatments and three replicates: T1 - soil; T2 - soil + sand (2:1); T3 - soil + sand (1:1); T4 - soil + organic compound (1:1); T5 - soil + organic compound (2:1); T6 - soil + organic compound + sand (2:1:1); T7 - soil + organic compound + sand (1:1:1); T8 - organic compound + sand (2:1). It was evaluated

substrates physical characteristics as total porosity and density and for grass development the dipping fresh mass. There was influence of total porosity and density on different substrates composition in the development of Zoysia grass, and the treatments that have organic matter in their composition obtained the best results for the evaluated traits. T4 and T8 showed the highest values of density, total porosity and values of fresh mass, however, increase the need for cuts to maintain the turfgrass aesthetics.

**KEYWORDS:** Zoysia japonica Steud; Compaction; Grass; Turfgrass,

**RESUMO:** A compactação do solo provoca danos ao sistema radicular como a penetração de água, a absorção de nutrientes até a fotossíntese. Este processo leva à formação inapropriada de perfilhos, rizomas, estolões, redução no desenvolvimento da parte aérea, assim como clorose provocada pela deficiência de nitrogênio. Este trabalho objetivou avaliar características físicas em diferentes formulações e componentes de substratos em relação ao desenvolvimento de grama esmeralda. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado composto por oito tratamentos e três repetições: T1 - solo; T2 - solo + areia (2:1); T3 - solo + areia (1:1); T4 - solo + composto orgânico (1:1); T5 – solo + composto orgânico (2:1); T6 - solo + composto orgânico + areia (2:1:1); T7 - solo + composto orgânico + areia (1:1:1); T8 – areia + composto orgânico + areia (1:2). Foram avaliadas características físicas de substratos como porosidade e densidade e para o desenvolvimento da grama a massa fresca de aparas. Houve influência da porosidade e densidade nas diferentes composições de substratos no desenvolvimento de grama esmeralda e os tratamentos que continham matéria orgânica em sua composição, obtiveram os melhores resultados para os caracteres avaliados. T4 e T8 apresentaram os maiores resultados de porosidade, densidade e também de massa fresca de aparas, porém, aumenta a necessidade de cortes para manter a estética do gramado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zoysia japônica Steud; Compactação; Grama; Gramado.



## 1. INTRODUCTION

*Zoysia* grass (*Zoysia japonica*) is a warm-season, perennial, C4 turfgrass, whose origin centre is East Asia. Usually, it is used on intensively managed turfs, such as recreational areas and sports fields, golf course fairways and tees. This grass species is known to have great adaptability in many types of environment all over the world, presenting fast growth rates when cultivated in good biotic and abiotic conditions as presence of water, fertilization, light and great soil chemical and physical attributes (POMPEIANO and PATTON, 2017; COHEN *et al.*, 2019).

The implanting grass process require many studies and preparation. Numerous urban ecosystem services are provided by turfgrass landscapes, but, the grass growth may have rooting potential restricted due to anthropogenic manipulation or even by shallow top soil natural formation (MONTEIRO, 2017; CULPEPPER *et al.*, 2020).

The physical soil attributes, correlated to lawns management may provide subsidies for improvements to management techniques (PEIXOTO *et al.*, 2018), with the objective of improving crop performance. The study of physical soil attributes variability make it possible to identify regions with most susceptible to degradation processes and growth lag (SILVA *et al.*, 2020).

In compacted soils, there is particles reorganization that make up the soil structure, reducing the amount of air around root zone, causing poor water infiltration and making root growth impossible. As a consequence of this densification, there is a decrease in grass development due to lack of an adequate plant root growth and the expression of this condition is verified with thin and superficial roots formation (SANTOS *et al.*, 2016). Two soil physical attributes may be considered to qualify soil or substrate: porosity and soil/substrate density.

Total soil porosity may be defined as the fraction of the total volume of a given soil volume that can be occupied by water and/or air, with no solid particles. Soil density is expressed as the mass per dry soil unit volume, which includes solid particles and porous space (EMBRAPA *et al.*, 2017). For the same authors, this physical attributes serves as an indicator of soil compaction degree, as well as a tool to measure soil changes that occur in soil structure.

The implantation of the lawn will depend on soil composition in which it will be established and therefore it is extremely important that preparation be done and that all physical attributes are observed. On the other hand, on some occasions, the lawns

will be planted in substrate, making it easier to manipulate this space to achieve the expected results.

For both cases, the quality of the soil / substrate may be verified by the amount of organic matter, as it is directly linked to the available carbon content. The decrease in these levels will affect soil aggregation, porosity and density (BALIN *et al.*, 2017).

The main process of adding organic material to the soil has the plant as an active component, therefore, the stock of organic matter in the soil is the result of processes of addition and loss of organic material, and plants and microorganisms play a fundamental role. Carbon can accumulate in labile or stable fractions of soil organic matter (SOM), which may have implications for the duration of its effect on soil properties (REIS *et al.*, 2016).

Another essential substrate component is sand due to high drainage capacity. When mixture to soil and/or organic matter, as sand has bigger particles, it is possible to increase and supply physical needs (porosity and density). As inert substance, sand does not provide nutrient and also does not fix the same nutrient, therefore, the quantity of sand should be dimensioned in a very good way. Thus, soil is used for substrate mixture to provide initial nutrients, but supplementary fertilization will be needed periodically (SANTOS and CASTILHO, 2016; 2018).

As in Brazil there are no official recommendations for substrate formulations for turfgrass development, this work aimed to test different formulations and substrate components in Zoysia grass development.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted in full sun and cemented area, in a region whose climate was classified by Köppen as Aw type, characterized by tropical humid with rainy season in summer and dry in winter. The annual mean precipitation was 1,044.2 mm. The relative air humidity varied from 47.9 % to 96.2 % (annual minimum and maximum humidity, respectively) and annual temperature means was minimum of 19.4 °C and maximum of 32.9 °C (UNESP *et al.*, 2020).

Zoysia grass was implanted in black plastic containers (47.5 x 17.5 cm – top; 41.5 x 11.3cm – bottom; 15, 5 cm high, 8.46 L volume), using donated carpets from Itograss®, located in municipality of Pereira Barreto-SP.

The experimental design used was completely randomized, composed by eight

treatments with three replicates per treatment, being: T1 - soil; T2 - soil + sand (2:1); T3 - soil + sand(1:1); T4 - soil + organic compound (1:1); T5 - soil + organic compound (2:1); T6 – soil + organic compound + sand (2:1:1); T7 - soil + organic compound + sand (1:1:1); T8 - organic compound + sand (2:1). The numbers between parentheses mean the proportion of each material.

The soil used was an Oxisol type (Embrapa, 2018) taken from the 0 - 20 cm layer at the university experimental farm, located in the municipality of Selvíria-MS, whose chemical analysis is in Table 1.

**Table 1** – Chemical analysis of the soil used as a substrate component that evaluates soil physical attributes and Zoysia grass development.

	pH	Ca	Mg	K	Al	H + Al	SB	CTC	P	MO	V
	H <sub>2</sub> O	-----mmolcdm <sup>-3</sup> -----						mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	%	
Solo	5.0	24	1.0	0.7	0	22	25.9	47.9	27.0	31.0	54

Test method: resin method mentioned by Raij (1987).

The organic compound used has been decomposed for one year, being formed from grass blades and cattle manure (1: 1); medium washed sand was purchased from local business.

The containers irrigation was performed daily until substrate field capacity was reached. Weed control was made whenever necessary, by manually removing weeds. A covering fertilization was made due to grass has slow growth and for presented yellow colour leaves. Fertilizer was applied by dosage of 130 g m<sup>-2</sup>, which was spread over the lawn and then watered, according to the manufacturer recommendation. The product contained 13 % Nitrogen, 5 % Phosphorus, 13 % Potassium, 1 % Calcium, 1 % Magnesium, 5 % Sulphur, 0.04 % Boron, 0.05 % Copper, 0.2 % Iron, 0.1 % Manganese and 0.15 % Zinc. Total porosity and density analysis of substrates were performed according to Embrapa (2017) methodology at the day of experiment installation with deformed samples, 215 and 422 days after installation with unformed samples for fresh mass, all grass leaves of each container were collected at 215, 347 and 418 days after installation, which were placed in previously tared paper bags and identified, then the fresh mass was determined on a precision scale 0.01 g.

The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and means compared by Tukey test at 5 % probability of error, using the SISVAR program (FERREIRA, 2019).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The total porosity means are shown in Table 2 and it is possible to observe that in the first assessment there is statistical difference between T5 (soil + organic compound 1:1) and T2 (soil + sand 1:1), with extreme means (66.31 % and 45.81 %, respectively). All treatments containing organic compost (T4: soil + organic compound 1:1; T5; T6: soil + sand + organic compound 2:1:1; T7: soil + sand + organic compound 1:1:1 and T8: sand + organic compound 1:2) showed no statistical difference between them being the biggest means. It is worth remembering that the first evaluation was performed before grass implantation just to evaluate the conditions of substrates beginning.

For second and third evaluations, 215 and 422 days after implantation (DAI), T2 (39.77 %, 39.69 %; respectively) remains the treatment with the lowest mean, but the highest porosity for both assessment is T8 (62.90 %, 63.73 %; respectively), being both not statistically different from each other (Table 2).

From evaluation one to evaluation two all treatments, except T3 and T8, have decreased the percentage of porosity, while from assessment two to assessment three the only treatments that have not decreased was T6 and T8, being this last one, the only treatment that presented bigger porosity percentage in relation to the time of implantation (Table 2).

There is slight decrease in treatments porosity from second to third evaluation, with T3 and T8 being those that showed an increase in porosity between first and seconde valuation and T1 and T3 the most accentuated decrease between last two assessments.

**Table 2** – Total Porosity means of substrates for evaluations assessed on the day of implantation, 215 and 422 days after implantation of the experiment (DAI) that evaluates soil physical attributes and Zoysia grass development.

Total Porosity (%)						
Days after implantation (DAI)						
Treatments	0		215		422	
T1 – S	49.49	bc	46.2	bc	42.87	bc
T2 – S + SA 1:1	45.81	c	39.77	c	39.69	c
T3 – S + SA 2:1	48.18	bc	54.25	abc	42.84	bc
T4 – S + CO 1:1	59.77	abc	57.49	ab	56.13	ab
T5 – S + CO 2:1	66.31	a	53.17	abc	53.05	abc
T6 – S + SA + CO 2:1:1	52.31	abc	47.05	bc	48.84	bc
T7 – S + SA + CO 1:1:1	59.77	abc	48.46	abc	47.86	bc
T8 – A + CO 1:2	60.91	ab	62.90	a	63.73	a

Means followed by the same letter in the column do not differ at the 5 % level of significance by Tukey test. S = soil; SA = sand; OC = organic compound.

The substrate porosity presents great importance for plant growth, because root system requires spaces to perform their gas exchange and water availability and microorganisms need greater aeration to survive (SILVA *et al.*, 2017). As shown at Table 2, even with no statistical difference all treatments whose composition had organic compound presented the highest means of porosity, which may influence turf grass growth.

The general decrease in substrates total porosity may be explained due to cementing effect, mentioned by Fermino *et al.* (2018), when smaller particles are lodged between free spaces, formed by the arrangement of the larger particles. As mentioned earlier, at first assessment lawn had not been installed yet and roots growth can cause soil compaction, in addition to internal processes such as wetting and drying, and expansion and contraction of soil mass.

According to Gonçalves and Poggiani (2000), values between 75 % and 85 % of total porosity are considered adequate for seedlings production, in this case none of substrates achieved such percentage. For the same authors, values between 55-75 % are considered medium, below 55 % low and bigger than 75 % considered high.

In the other hand, according to Usga (2018), adequate values of total porosity, for adequate golf turfgrass growth and development are between 0.35-0.55m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, equivalent to 35-55 %. In this way, only T4 and T8 showed inadequate porosity, and the others, despite the decrease in total porosity, are within the appropriate interval for lawn development.

Low porosity and low aeration space may be related to the large amount of small particles, which may lead to increased density (BRITO *et al.*, 2017).

Table 3 presents the average values of each substrate density.

**Table 3** – Density means of substrates for evaluations assessed on the day of implantation, 215 and 422 daysafter implantation of the experiment (DAI) that evaluates soil physical attributes and Zoysia grass development.

Density (g cm <sup>-3</sup> )						
Treatments	Days after implantation (DAI)					
	0		215		422	
T1 – S	1,23	b	1,35	b	1,35	ab
T2 – S + SA 1:1	1,49	a	1,53	a	1,46	a
T3 – S + SA 2:1	1,50	a	1,33	b	1,41	a
T4 – S + CO 1:1	0,98	c	0,99	de	1,04	de
T5 – S + CO 2:1	0,73	d	1,11	cd	1,10	cd
T6 – S + SA + CO 2:1:1	1,16	b	1,24	c	1,19	cd
T7 – S + SA + CO 1:1:1	1,22	b	1,23	c	1,22	bc
T8 – A + CO 1:2	0,92	c	0,89	e	0,89	e

Means followed by the same letter in the column do not differ at the 5 % level of significance by Tukey test. S = soil; SA = sand; OC = organic compound.

It is noted that at first evaluation, the day of experiment implementation, T5 presented the lowest value and T3 the highest, both differing statistically. It is also observed that at 215 and 422 DAI, T8 was the only one to present low density when compared to other treatments. As mentioned previously, density and porosity are correlated.

The values of density behaviour are inverse to what observed for total porosity, there was a general increase in density with the exception of T3 and T8, which dropped between the first and the second evaluation, possibly, the sand avoided the cementing effect and greater particle compaction, however, the difference in values is great between one and the other. The density of T3 has already been high before grass was implanted, so, more compacted, while T8 had lower values (Table 3).

The third evaluation shows subtle variations with an increase in T3 and T4, and a decrease in T2, T5, T6 and T7 (Table 3).

It may also be observed that T2 stands out from the other treatments with the lowest values of total porosity (Table 2) and with the highest values of density (Table 3) in all evaluations. It is also possible to observe the reverse behaviour presented by T3 in which the porosity shows an increase (second evaluation) followed by a decrease

(Third evaluation) and in density it presents a decrease (second evaluation) followed by an increase (third evaluation).

According to Usga (2018) for the range of total porosity previously mentioned (35 % a 55 %) densities must be between 1.19-1.72 g m<sup>-3</sup>, where at the day of experiment installation, only T1, T2 , T3 and T7 are within the range, at 215 and 422 DAI, treatments that are in the exposed limits are T1, T2, T3, T6 and T7.

Organic matter, as we may see, is one of the most fundamental components of substrates, being responsible for increasing water and nutrient retention capacity, for plants, in addition to reducing the apparent and overall density of substrate, also increasing its porosity (SALES *et al.*, 2017).

Corroborating this concept, all treatments that contained organic matter, in general, showed greater porosity and lower densities (Tables 2 and 3). The organic matter has high water absorption, preventing the formation of thick films around mineral particles in the soil, reducing the lubricating effect of water between them, reducing the intensity of compaction.

Brandy and Weil (2013) consider ideal density ranges between 1.3 to 1.6 g cm<sup>-3</sup> and densities above 1.7 g cm<sup>-3</sup> restrictive for plant growth. In these conditions, only T1, T2 and T3 would provide sufficient density for grass development, due to the results presented in the last two evaluations, since all other treatments show results below for proposed interval.

Santos *et al.* (2016) working with different substrates for development of Zoysia grass, found a density range between 0.99 to 1.46 g cm<sup>-3</sup>, corroborating with the present study.

Table 4 shows the fresh weight means of all treatments for assessments at 215, 347 and 418 DAI.

**Table 4** – Fresh mass of Zoysia grass cutting in different substrates for evaluations assessed on the day of implantation, 215 and 422 days after implantation of the experiment (DAI) that evaluates soil physical attributes and grass development.

Fresh mass (g)						
Treatments	Days after implantation (DAI)					
	215		347		418	
T1 – S	110.63	c	51.71	b	37.57	a
T2 – S + SA 1:1	90.06	c	90.96	ab	44.74	a
T3 – S + SA 2:1	123.44	bc	84.74	ab	26.26	a
T4 – S + CO 1:1	199.82	a	97.31	ab	78.38	a
T5 – S + CO 2:1	193.20	a	106.74	ab	83.85	a
T6 – S + SA + CO 2:1:1	186.92	a	71.34	b	54.39	a
T7 – S + SA + CO 1:1:1	173.32	ab	90.48	ab	55.49	a
T8 – A + CO 1:2	187.48	a	135.43	a	73.99	a

Means followed by the same letter in the column do not differ at the 5% level of significance by Tukey test. S = soil; SA = sand; OC = organic compound.

The fresh mass represents plant growth, and it is noted that at first evaluation T4, T5, T6 and T8 obtained the highest averages, not differing statistically from each other, but differed from the others, while T2 obtained the lowest average.

At second evaluation, T8 presented the highest fresh mass among treatments, with the lowest value being presented by T1. The third evaluation did not show any statistical difference among treatments means, however numerically T5 and T3 obtained the highest and lowest mean, respectively.

As well as physical characteristics evaluated previously, it is observed that, in general, treatments with organic matter in its composition, presented the highest grass fresh masses. The grass planted on these substrates managed to develop more and probably deepened its root system and, thus, absorb more water and nutrients to the detriment of treatments with more superficial and even less developed root system.

Dinalli *et al.* (2015) working with application of nitrogen sources to evaluate fresh matter content in Zoysia grass in the municipality of Ilha Solteira-SP, found intervals of 8.6 g to 10.4 g, with no statistical difference between treatments, as the same occurred with Amaral *et al.* (2016) when tested substrates in Bermuda grass, which does not occur with the present work.

On the other hand, Santos *et al.* (2016) studied the influence of fertilization and compaction of different substrates on the development of Zoysia grass, observed an interval between 45.59 to 70.75 g of fresh mass for treatments without fertilization. In the present study, at 215 days, the date before fertilization, none of substrates was



shown to be within this range. Still, according to the same author, intervals between 56.28 to 95.91g of fresh mass were found for treatments fertilized with Forth Jardim®. In the present work, at 347 days, treatments had already been fertilized with the same product, and only T2, T3, T6 and T7 were found in the exposed, already at 418 DAI, only T4, T5 and T8 are within that range.

All treatments have soil as a component, except T8, so most of them have the same base in relation to initial nutrients. It is important to remember that sand is an inert material and due to not having electrical charges, it is unable to retain any type of element. Thus, the grass growth in the treatments with organic matter is greater than in the treatments without, it may be inferred that the organic matter also made available essential nutrients to plant development as Cabreira *et al.* (2017).

#### **4. CONCLUSIONS**

There was influence of total porosity and density on different substrates composition in the development of Zoysia grass, and the treatments that have organic matter in their composition obtained the best results for the evaluated traits.

T4 (soil + organic compound 1:1) and T8 (sand + organic compound 1:2) showed the highest values of density, total porosity and, also values of fresh mass, however, increase the need for cuts to maintain the turfgrass aesthetics.

#### **AUTHOR CONTRIBUTION**

#### **ACKNOWLEDGMENTS**

Authors acknowledge Itogress® for grass donation.

## REFERENCES

AMARAL, J.A.; CASTILHO, R.M.M.; HAGA, K.I. Efeito de diferentes condições de luminosidade e substratos no desenvolvimento inicial de grama bermuda. **Cultura Agronômica**, v. 25, n. 03, p. 291-302, 2016.

BALIN, N.M.; ZIECH, A.R.D.; OLIVEIRA, J.P.M.; GIRARDELLO, V.C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P.C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 03, p. 85-94, 2017.

BRANDY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. vol 01. Bookman: Rio de Janeiro. 2013. 716p.

BRITO, L.P.S.; BECKMANN-CAVALCANTE, M.Z.; AMARAL, G.C.; SILVA, A.A.; AVELINO, R.C. Reutilização de resíduos regionais como substratos na produção de mudas de cultivares de alface a partir de sementes com e sem peletização. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 116, n. 01, p. 51-61, 2017.

CABREIRA, G.V.; LELES, P.S.S; ALONSO, J.M; ABREU, A.H.M.; LOPES, N.F.; SANTOS, G.R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Revista Floresta**, v. 47, n. 02, p. 165-176, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5380/ufv.v47i1.44291>

COHEN, I.; NETZER, Y.; STHEIN, I.; GILICHINSKY, M.; TEL-OR, E. Plant growth regulators improve drought tolerance, reduce growth and evapotranspiration in deficit irrigated *Zoysia japonica* under field conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 88, p. 9–17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00484-4>

CULPEPPER, T.; YOUNG, J.; MONTAGUE, D.T.; SAPKOTA, M.; ESCAMILLA, E.; WHERLEY, B. Physiological response to water deficit stress with restricted rooting in tall fescue and Zoysiagrass. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 38, n. 01, p. 29–36, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24266/0738-2898-38.1.29>

DINALLI, R. P.; BUZETTI, S.; CASTILHO, R. M. M.; GAZOLA, R. N.; CELESTRINO, T. S. Adubação nitrogenada e herbicidas como reguladores de crescimento nas concentrações de micronutrientes da grama esmeralda. **Revista Agrotecnologia**, v. 06, n. 01, p. 26-44, 2015.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. vol. 01. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. vol. 01. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FERMINO, M.H.; ARAUJO, M.M.; AIMI, S.C.; TURCHETTO, F.; BERGHETTI, A.L.P.; ZAVISTANOVICZ, T.C.; MIETH, P.; GRIEBELER, A.M.; VILELLA, J.M. Reutilization of residues as components of substrate for the production of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Cerne**, v. 24, n. 01, p. 80-89, 2018.  
<https://doi.org/10.1590/01047760201824022522>

FERREIRA, D, F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot typedesigns. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 04, p. 529-535, 2019.

FUENTEALBA, M. P.; ZHANG, J.; KENWORTHY, K.; ERICKSON, J.; KRUSE, J.; TRENHOLM, L. Development and profile characteristics of Bermuda grass and Zoysiagrass. **Hortscience**, v. 50, p. 1429-1434, 2015.

FUENTEALBA, M. P.; ZHANG, J.; KENWORTHY, K.; ERICKSON, J.; KRUSE, J.; TRENHOLM, L. Transpiration responses of warm-season turf grass in relation to progressive soil drying. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 249-253, 2016.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C.; SOARES, E. V.L.; SANTOS, A.J.M.; LIMA, C.P.; FERNANDES, D.M. Sod production and nutrient extraction by emerald Zoysiagrass with split nitrogen applications. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 04, p. 185-193, 2017.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 80-102.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relação solo-água-plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979.

KOJOROSKI-SILVA, C. M.; SCHEFFER-BASSO, S.M.; CARNEIRO, C.M.; GUARIENT, M.; Desenvolvimento morfológico das gramas Esmeralda, São Carlos e Tifton 419. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 03, p. 471-477, 2011.

MONTEIRO, J.A. Ecosystem services from turfgrass landscapes. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 26, p. 151-157, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.001>

PEIXOTO, M.J.A.; CARNEIRO, M.D.S.; AMORIM, D.S.; EDVAN, R.L.; PEREIRA, E.S.; COSTA, M.R.G.F. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n.257, p. 35-39, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

POMPEIANO, A.; PATTON, A.J. Growth and root architecture responses of zoysiagrass to changes in fertilizer nitrate: urea ratio. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 05, p. 528-534, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201600401>

RAIJ, B. V. **Análise química do solo para fins de fertilidade. vol. 1**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, 170 p.

REIS, D.A.; LIMA, C.L.R.; BAMBERG, A.L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 09, p. 1623-1632, 2016.

SALES, R.A.; SALES, R.A.; NASCIMENTO, T.A.; SILVA, T.A.; BERILLI, S.S.; SANTOS, R.A. influência de diferentes fontes de matéria orgânica na propagação da *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 04, p. 99-106, 2017.

SANTOS, F. J. A.; NASCIMENTO, I. S.; ARAÚJO, L. R.; Avaliação de diferentes substratos no cultivo de grama esmeralda. **Revista Tocantinense de Geografia**. Araguaína, v. 4, n. 6, p. 50-60, 2015.

SANTOS, P.L.F.; CASTILHO, R.M.M. Caracterização físico-química de diferentes substratos e sua influência no desenvolvimento da grama esmeralda. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 06, p.21-26, 2016.

SANTOS, P.L.F.; CASTILHO, R.M.M. Substrates in the development of a sports turfgrass "Tifton 419". **Ornamental Horticulture**, v. 24, n. 02, p.138-144, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v24i2.1055>

SANTOS, P. L. F.; BARCELLOS, J.P.Q.; CASTILHO, R.M.M.; REIS, H.P.G. Compactação de diferentes substratos antes e após a implantação de um gramado ornamental. **Revista do Agronegócio – Reagro**, v. 05, n. esp., p. 01-13, 2016.

SILVA, M.V.; ALMEIDA, G.L.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; PANDORFI, H.; SILVA, R.A.B.; MACÊDO, G.A.P.A.; ROLIM, M.M.; SANTANA, T.C.; CAVALCANTI, S.D.L. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e produção de palma forrageirano semiárido pernambucano. **Brazilian Journal of Development**, v. 06, n. 02, p. 7631- 7643, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-169>

SILVA, V.; OLIVEIRA, A.; SILVA, W.; SILVA, L.; LUZ, V.; LUZ, W. Produção de mudas de alfaves submetido a diferentes tipos de substratos alternativos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 01, p. 01-06, 2017.

TSURUTA, S.; SHIMODA, K.; KOUKI, K.; EBINA, M. The Present Status of C-4 Tropical Grasses Breeding and Molecular Approaches. **Jarq – Japan Agricultural Research Quarterly**. v 49, p. 203-215, e. 3, 2015.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Dados climáticos de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Área de Hidráulica e Irrigação, 2020. Disponível em: [http://clima.feis.unesp.br/dados\\_diarios.php](http://clima.feis.unesp.br/dados_diarios.php). Acesso em: 28 abr. 2020.

USGA. Recommendations for a method of putting green construction. **USGA Green Section Staff**, v. 56, n. 04, p. 1-33, 2018.

ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S. R. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava*L.) em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 01, p. 137- 142, 2007.

# CAPÍTULO 03

## MONITORAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO EM SALAS DE ORDENHA

### **Pedro Hurtado de Mendoza Borges**

Doutor em Máquinas Agrícolas pela Universidade de Rostock, Alemanha

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço: Av. Fernando Corrêa da Costa nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá/MT, Brasil

E-mail: pborges@ufmt.br

### **Charles Esteffan Cavalcante**

Graduando em Agronomia pela Universidade Federal de Mato Grosso

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço: Av. Fernando Corrêa da Costa nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá/MT, Brasil

E-mail: charlescavalcante05@gmail.com

### **Pedro Hurtado de Mendoza Moraes**

Graduando em Agronomia pela Universidade Federal de Mato Grosso

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço: Av. Fernando Corrêa da Costa nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá/MT, Brasil

E-mail: pedromoraes08@hotmail.com

### **Záira Moraes dos Santos Hurtado de Mendoza**

Doutora em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço: Av. Fernando Corrêa da Costa nº 2367, Boa Esperança, Cuiabá/MT, Brasil

E-mail: zaira@ufmt.br

**RESUMO:** O índice de temperatura e umidade (ITU) tem sido utilizado como um critério para avaliar o ambiente térmico em instalações zootécnicas, servindo de subsídio para estabelecer os parâmetros adequados relacionados ao conforto ambiental. O presente estudo teve como objetivo verificar a influência das condições térmicas no desempenho produtivo de vacas leiteiras, com base no monitoramento diário do índice de temperatura e umidade (ITU) na sala de ordenha. A pesquisa foi realizada no setor de bovino cultura leiteira, Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ), Universidade Federal de Mato Grosso, município de Santo Antônio de Leverger. Os dados da produção leiteira foram obtidos a partir dos registros de controle da própria Fazenda Experimental, no período entre 01 de junho e 31 de julho de 2020 com duas ordenhas diárias, sendo a primeira às 9:00 horas e a segunda às 15:00 horas. Para monitorar as condições de conforto térmico do ambiente na instalação foi utilizado um sistema de aquisição de dados, composto por um microcontrolador Arduino, sensor de temperatura e umidade, módulo relógio e módulo para armazenamento, o qual foi desenvolvido no Laboratório de Automação Agropecuária da Faculdade de Agronomia e Zootecnia. As variáveis foram analisadas por meio de estatística descritiva e diagramas de caixa. As quatro variáveis estudadas foram comparadas pelo teste t (Student). Além disso, o ITU e a produção leiteira diária foram representados como séries temporais, em cada seção de ordenha. Com base no teste t, houve diferença significativa entre as variáveis. Os resultados obtidos evidenciaram que as condições ambientais influenciaram o desempenho produtivo das vacas em lactação e que o monitoramento do ambiente térmico em salas de

ordenha mecânica por meio do Índice de Temperatura e Umidade possibilitou a identificação das possíveis causas da redução na produção leiteira. A metodologia adotada foi adequada para auxiliar na tomada de decisões relacionadas com as condições de conforto térmico nessas instalações zootécnicas.

**PALAVRAS-CHAVES:** Bem-estar animal; Bovinocultura leiteira; Automação de baixo custo.

**ABSTRACT:** The temperature and humidity index (THI) has been used as a criterion to evaluate the thermal environment in animal husbandry facilities, serving grant to establish appropriate parameters related to environmental comfort. This study aimed to verify the influence of thermal conditions on the productive performance of dairy cows, based on daily monitoring of the temperature and humidity index (THI) in the milking rooms. The research was carried out in the dairy cattle sector, Experimental Farm of the Faculty of Agronomy and Animal Science (FAAZ), Federal University of Mato Grosso, municipality of Santo Antônio de Leverger. Dairy production data were obtained from the control records of the Experimental Farm itself, in the period between June 1 and July 31, 2020, with two daily milking, the first at 9:00 am and the second at 3:00 pm hours. To monitor the thermal comfort conditions of the environment in the installation, a data acquisition system was used, consisting of an Arduino microcontroller, temperature and humidity sensor, clock module and storage module, which was developed at the Faculty's Agricultural Automation Laboratory of Agronomy and Animal Science. Variables were analyzed using descriptive statistics and box plot diagrams. The four variables studied were compared using the t (Student) test. In addition, THI and daily milk production were represented as time series in each milking section. Based on the t test, there was a significant difference between the variables. The results obtained showed that environmental conditions influenced the productive performance of lactating cows and that the monitoring of the thermal environment in mechanical milking rooms through the Temperature and Humidity Index enabled the identification of possible causes of the reduction in milk production. The adopted methodology was suitable to assist in decision making related to the thermal comfort conditions in these zootechnical facilities.

**KEYWORDS:** Animal welfare; Dairy cattle; Low-cost automation.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos cinco anos, o número de vacas em lactação tem diminuído em torno de 4,2 %. Entretanto, a produtividade média por animal aumentou 4,4 % aproximadamente (EMBRAPA, 2019). Esse incremento deve-se, dentre outros aspectos, ao melhoramento genético, à adoção de eficientes técnicas no manejo e nutrição do rebanho, bem como aos avanços tecnológicos relativos ao conforto térmico ambiental das instalações. O referido conforto constitui um dos principais fatores para o aumento ou declínio na produção leiteira devido à redução no consumo de alimento, o que interfere de forma negativa no desempenho produtivo (CERQUEIRA *et al.*, 2011).

De acordo com Huber (1990), Bento & Toledo Filho (2007) e Silva *et al.* (2012), os valores críticos inferiores e superiores que delimitam a termoneutralidade para o conforto térmico das vacas leiteiras varia entre 4,0 e 26,0°C. Além da temperatura ambiente, a umidade do ar elevada compromete a capacidade do animal para dissipar o calor, o que contribui com a redução da produção (DAHL, 2010). Diversas pesquisas têm sido realizadas para mensurar o impacto gerado pelos fatores microclimáticos que interferem no conforto animal, tais como a temperatura e a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar (PERISSINOTTO & MOURA, 2007; PERISSINOTTO *et al.*, 2009; BERTONCELLI *et al.*, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2017; HOOPER *et al.*, 2018; NETO & BITTAR, 2018; VALENTIM *et al.*, 2018).

Para avaliar, simultaneamente, o efeito de variáveis climáticas que influenciam o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais foram desenvolvidos vários índices de conforto térmico, tais como: o índice de temperatura e umidade (ITU) proposto por Thom (1959), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) recomendado por Buffington (1981) e a carga térmica de radiação (CTR) sugerida por Esmay (1982). Dentre eles, o maior destaque corresponde ao índice de temperatura e umidade, pois no seu cálculo considera-se a ação da temperatura e umidade relativa do ar, informações disponíveis em banco de dados de estações meteorológicas, sendo de fácil obtenção para caracterizar quantitativamente o ambiente. Além disso, essas variáveis climáticas podem ser estimadas nas próprias instalações zootécnicas de forma simples por meio de sensores de baixo custo (BORGES *et al.*, 2018).

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi utilizado por Perissinotto & Moura (2007) para estabelecer parâmetros ideais de conforto térmico em vacas leiteiras.

Kemer *et al.* (2020), tendo como padrão de referência esse mesmo índice, caracterizaram a condição térmica do ambiente para a bovina cultura leiteira em Santa Catarina e concluíram que o cenário climático no estado foi favorável à atividade, embora, detectaram períodos críticos, que certamente refletem em perdas na produção. O efeito do conforto térmico no desempenho reprodutivo de vacas leiteiras mestiças foi avaliado por Hooper *et al.* (2018) aplicando-se o índice de temperatura e umidade. Esses autores observaram tendência crescente na taxa de concepção para as inseminações realizadas, quando os valores de ITU foram adequados, isto é, inferiores a 72.

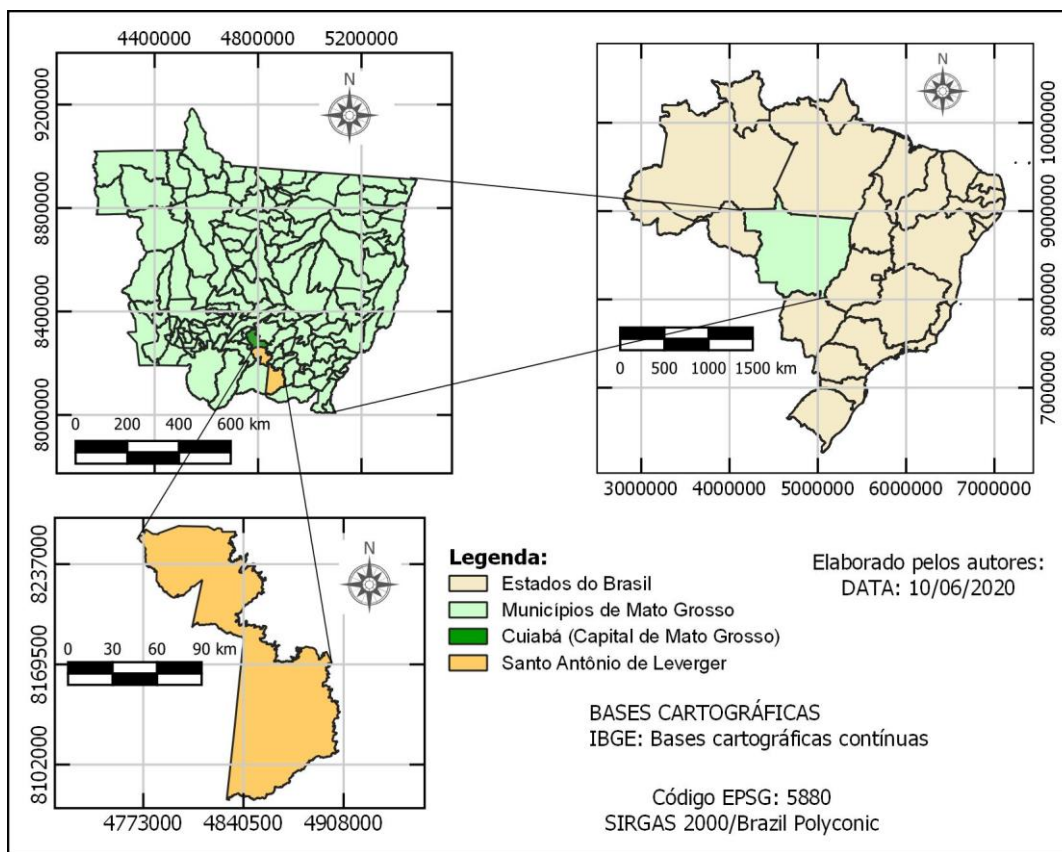
Tendo como referência a bibliografia consultada, esta pesquisa fundamenta-se na hipótese de que o índice de temperatura e umidade (ITU) poderá servir como um critério para avaliar o ambiente térmico nas salas de ordenha mecânica. Dessa forma, o seu monitoramento ao longo do dia, será de grande valia e servirá como subsídio para estabelecer os parâmetros necessários relacionados às condições ambientais nessas instalações, podendo auxiliar a tomada de decisão, como propósito de diminuir as perdas na produção de leite causadas pelo estresse térmico em vacas leiteiras. A problemática abordada motivou a realização deste estudo, que teve como objetivo verificar a influência das condições de conforto térmico no desempenho produtivo de vacas leiteiras, com base no monitoramento diário do índice de temperatura e umidade (ITU) na sala de ordenha.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no setor de bovinocultura leiteira, Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ), Universidade Federal de Mato Grosso, município de Santo Antônio de Leverger, estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 1). Na elaboração do mapa de localização foram utilizados os arquivos de forma (“*shapefile*”) referentes ao estado de Mato Grosso, disponíveis nas bases cartográficas contínuas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os recursos do programa QGIS, versão 3.12 (IBGE, 2021; QGIS, 2020). A região localiza-se a uma altitude de 140 m e clima tropical com inverno seco, classificado como Aw (PEEL *et al.*, 2007; ALVARES *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia de 19°C a 35°C, oscilando a pluviosidade média anual entre 1300 mm e 1500 mm (INMET, 2021).



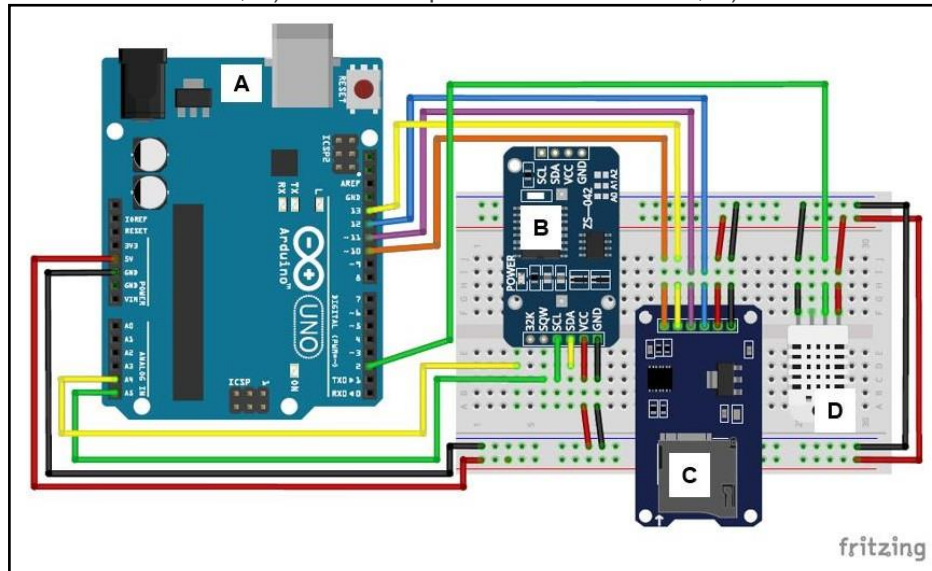
**Figura 1** – Localização do município de Santo Antônio de Leverger no estado de Mato Grosso, Brasil.



A sala de ordenha possui 21 m de comprimento, 12 m de largura e 7 m de pé direito, contendo um bezerreiro e um curral de espera. A sua cobertura é totalmente de telhas ecológicas e as contenções são de zinco galvanizado. A sala foi classificada como de ala dupla, com fosso para quatro unidades de ordenha e modelo de passagem ou fila indiana. O rebanho constituiu-se de 14 vacas em lactação das raças Holandesa (4), Gir (6) e Girolando (4) com peso médio de 580 kg, todas com produção de leite diária inferior a 20 L. Os dados da produção leiteira foram obtidos a partir dos registros de controle da própria Fazenda Experimental, no período entre 01 de junho e 31 de julho de 2020 com duas ordenhas diárias, sendo a primeira às 9:00 horas e a segunda às 15:00 horas. Para a análise das condições de conforto térmico do ambiente na instalação foi utilizado um sistema de aquisição de dados, desenvolvido no Laboratório de Automação Agropecuária da Faculdade de Agronomia e Zootecnia. O aparelho foi constituído de um microcontrolador Arduino, ao qual conectaram-se outros componentes eletrônicos, tais como: sensor de umidade e temperatura (DHT22), módulo relógio (RTC DS3231) para controlar a data e horário de coleta, módulo SD para armazenar os dados em cartão de memória, fonte de 5

Volts, placa de suporte e conectores. O programa Fritzing (2016) foi a base para o esquema de montagem do sistema, conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** – Esquema da montagem do sistema de aquisição de dados: A) Microcontrolador Arduino; B) Módulo RTCDS3231; C) Módulo SD para armazenar dados; D) Sensor DHT22.



Fonte: Os Autores.

Com os valores de umidade e temperatura obtidos pelo sistema foi determinado o índice de temperatura e umidade (ITU), segundo a equação proposta por Thom (1959):

$$ITU = T_{bs} + 0,36 \cdot T_{po} + 41,5$$

em que:

ITU = Índice de Temperatura e Umidade (adimensional);

$T_{bs}$  = Temperatura do ar ou de bulbo seco (°C);

$T_{po}$  = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

A temperatura do ponto de orvalho foi determinada pela equação abaixo:

$$T_{po} = \frac{1}{\frac{1}{T_{bs} + 273,15} - \frac{\ln(UR)}{5417}} - 273,15$$

em que:

$T_{po}$  = Temperatura do ponto de orvalho (°C);

$T_{bs}$  = Temperatura de bulbo seco ou ambiente (°C);

UR = Umidade relativa do ar (%).

Os dados das variáveis climáticas temperatura e umidade, bem como os valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e da produção leiteira nos períodos matutinos e vespertinos foram analisados por meio de estatística descritiva, determinando-se assim, as suas principais medidas de posição e dispersão. Na sequência, foram elaborados os diagramas de caixa (“*box plot*”), os quais mostraram as características de distribuição. Para verificar o efeito do período do dia, as quatro variáveis estudadas foram comparadas aplicando-se o teste t (Student). Além disso, o ITU e a produção leiteira diária foram representados como séries temporais, em cada seção de ordenha, visando identificar padrões não aleatórios durante o período de coleta dos dados. Esses procedimentos foram realizados com auxílio do Programa R (R CORE TEAM, 2020).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de posição evidenciaram elevadas discrepâncias ao comparar cada variável em relação ao período do dia, sendo mais acentuadas para a produção leiteira diária que atingiram valores próximos de 50 % superior no período da manhã. Por outro lado, os valores das medidas de dispersão foram semelhantes para as quatro variáveis, independentemente do período do dia, exceto o desvio padrão e o erro padrão da média no período da manhã, sendo em torno de 53 % maiores que na seção da tarde (Tabela 1).

**Tabela 1** – Estatísticas descritivas para as quatro variáveis estudadas.

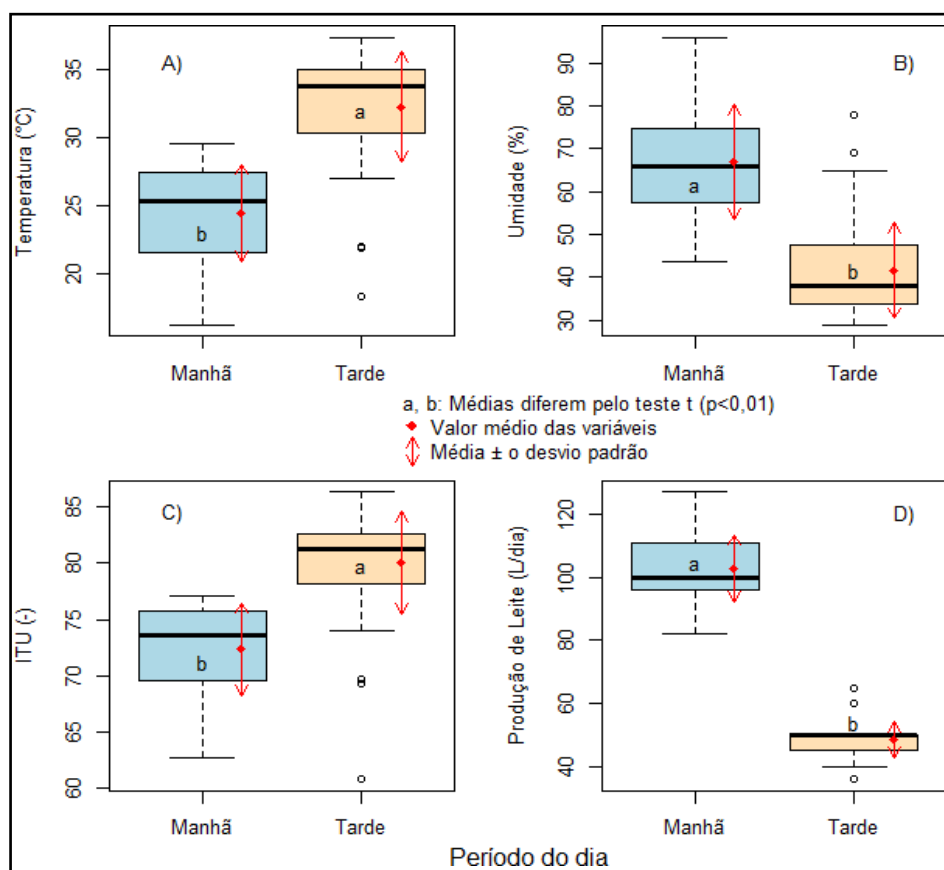
Variável	Período do dia	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)	Erro Padrão	Intervalo de confiança para 95 %
Temperatura (°C)	Manhã	24,46	25,30	3,59	14,68	0,52	±1,03
	Tarde	32,29	33,80	4,04	12,51	0,59	±1,15
Umidade (%)	Manhã	67,05	66,00	13,37	19,95	1,95	±3,82
	Tarde	41,63	38,00	11,13	26,73	1,62	±3,18
ITU (-)	Manhã	72,35	73,59	4,12	5,69	0,60	±1,18
	Tarde	80,06	81,33	4,54	5,67	0,66	±1,30
Produção (L·dia <sup>-1</sup> )	Manhã	102,94	100,00	10,58	10,28	1,54	±3,03
	Tarde	48,62	50,00	5,65	11,62	0,82	±1,62

Fonte: Os Autores.

Os diagramas de caixa para as variáveis estudadas, em função do período do dia, bem como os resultados do teste t (Student) podem ser observados na Figura 3.

Com base no teste t (Student) constata-se que houve diferença estatística significativa ( $p < 0,01$ ) para todas as variáveis, conforme o período do dia. Nos referidos diagramas foram incluídos os valores médios e os intervalos compostos pela média mais e menos o desvio padrão. Nota-se que, esse intervalo contém em torno de 50 % dos valores referentes às quatro variáveis para o período da manhã, enquanto para o período da tarde eles ultrapassaram em maior quantidade os limites correspondentes ao quartil primeiro e terceiro. Além disso, todas as variáveis do período da tarde apresentaram valores discrepantes (“outliers”).

**Figura 3** – Diagramas de caixa para as variáveis, em função do período do dia e os resultados do teste t. A) Temperatura; B) Umidade; C) Índice de temperatura e umidade; D) Produção de leite diária.



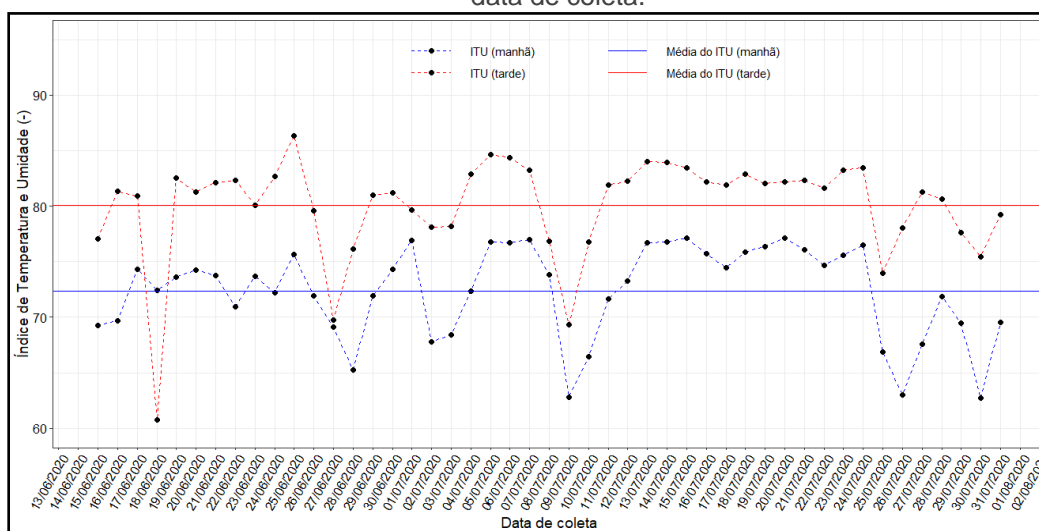
Fonte: Os Autores.

No período da tarde houve maior flutuação dos valores para as variáveis estudadas. Contudo, a produção de leite diária evidenciou um pequeno intervalo entre os quartis primeiro e terceiro devido aos baixos valores estimados nesta pesquisa (Figura 3). Desta forma, confirma-se a necessidade do monitoramento das condições ambientais ao longo do dia, pois a queda na produção leiteira pode ser significativa. Esses resultados concordam com Kemer *et al.* (2020), que registraram elevados

valores do ITU durante o dia e enfatizaram na sistematização dos dados no período entre as 06:00 e 18:00 horas, onde ocorreram picos de temperatura máxima do ar.

Na Figura 4 apresenta-se a série temporal do Índice de Temperatura e Umidade durante o período de coleta dos dados em cada seção de ordenha, bem como as duas retas horizontais correspondentes aos valores médios. De acordo com essa figura, as menores oscilações do ITU foram observadas entre o 11 e 24 de julho, período em que os valores foram superiores às médias. Nota-se, ainda, que ambas as seções de ordenha evidenciaram tendências semelhantes e com maiores picos de ITU durante a tarde. Além disso, nesse período constataram-se as maiores amplitudes do índice de temperatura e umidade entre dois dias consecutivos, o que justifica o monitoramento constante das condições térmicas.

**Figura 4** – Índice de temperatura e umidade (ITU) para cada seção de ordenha, em função da data de coleta.



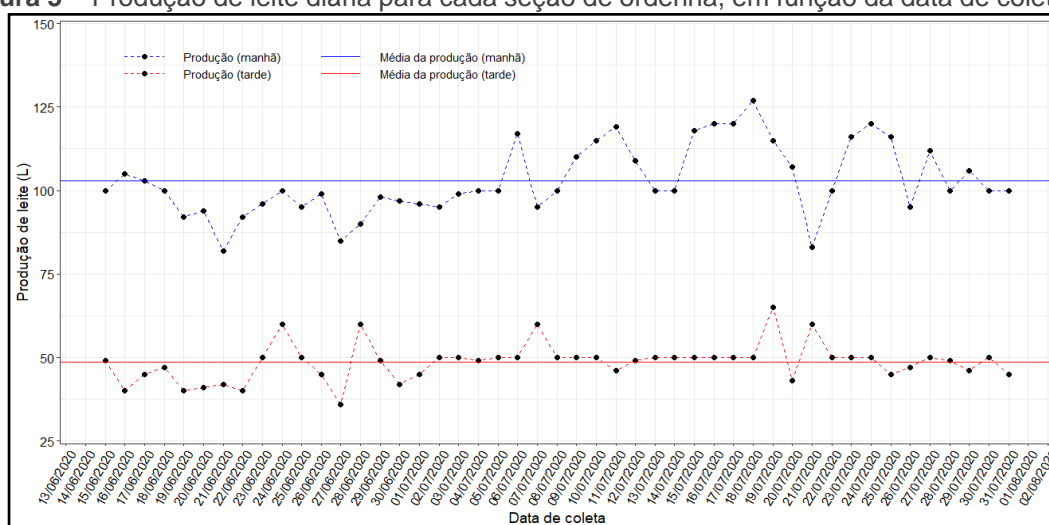
Fonte: Os Autores.

No período matutino, em 68,09 % e 31,91 % dos dias, o Índice de Temperatura e Umidade foi inferior a 75 ou ficou entre 75 e 78, respectivamente (Figura 4). Conforme a escala proposta por Rosenberg *et al.* (1983), esses valores significam que em torno de 2/3 do tempo de coleta, a condição de conforto térmico foi adequada e em apenas 1/3 foi de alerta. Assim, infere-se que o nível de estresse por calor nas vacas leiteiras não foi suficiente para ocasionar a diminuição de sua produção. Seguindo essa mesma escala, a seção de ordenha à tarde mostrou uma condição térmica diferente, pois somente 8,51 % dos dias foi de conforto adequado (ITU inferior a 75) e 12,77 % do período de coleta foi de alerta (ITU entre 75 e 78), ou seja, a situação foi

favorável à produção leiteira. Nessa seção de ordenha, as vacas foram submetidas a níveis estressantes em 78,72 % do tempo da pesquisa, sendo dividido em 59,57 % e 19,15 %, respectivamente, em situação de perigo e emergência. Deve-se ressaltar, ainda, que a condição de emergência pode resultar na morte do animal, se caso medidas urgentes para amenizar o ambiente não sejam adotadas.

A série temporal da produção diária média do rebanho leiteiro, em função da seção de ordenha, ilustra-se na Figura 5. Nessa figura foram adicionadas duas retas horizontais correspondentes aos valores médios da referida variável ao longo do período de estudo. A maioria dos valores inferiores à média foram estimados no mês de junho e os superiores em julho para ambas as seções de ordenha. Observa-se que, as maiores amplitudes da produção leiteira entre dois dias consecutivos ocorreram em junho à tarde e em julho de manhã. Além disso, as maiores oscilações em torno da média foram constatadas na seção da manhã, enquanto, na seção da tarde houve vários dias com produção constante e muito próximo da média (Figura 5).

**Figura 5** – Produção de leite diária para cada seção de ordenha, em função da data de coleta.



Fonte: Os Autores.

As condições de conforto térmico, representadas pelo ITU, interferiram na produção leiteira diária, correspondendo aos menores valores de ITU os maiores valores de produção, o que ocorreu durante a seção da manhã. Entretanto, no período vespertino foram constatados os maiores valores de ITU e uma redução significativa na produção leiteira diária (Figuras 4 e 5). Os valores do índice de temperatura e umidade acima dos limites recomendados, gera desconforto nas vacas devido ao aumento da temperatura retal e da frequência respiratória, influenciando negativamente o

desempenho produtivo e reprodutivo do animal (PERISSINOTTO & MOURA, 2007; PERISSINOTTO *et al.*, 2009; HOOPER *et al.*, 2018).

As diferenças na produção leiteira diária, em relação aos períodos matutinos e vespertinos, também podem estar associadas ao número de ordenhas e ao intervalo de tempo entre as seções, pois, de acordo com o trabalho de Fava *et al.* (2011) os melhores resultados foram obtidos com três ordenhas diárias a cada 8 horas. Na presente pesquisa foram realizadas duas ordenhas, sendo a primeira às 9:00 e a segunda às 15:00 horas, ou seja, um intervalo de 6 horas. Nessa primeira ordenha (9:00 horas), provavelmente, o ITU poderia ser mais elevado que ao amanhecer, período comum para as ordenhas, o que pode ter contribuído para iniciar o estresse por calor nas vacas. A situação desconfortável da segunda ordenha (15:00 horas) pode ter sido acentuada, possivelmente, entre as ordenhas e pelo aumento do ITU à tarde, tendo como consequência a redução significativa na produção leiteira confirmada neste estudo.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos evidenciaram que as condições ambientais influenciaram o desempenho produtivo das vacas em lactação e que o monitoramento do ambiente térmico em salas de ordenha mecânica por meio do Índice de Temperatura e Umidade possibilitou a identificação das possíveis causas da redução na produção leiteira. Logo, a metodologia adotada foi adequada para auxiliar na tomada de decisões relacionadas com as condições de conforto térmico nessas instalações zootécnicas.

#### **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das Bolsas de Iniciação Científica aos discentes. Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por permitir a consulta aos dados climáticos anuais do município de Santo Antônio de Leverger, Mato Grosso, Brasil. Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pela permissão às bases cartográficas contínuas.

#### **REFERÊNCIAS**

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6,p.711–728, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BENTO, F. M. H.; TOLEDO FILHO, M. R. Análise do conforto térmico para vacas leiteiras através do índice de temperatura e umidade–ITU para o município de Pilar – Al. XV Congresso de Agrometeorologia 02 a 05 de jul. de 2007 Aracaju – SE.  
Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/2029.pdf>

BERTONCELLI, P.; MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F.; PARIS, W.; CELLA, P. S. Conforto térmico alterando a produção leiteira. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.9,n.17; p. 762-777, 2013. Disponível em:  
<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/Conforto%20termico.pdf>

BORGES, P. H. M.; MENDOZA, Z. M. S. H.; MORAIS, P. H. M.; SANTOS, R. L. Sistema automatizado de baixo custo para produtores rurais: Controle e monitoramento do ambiente térmico na suíno cultura. **RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 4, n. 2, p. 177-199. 2018. Disponível em:  
<https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/79/165>

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.13031/2013.34325>

CERQUEIRA, J. L., ARAÚJO, J.P.; SORENSEN, J.T.; NIZA-RIBEIRO, J. Alguns indicadores de avaliação de bem-estar em vacas leiteiras. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa,v. 106, n. 577-580, p.5-19, 2011.  
Disponível em: [http://www.fmv.ulisboa.pt/spcv/PDF/pdf12\\_2011/5-19.pdf](http://www.fmv.ulisboa.pt/spcv/PDF/pdf12_2011/5-19.pdf)

DAHL, G. E. Efeito do estresse térmico durante o período seco no desempenho pós parto. In: **XIV CURSO NOVOS ENFOQUES NA PRODUÇÃO E REPRODUÇÃO DE BOVINOS**, 2010. Uberlândia, MG. **Anais...** 2010, p. 357-362.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Gado de leite. Anuário leite 2019**. Juiz de Fora: 2019.  
Disponível em: <https://www.embrapa.br/gado-de-leite>

ESMAY, M. L. Principles of animal environment. Westport: Avi, 1982. 325p.

FAVA, L. W.; GUIMARÃES, T.G.; PINTO, A. T. Efeito de três ordenhas diárias na composição do leite de vacas da raça Holandês. **Acta Scientiae Veterinariae**, Rio Grande do Sul, v.39, n.4, p.1-4, 2011.  
Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=289022118010>

FRITZING. Programa para desenho de circuitos eletrônicos. Potsdam, Alemanha,



Versão 0.9.3 (b04.19), 2016.

HOOPER, H. B.; SALOMÃO, D. O. S.; AYRES, G. F.; TITTO, C. G.; SANTOS, R. M.; NASCIMENTO, M. R. B. M. Conforto térmico de vacas leiteiras mestiças durante a inseminação e a relação com a taxa de concepção. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**. v. 16, Edição Especial 1, p.1-10, 2018.  
**DOI:** <http://dx.doi.org/10.7213/1981-4178.2018.161006>

HUBER, J.T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de stress térmico. In: **Bovino cultura Leiteira**. Piracicaba: FEALQ, 1990. p.33-48.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Bases Cartográficas Contínuas**. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília: 2021. Disponível em:  
<https://bdmep.inmet.gov.br/>

KEMER, A., GLIENKE, C. L.; BOSCO, L. C. Índices de conforto térmico para bovinos de leite em Santa Catarina Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.5, p.29655- 29672, 2020.  
**DOI:** <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-426>

NASCIMENTO, S. T.; ROSSETTO, Y. P.; SILVA, A. A.; MAC-LEAN, P. A. B.; TENÓRIO, J. P. L. Influência da temperatura ambiente no verão na produção de leite de vacas holandesas. **Revista Pubvet**, Maringá, v.11, n.3, p.217-223, 2017.  
**DOI:** <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n3.217-223>

NETO, O. V.; BITTAR, D. Y. Análise do conforto térmico e sua influência na produção e qualidade do leite em ambiente de domínio de cerrado. **Revista Pubvet**, Maringá, v.12, n.4, p.1-6, 2018. **DOI:** <https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n4a75.1-6>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v.11, n.5, p.1633-1644,2007. **DOI:** <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Tupã, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.  
**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2007v1n2p117-126>

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, K. A. O.; MENDES, A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.5, p.1492-1498, 2009. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/cr/a/v9GFRQjvTrycjvDS75FXWG/?format=pdf&lang=pt>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Versão 3.12.0-București. 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. Versão 3.5., 2020.

ROSENBERG, N. J., BIAD, B.L., VERNIS, S.B. **Human and Animal biometeorology**. In: Microclimate: the Biological Environment. 2ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. p.425-467, 1983.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; COSTA, L. L. M.; QUEIROZ, J. P. A. F. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, Switzerland, v. 56, n. 5, p. 927-932, 2012.

**DOI:** <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0501-y>

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Philadelphia, v.12, n.2, p.57-61, 1959. **DOI:** <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

VALENTIM, J. K.; BITTENCOURT, T. M.; RODRIGUES, R. F. M.; ARAÚJO, G. G. A.; ALMEIDA, G. R. Efeito do estresse térmico por calor em vacas leiteiras.

**Nutritime Revista Eletrônica**, Viçosa, v.15, n.1, p.8107-8114, 2018. Disponível em: Artigo 460 – EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR EM VACAS LEITEIRAS – Nutritime

# CAPÍTULO 04

## FITOFISIONOMIAS NA ÁREA DE PROPOSIÇÃO DO GEOPARQUE SERRA DO SINCORÁ, NA CHAPADA DIAMANTINA, COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SIG

### **Artur José Pires Veiga**

Geógrafo, Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia - UFBA

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

Endereço: Estrada do Bem Querer, Km 04 - Vitória da Conquista - Bahia, Brasil

Setor: Departamento de Geografia, Módulo Acadêmico

E-mail: veiga@uesb.edu.br

### **Eduardo Silveira Bernardes**

Geólogo, Doutor em Geologia pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - UNESP

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

Endereço: Estrada do Bem Querer, Km 04 - Vitória da Conquista - Bahia, Brasil

Setor: Departamento de Ciências Naturais, Módulo Acadêmico

E-mail: eduardo.silveira@uesb.edu.br

### **Marcelo Araújo da Nóbrega**

Geógrafo, Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo - USP

Instituição: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

Endereço: Estrada do Bem Querer, Km 04 - Vitória da Conquista - Bahia, Brasil.

Setor: Departamento de Geografia, Módulo Acadêmico

E-mail: marcenobre@hotmail.com

### **Lais Oliveira Francisco**

Bióloga pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

Instituição: Grupo pesquisa AMPLAS - Ambiente, planejamento e sustentabilidade - UESB

Endereço: Estrada do Bem Querer, Km 04 - Vitória da Conquista - Bahia, Brasil

E-mail: laisoliveira@hotmail.com

### **Deborah de Oliveira Silva**

Discente do Curso de Geografia e bolsista de IC/FAPESB

Instituição: Grupo pesquisa AMPLAS - Ambiente, planejamento e sustentabilidade - UESB

Endereço: Estrada do Bem Querer, Km 04 - Vitória da Conquista - Bahia, Brasil

E-mail: debbyruivageo@gmail.com

**RESUMO:** A análise sobre as fitofisionomias constitui um estudo sobre as condições da cobertura de vegetação e uso da terra com a finalidade de gestão territorial na área onde existe uma proposta de criação do Geoparque Serra do Sincorá a ser submetida à UNESCO, localizada na Chapada Diamantina - Bahia. Os trabalhos foram desenvolvidos em ambiente computacional com uso do SPRING (Sistema de Processamentos de Informações Georreferenciadas), através de métodos indiretos, com técnicas de Sensoriamento Remoto, com dados digitais processados em formato vetorial e raster, disponíveis em órgãos e institutos oficiais, e por meio de informações

coletados *in loco*. Os dados dos sensores remoto foram obtidos do satélite LANDSAT 8, capturadas em 08/10/2020, com resolução espacial de 30 metros, multiespectral (bandas 4-5-6), da USGS (United States Geological Survey), e imagens topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponíveis desde 2001 no site da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) com grid de 90x90 metros. Para a classificação das fitofisionomias foi realizada o processamento digital das imagens de satélite, através da geração da imagem NDVI (Normalizada Difference Vegetation Index), com ganho e offset, obtida através do cálculo dos valores radiométricos das imagens originais nas faixas espectrais do infravermelho próximo (banda 5) x vermelho no visível (banda 4), dada pela equação:  $NDVI = \text{Ganho} * [(A-B) / (A+B)] + \text{Offset}$ . Após a geração da imagem do índice de vegetação, foi realizada o fatiamento em 7 classes temática que constituem as fitofisionomias, cujos dados foram correlacionados com as características do meio físico e os ambientes de ocorrência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitofisionomia; NDVI; Relevo; Geoparque Serra do Sincorá.

**ABSTRACT:** The analyses on the phytophysionomies constitutes a study on the condition of vegetation cover and land use for territorial management in part of Serra do Sincora Geopark creation proposed to be submitted to UNESCO, located in Chapada Diamantina - Bahia. The works were developed in a computational environment using SPRING (Georeferenced Information Processing System) through indirect methods, with Remote Sensing techniques, with digital data processed in vector and raster format, available in official agencies and institutes and through information collected in place (field work). The remote sensor data were obtained from the LANDSAT 8 satellite, captured on august 10, 2020, with a spatial resolution of 30 meters, multispectral (bands 4-5-6), from the USGS (United States Geological Survey) and SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) topographic images, available since 2001 on the EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Company) website with a 90x90 meter grid. For the classification of phytophysionomies, digital processing of satellite images was achieved through generation of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) image, with gain and offset, obtained by calculating the radiometric values of the original images in the spectral ranges from infrared (band 5) versus red in the visible (band 4), given by the equation:  $NDVI = \text{Gain} * [(A-B) / (A+B)] + \text{Offset}$ . After the generation of the vegetation index image, slicing was performed in 7 thematic classes that constitute the phytophysionomies, whose data were correlated with the characteristics of the physical environment and the occurrence environments.

**KEYWORDS:** Phytophysionomies; NDVI; Relief; Serra do Sincora Geopark.

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos de áreas com grande dimensão territorial são realizados tanto por meio de levantamento de campo quanto por métodos indiretos, que se complementam. Os dados de sensores remoto (imagens de satélite ou radar), quando extraídos através das técnicas de processamento digital com uso de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG), com informações auxiliadas com coletas *in loco*, podem ser estendidas para terrenos maiores. Isso também amplia a escala temporal da análise dada a disponibilidade de informações dessa natureza no registro disponível de tais imagens.

Os dados obtidos pelos sensores remotos são analisados no SIG, em forma de banco de dados, concebidos como modelos conceituais onde o universo do mundo real é representado no sistema em meio digital, implementados e manipulação com propriedade geométrica vetorial e raster, para realização das análises espaciais, cujos dados fornece informações sobre o território.

O sensoriamento remoto é uma tecnologia no qual possibilita a obtenção de diferentes tipos de dados da superfície terrestre, sem que seja necessário um contato direto com estes. Estes sensores contribuem para aquisição dos dados, a execução de estudos e a tomada de decisão seja mais rápida e efetiva através de um conjunto de técnicas para a coleta, análise e processamento de dados (FLORENZANO, 2002).

De acordo com Menezes (2002), o sensoriamento remoto tornou-se uma excelente maneira para a aquisição de dados, por se tratar de uma das tecnologias de coleta automática mais bem-sucedidas para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global.

Os estudos sobre os recursos naturais de uma determinada região, utilizando imagens de satélite ou de radar, são facilitados pelo oferecimento dos dados obtidos pelos sensores remotos, com informações sobre a superfície terrestre, disponíveis em quantidade e qualidade, com uma variedade de sensores que obtém informações em diferentes resoluções temporais, espectrais e radiométricas.

A obtenção dos dados pelos sensores remotos ocorre através do registro da energia eletromagnética que interage com os constituintes da superfície da terra, quanto a absorção ou reflectância, sendo que as energias refletidas são captadas pelos sensores e armazenadas em forma de uma matriz de valores radiométricos, correspondente ao comportamento espectral das feições da superfície terrestre, nas

diferentes faixas espectrais do visível, infravermelho (imagem de satélite) e de micro-ondas (imagens de radar).

A necessidade de quantificar e monitorar de maneira sistemática o que vem ocorrendo na cobertura do solo de uma determinada área ou região, remete a utilização de dados de SR e SIG, como ferramenta e recursos com capacidade de propiciar informações precisas sobre o território, em forma de banco de dados atuais e históricos.

Para Liu (2007) com as imagens de satélite é possível mensurar diferentes alvos, a partir da resposta espectral dos componentes da superfície terrestre, sendo possível distinguir, separar e classificar os objetos, pois cada alvo tem uma curva singular de absorção ou reflectância de energia eletromagnética, nas diferentes faixas espectrais. Rossini-Penteado *et al.* (2007, p. 661), salientam que nos processamentos digitais para extração das informações são utilizados algoritmos, com classificação das imagens de satélite em função dos seus atributos espectrais e espaciais.

Entre as possibilidades de se utilizar as imagens orbitais como dados de pesquisa, com informações mais precisas e atualizadas, destacam-se as análises dos parâmetros biofísicos como a biomassa e sua produtividade, o índice de área foliar, a atividade fotossintética, caracterização da estrutura das florestas, porcentagem de cobertura do solo e a caracterização e monitoramento de áreas com vegetação.

As análises sobre o uso e ocupação da terra é de grande relevância para compreensão dos padrões de organização territorial. Desta forma, se faz necessário uma contínua atualização da utilização do uso da terra, e em que situação se encontra as condições da cobertura vegetal, viabilizando estudos posteriores para a região.

Todas essas questões reforçam o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto que podem fornecer elementos para análise dos processos de degradação da vegetação, tanto antrópica como natural, e subsidiar políticas conservacionistas e de prevenção dessa transformação indesejável.

Neste artigo foi utilizado dados de sensores remoto para análise das fitofisionomias, em um recorte espacial da área onde se propõe a criação do Geoparque Serra do Sincorá na Chapada Diamantina. A criação dessa categoria de Unidade de Conservação, a ser chancelada pelo programa internacional da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Ciência, Educação e Cultura), após estudos e ações a serem desenvolvidas na região, depende do reconhecimento por aquela entidade da importância da região como patrimônio natural da humanidade.

A proposta para análise da criação do Geoparque Serra do Sincorána Chapada Diamantina, beneficiará os municípios de Mucugê, Lençóis, Andaraí e Palmeiras no Estado da Bahia, com desenvolvimento em bases sólidas para atrair um novo tipo de visitante, em busca de pesquisa sobre meio ambiente, história e cultura, para além dos atuais que se dirigem à região principalmente para a prática de ecoturismo.

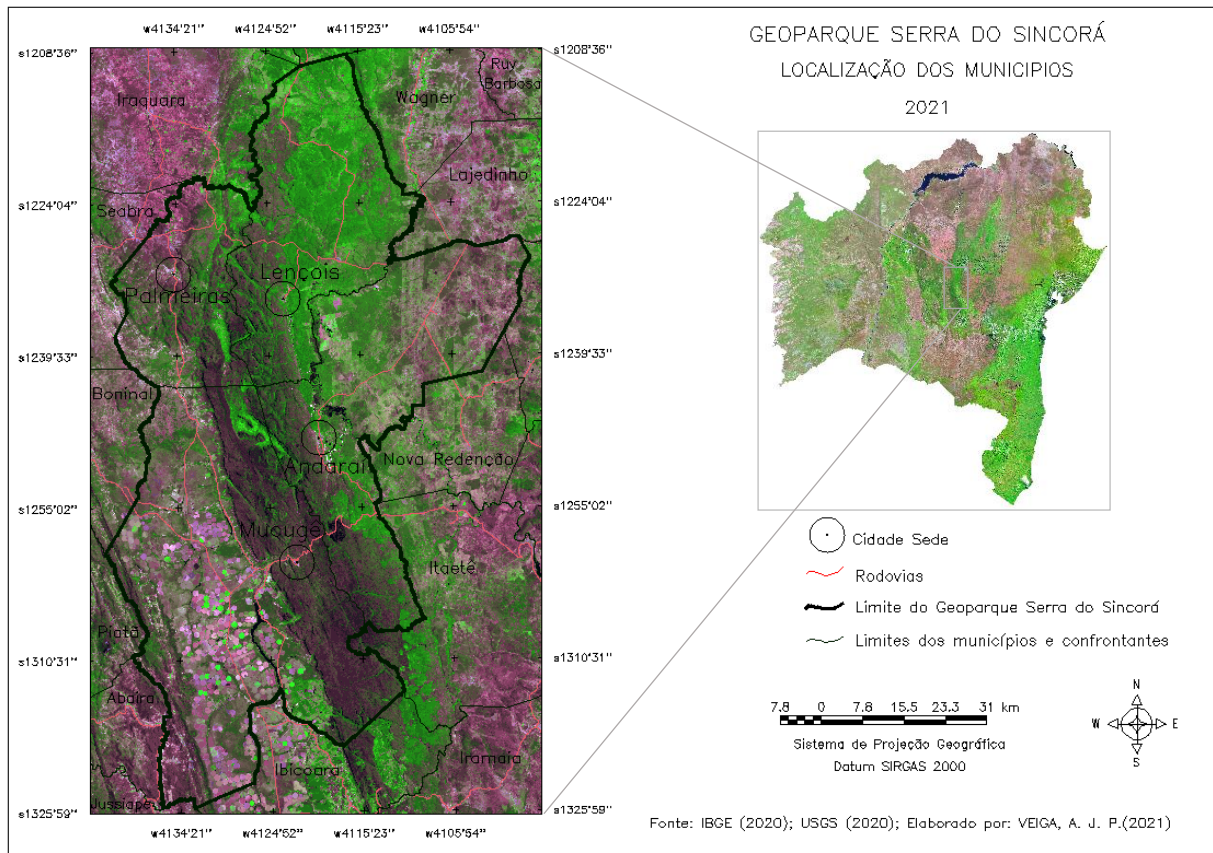
A UESB (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia) vem contribuindo com a proposta de criação do Geoparque, participando da AGS (Associação Geoparque Serra do Sincorá), que busca a realização dos trabalhos necessários para o reconhecimento da UNESCO e inserção da área na Rede Global de Geoparques. Entre as contribuições, inclui as pesquisas com critérios científicos sobre a região, que viabilizem a gestão de suas riquezas naturais, com bases cartográficas confiáveis, para pesquisadores que venham trabalhar na Chapada Diamantina.

A criação do Geoparque e a importância desse novo conceito de Unidade de Conservação atrelado a sua condição de visibilidade internacional, se deve a importância da conservação e preservação da geodiversidade, do patrimônio geológico existente, onde já foram inventariados 22 sítios geológicos, com variadas formações fisionômicas, já foram catalogadas diversas espécies endêmicas, inclusive de relevância internacional. Destaca-se ainda, a necessidade de geração e difusão de conhecimentos vinculados as ciências da Terra, em uma região que pode ser associado com o seu potencial de turismo científico, histórico e cultural, como base para o desenvolvimento sustentável.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido em uma região que se insere na área da proposta de criação do Geoparque Serra do Sincorá, em uma poligonal correspondente a uma área de aproximadamente 6.080 km<sup>2</sup>, situada na região central do Estado da Bahia, no setor centro-sudeste da Chapada Diamantina. Na pesquisa foi feito um recorte espacial nas coordenadas geográficas 13°26'00" - 12°08'35" de latitude Sul e 41° 43'00" - 40°57' 00" de longitude Oeste, correspondente a retângulo que contém a poligonal do Geoparque (Mapa 1).

**Mapa 1 - Geoparque Serra do Sincorá: Área de estudo - 2021**



A revisão bibliográfica realizada que justifica a aplicação de métodos indiretos associados ao processamento digital das imagens, com reconhecimento de campo para a obtenção do NDVI da área de estudo, inclui diversos trabalhos entre os quais destacam-se: Florenzano, 2002; Menezes, 2002; Lima, 2011; Leite e Rosa, 2009; Key e Benson (2006); Carvalho, *et al.* (2008); Liu (2007); Rosendo (2005); Rossini-Penteado, *et al.* (2007); Nóbrega e Boas (2020); dentre outros.

A poligonal da área de estudo foi definida a partir da delimitação proposta no projeto de criação do Geoparque, e que segundo Pereira, *et al.* (2017), englobam os limites territoriais dos municípios de Lençóis, Palmeiras, Mucugê e Andaraí, em cujas áreas situam-se em quase todo o Parque Nacional da Chapada Diamantina (PARMA), na APA Marimbus e parte setentrional da Serra do Sincorá, além de incluir uma porção do Planalto de Mucugê e da Bacia Una Utinga.

A área do Geoparque é constituída por rochas sedimentares e metas sedimentares do Supergrupo Espinhaço e São Francisco formadas entre 1,7 bilhões de anos (Paleoproterozóico) e 650 milhões de anos (Neoproterozóico). Todo esse pacote de rochas tem início em uma bacia intracratônica costeira gerada pela



fragmentação do supercontinente Colúmbia, conhecida pela designação de Bacia Espinhaço. Nesse período ocorreu a acumulação de sedimentos continentais e marinhos em três bacias intracratônicas superpostas, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, que representam ambientes desérticos, fluviais e costeiros com influência marinha.

A unidade estratigráfica do Supergrupo Espinhaço é subdividida em dois grupos: Paraguaçu e Chapada Diamantina. Após um período de estabilidade sucede-se a deposição de um pacote de sedimentos em uma bacia intracratônica em ambientes marinhos, fluviais, sob condições glaciais durante a fragmentação do supercontinente Rodínia no Super grupo São Francisco. Essa unidade é constituída pelo Grupo Uma, na região da Chapada Diamantina. Essa diversidade de litologias e o tempo de registro das rochas tornam a área da proposta de criação do Geoparque muito importante para a sua conservação, além de trazer à tona o conceito dos ciclos de supercontinentes (Ciclos de Wilson) que vem se somar ao já popularmente conhecido Supercontinente de Pangéia.

A estratégia de conservação da geodiversidade preconizada pela UNESCO como objetivo principal para a criação de Geoparques encontra respaldo no caso da Chapada Diamantina. Como destaca Brilha (2012), os Geoparque devem promover a geoconservação, a geoeeducação e o geoturismo, para assegurar o desenvolvimento regional de maneira sustentável, através de ações de cooperação multicultural, voltadas para questões ambientais.

A Chapada Diamantina é uma região de interesse ambiental e estudos que contemplam a análise espacial do seu território, são relevantes, sobretudo, devido ao seu potencial natural e de sua geodiversidade, em áreas que possui Unidades de Conservação na esfera Federal e Municipal como 5 (cinco) Parques protegidos em Lei.

De acordo com Silva, *et al.* (2004), a Chapada Diamantina é considerada uma área de prioridade máxima para conservação. Harley e Simmons (1986); Giulietti, Pirani, Harley (1997) corroboram com esta afirmação, destacando que a região é de expressiva importância devido a sua rica biodiversidade e a sua variedade de espécies vegetais endêmicas.

Sobre a vegetação presente na Chapada Diamantina, Velloso, Sampaio e Pareyn (2002), afirmam que a região é caracterizada como um mosaico de formações variadas, com enorme diversidade vegetacional, onde inclui formações campestres, rupestres e xerófitas, que ocorrem sobre rochas expostas ou litossolos, assim como,

florestas decíduas e semi decíduas, típicas do bioma Caatinga, com características do bioma Mata Atlântica.

Nesta linha, Nóbrega e Boas (2020) consideram que a diversidade de vegetação encontradas na Chapada Diamantina, em parte é resultado do seu relevo dissecado, com diferentes altitudes, inclinação e orientações, que favorecem a formação de chuvas orográficas em determinadas regiões, reduzindo ou dificultando a ocorrência de chuvas em outras áreas. Em seus estudos salientam que as transições graduais complexas de passagens repentinas decorrentes de acidentes orográficos e litológicos, no contexto regional de ordem litológica e edafoclimática, favorecem a formação de áreas de contato, com presença de vegetação do bioma da Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado.

Na Chapada Diamantina, ao longo de sua área de distribuição, são encontradas diversas associações dos padrões florísticos ou ecológicos e que para Cunha e Silva Júnior (2014), a diversidade das fitofisionomias proporciona uma diversificação ambiental significativa, gerando situações que sejam adequadas para o desenvolvimento de um complexo biótico de natureza animal e vegetal.

No estudo sobre as fitofisionomias do Geoparque da Serra do Sincorá foi possível conhecer as condições ambientais em que se encontram as fitofisionomias da região, imprescindíveis para a gestão do território, em um planejamento que atenta para a capacidade de suporte e resiliência do sistema.

O estudo foi realizado no Laboratório de Geografia Física da UESB (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia), em ambiente computacional, com dados coletados *in loco*, em alguns ambientes, com uso de GPS (Sistema de Posicionamento Global), registrados em caderneta de campo. Na pesquisa foi utilizado os recursos de sensoriamento remoto e SIG, como método indireto, para isso foi escolhido o SPRING 5.5.6 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), para os processamento e análise espacial dos dados dos sensores remoto (imagens de satélite e de radar), e das bases cartográficas sobre a região.

Os principais arquivos digitais utilizados foram em formato vetorial e raster, disponível nos órgãos e institutos como: USGS (United States Geological Survey), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), DNPM (Departamento Nacional de Minas e Energia), CBPM (Companhia Baiana de Pesquisa

Mineral), MME (Ministério de Minas e Energia) MMA (Ministério do Meio Ambiente), INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), além de dados que foram gerados nos processamentos digital no SIG SPRING.

Os dados de sensores remoto foram do satélite LANDSAT 8, com imagens capturadas em 08/10/2020, da orbita/ponto: 217/069, com resolução espacial de 30 metros, multiespectral (bandas 4-5-6), obtidas no repositório da USGS. Também foram utilizadas imagens de radar de modelo numéricos do terreno (relevo), obtidos pelos sensores do ônibus espacial americano Endeavour (NASA), durante a missão conhecida como SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponível desde 2001 no site da EMBRAPA, com grid de 90 x 90 metros.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi elaborado no SPRING um Banco de Dados com um Projeto correspondente ao retângulo da área de estudo, sendo posteriormente definido os Modelos de Dados e os Planos de Informações (PI's), com as suas respectivas classes temática. Os dados foram inseridos no sistema a partir da importação de arquivos digitais, para os processamentos digitais e análise espacial. As imagens foram do formato geotiff, originalmente disponíveis no Sistema de Coordenadas Geográfica, Datum WGS84, sendo reposicionada para Datum SIRGAS 2000, atual sistema de projeção utilizado pelo IBGE.

Os dados topográficos de radar foram utilizados para os processamentos de Modelagem Numérica de Terreno (MNT), realizadas no SIG, com operações de modelagem em 3D, geração de grades retangular, fatiamentos e perfis topográfico, com dados para complementar as análises sobre a área de estudo.

As imagens do satélite LANDSAT 8, foram utilizadas para classificação das fitofisionomias do Geoparque Serra do Sincorá, com operação realizado no SIG por meio do processamento digital para geração da imagem do índice de vegetação, cujos dados foram correlacionados com as características do meio físico e os locais de ocorrências.

O índice de vegetação constitui em um modelo matemático, onde retrata o grau de intensidade luminosa normalizada, a imagem gerada no processamento constitui na diferença entre a razão dos valores radiométrico do registro da reflectância da vegetação nas faixas espectrais do infravermelho próximo x vermelho no visível, onde os valores são inversos em relação ao comportamento espectral da vegetação viva, retratadas em suas assinaturas espectrais.

Um dos índices de vegetação mais conhecido e utilizada na razão entre as bandas é o NDVI (do inglês Normalized Difference Vegetation Index), utilizado no processamento das imagens do satélite LANDSAT 8, com equações entre as bandas 5 e 4 originais, com operações aritméticas realizada entre as faixas espectrais da região do infravermelho próximo e do vermelho da faixa do visível.

De acordo com Santos, Peluzio e Saito (2010) “o NDVI foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo [...]”, empregado para minimizar efeitos topográficos, onde os resultados dos valores da equação após a geração da imagem, possuem a propriedade que variam entre -1 a +1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal e, quando o valor se encontra próximo a 0 (zero) representa o dado aproximado da ausência de vegetação. Quando o valor se encontra próximo de -1, apresenta o indicativo de maior da presença de solos expostos e afloramentos rochosos.

As equações utilizadas no processamento digital para geração do NDVI foram aprimoradas por diversos autores, acrescentando outros elementos na fórmula original. Louzada, *et al.* (2009) sugerem no cálculo do índice a utilização do Ganho e do Offset, para eliminar os valores negativos, objetivando uma melhor compreensão visual. Nesse estudo foi utilizado no SPRING a opção 5 (OP5), conforme recomendação do autor, com o Ganho de 50 e o Offset de 100, dado pela seguinte operação aritmética:

$$\text{Equação: } C = \text{Ganho} * [(A-B) / (A+B)] + \text{Offset.}$$

Em que:

C= NDVI com Ganho e Offset (OP5)

A: Banda do infravermelho Próximo

B: Banda do vermelho (visível)

Após a geração da imagem NDVI, foi realizada a operação de fatiamento dos índices numérico da imagem raster, tendo como resultado uma imagem matricial da categoria de temática, representado as características da cobertura da terra da área de estudo, com 7 (sete) classes. Os critérios utilizados na escolha das classes foram a partir das características fisionômicas da região, constituídas por um conjunto variado de formações vegetais, com uma rica geodiversidade.

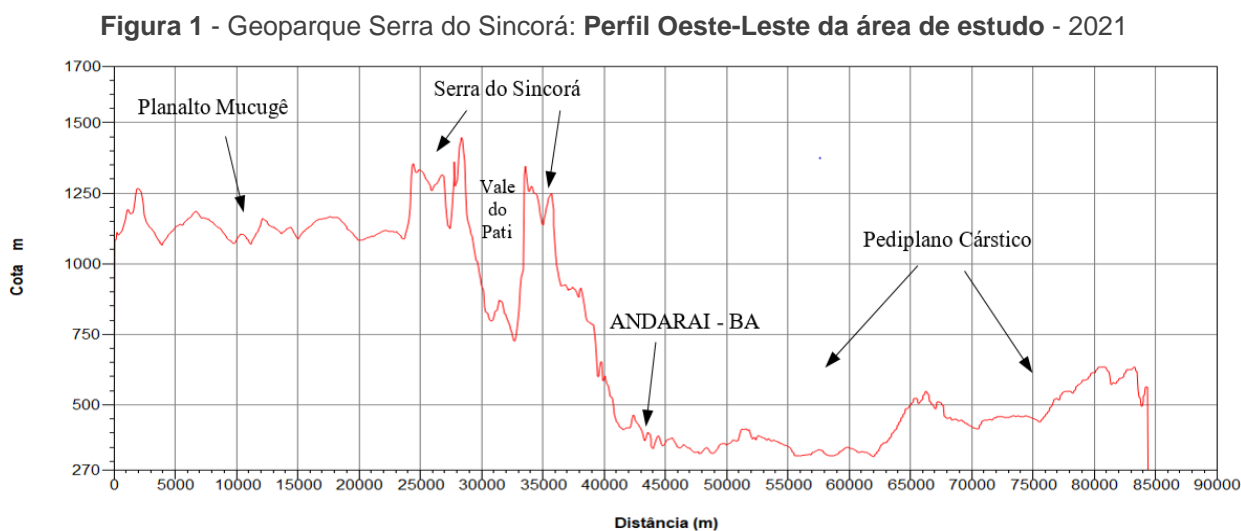
Nas etapas no SPRING, foram efetuadas diversas operações como: processamento digital das imagens de satélite e radar, edições vetoriais, conversão vetor-matriz, cálculo das áreas e tabulação cruzada, com dados produzidos no sistema

que serviram para produção das cartas temática, perfis topográfico, consultas espaciais e análise estatísticas, com produtos cartográficos representação nas cartas temática de NDVI, em bloco diagrama em 3D, com dados em forma de tabelas. A base de dados se encontram no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS2000.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na poligonal da área de estudo, situado na Chapada Diamantina, destaca-se como relevo marcante a Serra do Sincorá com aproximadamente 140 km de extensão e 20 km de largura, onde a extensão predominante configura-se no sentido N-S. O relevo apresenta linhas de quebra abrupta, vales encravados, áreas dissecadas e uma drenagem condicionada pelas feições tectônicas. A formação das rochas se deu desde 1,8 bilhões de anos até cerca de 600 milhões de anos.

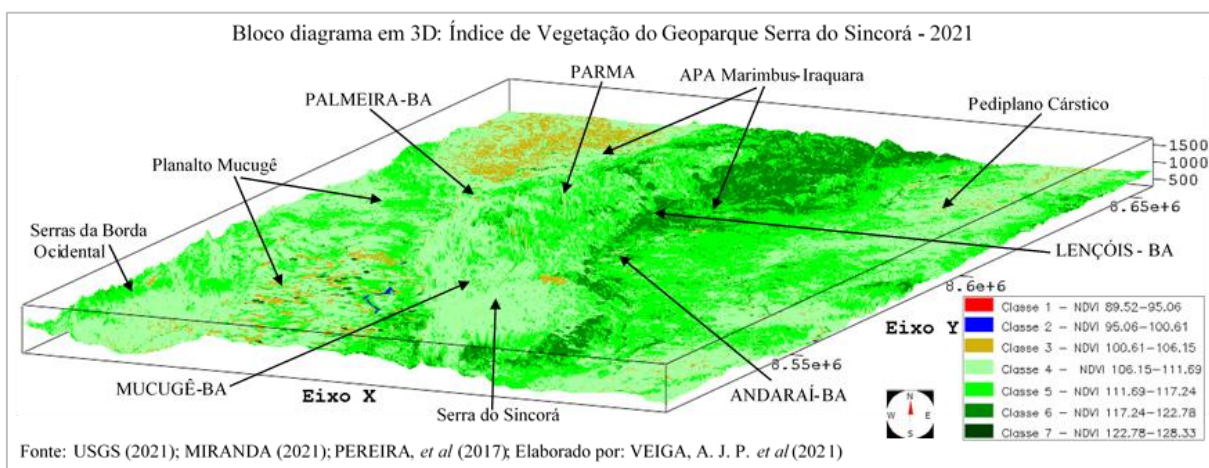
O relevo constitui em um dos fatores do clima e especificamente na área do Geoparque da Serra do Sincorá, destaca-se a altitude com valores que variam de 300 a 1.700 metros. A configuração topográfica da referida Serra no sentido Leste-Oeste de menor extensão, apresenta relevo situado entre uma depressão e um planalto (Figura 1), criando zonas de baixa e alta pressão atmosférica, cuja morfologia funciona com influência orográfica e que associada com a sua posição geográfica, são fatores que contribuíram para a formação de uma região de transição climática, com duas ecorregiões denominadas pelo IBAMA de Mata Atlântica e Caatinga.



Fonte: Dados processados no SPRING 5.5.6; Elaborado por VEIGA; *et al* (2021)

No Bloco diagrama em 3D (Figura 2) observa-se a distribuição das fitofisionomias e a relação como o relevo e a influência orográfica, onde os maiores índices de vegetação se encontram concentrado na vertente Leste da Serra do Sincorá, situado em uma tipologia climática de acordo com Thornthwaite e Mather que varia de subúmido a seco (C1dA' a') e de úmido a subúmido (C2rA' a') (SEI,1999). Outros fatores também contribuíram para distribuição das fitofisionomias como os tipos e profundidade dos solos, formação geológica e o processo de uso e ocupação da terra da região, com áreas de restrição de uso ou com barreiras físicas, com grandes contribuições e de ganho ambiental oriundo das áreas protegidas por Lei.

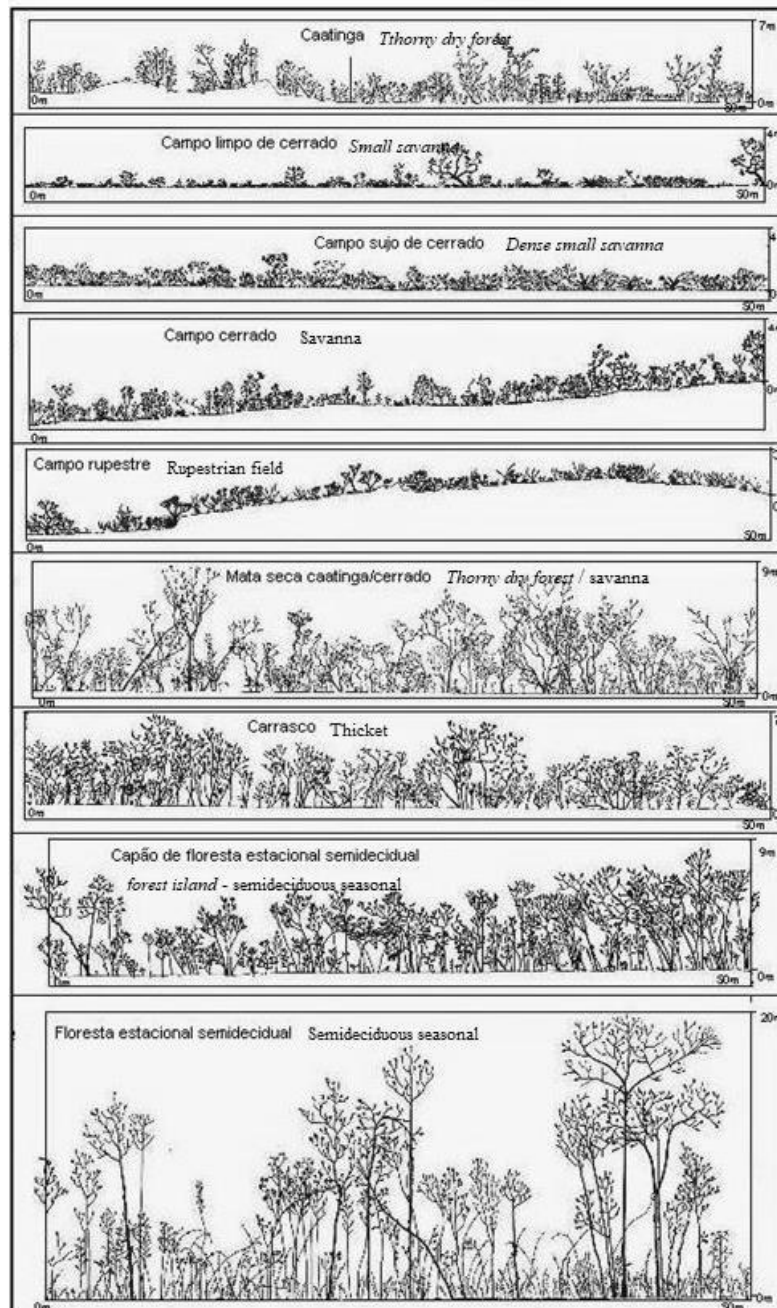
**Figura 2 - Bloco diagrama em 3D: NDVI do Geoparque da Serra do Sincorá - 2021**



Nas pesquisas dos dados de sensoriamento remoto para a área de estudo, foi observado alto índice de nebulosidade, com dificuldade para obtenção das imagens de satélite sem cobertura de nuvens, em um intervalo de 4 anos, onde o tempo de revista do sensor remoto é de 28 dias. Diversas massas de ar atuam na região e, especialmente as Massas Tropical Atlântica (mTa) e a Polar Atlântica (mPa), com entradas oriundas de Sudeste, encontram no relevo uma barreira orográfica, influenciando na dinâmica climática e, conseqüentemente, nas características das fitofisionomias.

Em estudos desenvolvidos por Nóbrega e Meguro (2003), Nóbrega e Vilas Boas (2020) foram identificadas na região, as fitofisionomias do bioma da Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e áreas de transição entre eles (Figura 3).

Figura 3 – Perfil diagrama das fitofisionomias encontradas em áreas do Geoparque- 2003 e 2020



Fonte: Nóbrega e Meguro (2003); Nóbrega e Vilas Boas (2020).

As fitofisionomias no Geoparque da Serra do Sincorá refletem um processo histórico de uso e ocupação da terra, onde pode ser observado áreas com vegetação nativa, vegetação secundária em estágio de regeneração, atividades agrícolas com uso intenso, supressão de parte das áreas nativas, sejam em áreas particulares ou em áreas protegidas por Lei. Os dados dos índices de vegetação encontram-se na tabela 1 distribuídos por município.

**Tabela 1 – Geoparque Serra do Sincorá: Índice de Vegetação por município em km<sup>2</sup> - 2021**

NDVI	Classes	Palmeiras	Lençóis	Mucugê	Andaraí	Geoparque	(%)
89,52 -95,06	1- Área degradada e/ou aflor. rochosos	0	0	0,0258	0	0,03	0,0004
95,06 - 100,0 6	2 - Água	0,0258	0,0258	8,0720	0,1549	8,28	0,14
100,0 6 - 106,1 5	3 - Solo exposto	24,1989	1,6695	134,9268	20,9718	181,77	2,99
106,1 5 - 111,6 9	4 - Veg. Arbustiva rala	353,8785	137,3106	1565,844 8	592,8123	2649,85	43,5 9
111,6 9 - 117,2 4	5 - Veg. Arbustiva densa	311,1174	635,1087	686,2516	876,2800	2508,76	41,2 7
117,2 4 - 122,7 8	6 - Veg. Arbórea	49,0001	509,5792	62,8895	101,5372	723,01	11,8 9
122,7 8 - 128,3 3	7 -Veg. áreas irrigadas	0,0516	0,4389	7,2631	0,1463	7,90	0,13
<b>Total</b>		<b>738,27</b>	<b>1.284,13</b>	<b>2.465,27</b>	<b>1.591,90</b>	<b>6.080</b>	<b>100</b>

Fonte: Dados processados no SPRING 5.5.6; Elaborado VEIGA, A. J. P.; *et al* (2021)

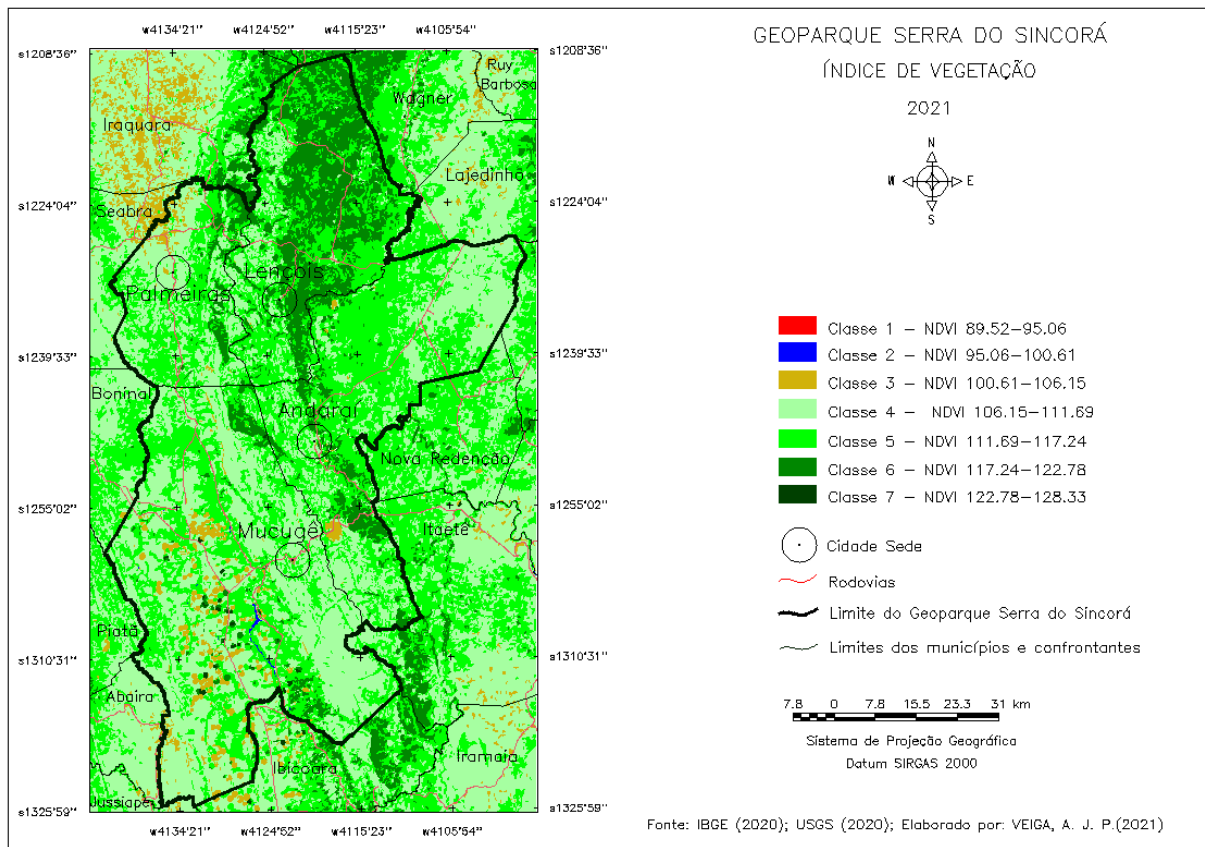
As fitofisionômicos encontrados na região (Mapa 2), possuem características no qual combina a transição entre a Floresta Estacional Semi decidual do bioma da Mata Atlântica e a Floresta Estacional Decidual do bioma da Caatinga em contato com Cerrado. Apresentam espécies vegetais diversificadas, como as florestas arbóreas ou arbustivas, rala ou densa, alcançando as tipologias de campus rupestres e gramíneas associadas, podendo apresentar espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas, em extratos ora alterado pela ação antrópica, por queimadas, em atividades agrícolas, com estágio de regeneração ou preservadas, como as identificadas nas áreas protegidas por Lei.

No Geoparque, as áreas analisadas foram de aproximadamente 6.080 km<sup>2</sup>, onde foi observado que o NDVI variou de 89,52 a 128,33, com os valores de ganho e offset. Em termos quantitativo, as predominâncias ocorreram no intervalo de 106,15 a 117,24 com as tipologias de vegetação arbustiva rala e densa com 84,85 % das áreas, perfazendo 5.158,60 km<sup>2</sup>, em segundo lugar, com aproximadamente 12 % foi para a



classe arbórea com 723,01 km<sup>2</sup> da área, sendo que, para as demais classes com os menores valores, nos intervalos de 89,52 a 100,15 (área degradada, solo exposto e água), e de 122,78 a 128,33 (vegetação densa em áreas irrigada), os percentuais atingiram 3,15 %, com o somatório de 16,20 km<sup>2</sup>, ou 1.620,43 hectares (Mapa2).

**Mapa 2 - Geoparque Serra do Sincorá: Índice de Vegetação - 2021**



Na tipologia de vegetação arbórea (Figura 4) os índices variaram de 117,24 a 122,78, com percentual de 11,89 %, perfazendo 723,01 km<sup>2</sup>, identificada em áreas de manchas (resquícios) de vegetação nativa, ainda preservada ou estágio de recomposição vegetal, classificada pelo IBGE (1992, p.21-22) como Floresta estacional semidecidual, típica do bioma da Mata Atlântica e que ocorre em regiões “condicionado pela dupla estacionalidade climática, clima tropical com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15° C”.

**Figura 4 - Geoparque Serra do Sincorá: Vegetação de tipologia arbórea- 2020**



Fonte: Produzido pelos autores (2020).

Os remanescentes da tipologia arbórea foram encontrados principalmente nas margens dos rios, nas encostas e em topo dos morros, nas matas ciliares em vales encravada no relevo, situadas no PARMA e ao Sul do município de Andaraí – BA, em solos do tipo Latossolo. As maiores concentrações, ocorreram na APA Marimbus-Iraquara, com expansão fora do limite da referida APA, ao Norte do município de Lençóis - BA, cujo percentual encontrado foi de 70,5 %, em relação aos demais municípios, perfazendo 509,58 km<sup>2</sup> das áreas nesta classe.

Nas áreas de ocorrência das rochas magmáticas de natureza básica, que origina um solo do tipo Argissolo, devido à sua alteração ser mais suscetível aos processos intempéricos, ocorrem manchas de vegetação de grande porte em matas ciliares, em áreas de contato com vegetação arbórea e arbustiva, como pode ser observado nas áreas que recobrem a Serra do Sincorá, próximo à entrada do Distrito de Igatu, e na estrada que liga Mucugê à Andaraí (Figura 5) com vegetação arbustiva rala, formada principalmente por *campus rupestre*, na presença de solo raso (litólico em quartzito) e, nas margens do rio (mata ciliar), com tipologia arbórea densa.

**Figura 5 - Geoparque Serra do Sincorá: Vegetação de tipologia arbustiva e arbórea- 2021**

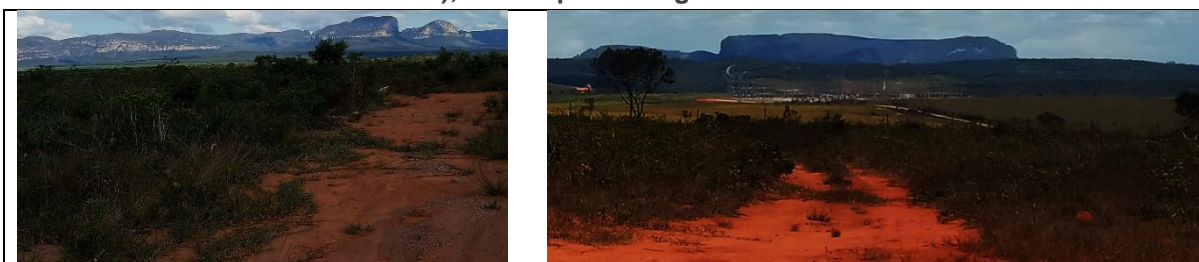


Vegetação situada próximo a ponte do rio Tiburtino, logo depois da cidade de Mucuge e próximo a entrada de Iगतu, município de Andaraí - BA.

Fonte: Produzido pelos autores (2021).

A vegetação arbustiva densa (Figura 6) os índices variaram de 111,69 a 117,24, perfazendo uma área de 2.508,76 km<sup>2</sup>. Esta fitofisionomia ocorreu em 41,27 % no Geoparque, de forma bem distribuída. Em relação a esta classe nos municípios a maior ocorrência foi em Andaraí com 35 %, seguida de Mucugê com 27,3 %, Lençóis com 25,3 % e por último, Palmeiras com 12,4 % das áreas.

**Figura 6 - Geoparque Serra do Sincorá: Vegetação de tipologia arbustiva densa (campo limpo de cerrado), solo exposto e agricultura- 2020**



Vegetação arbustiva densa, em contato com rala, em estágio de regeneração, apresentando manchas de solo exposto, tendo ao fundo a escarpas da Serra do Sincorá.

Local situado logo depois da entrada de Ibicoara encontra a Comunidade Quilombola de Camulengo com áreas de cultivos agrícola, e com vegetação secundária em estágio de regeneração, ao fundo se avista a Serra do Sincorá.

Fonte: Produzido pelos autores (2020).

No PARMA, sobretudo, no alto da Serra do Sincorá, formado por uma cobertura de arenitos da Formação Tombador, são comuns solos Neossolos litólicos distrófico, pouco espessos e arenosos o que condiciona uma vegetação do tipo “jardins rupestres” e gramíneas associadas, classificada pelo IBGE (1992) como campos rupestres (Figura 7 e 8), com predominância de vegetação arbustiva rala em

concomitante com a vegetação arbustiva densa em áreas rebaixadas de cumulação, com solos um pouco mais espesso. Já nos fundos de vale, nos piemontês ou na mata ciliar, ora em manchas de solo do tipo Latossolo amarelo distrófico, foram encontrados a tipologia arbórea em menor quantidade.

**Figura 7 - Geoparque Serra do Sincorá: Vegetação arbustiva rala (campo rupestre) na Serra do Sincorá próximo ao leito de rio - 2019**



Fonte: Produzido pelos autores (2019).

No Parque Natural Municipal do Morro do Pai Inácio (Figura 8), localizado em parte da Serra do Sincorá, foi identificada uma pequena mancha com a tipologia arbustiva densa, com área de 1.235,55 m<sup>2</sup>, em altitude de 1.220 metros, circundada com arbustiva rala, em área de 4.691.81 m<sup>2</sup>. Já no piemonte e no seu entorno foi identificada a vegetação arbustiva densa, contornada pela arbórea nas áreas rebaixadas e nos fundos de vale.

**Figura 8 - Geoparque Serra do Sincorá: Vegetação de tipologia arbustiva rala e densa em contato com arbórea - 2019**





Fonte: Produzido pelos autores (2019).

A tipologia de vegetação arbustiva rala os índices variaram de 106,15 a 111,69, perfazendo uma área de 2649,85 km<sup>2</sup>. Esta fitofisionomia ocorreu em 43,59 % das áreas no Geoparque, com percentual próximo a classe de vegetação arbustiva densa. No entanto, foi identificado uma maior ocorrência no município de Mucugê, com percentual de 59%, seguida de Andaraí com 22,4 % em relação aos demais municípios.

As áreas degradadas sem vegetação ou afloramento rochosos, com índices de 89,52 a 95,06, foram encontrados apenas 2,58 hectares. Já para a classe de solo exposto, com índice variação de 100,06 a 106,15, o quantitativo foi de 181,77 km<sup>2</sup>, perfazendo o percentual aproximado de 3 %, situado em parte nas áreas de preparo do solo para agricultura irrigada, no Planalto de Mucugê; a nordeste do Geoparque na APA Marimbus-Iraquara e próximo a cidade de Palmeiras; inclui nesta classe uma área queimada, localizada entre os limites ao sul do PARMA, com a interseção do Parque Natural Municipal de Andaraí, próximo ao Parque Municipal de Mucugê. Nesta classe também foram enquadrados os núcleos urbanos e os sedimentos nos leitos dos rios.

As queimadas na região da Chapada Diamantina (Figura 9) têm ocorrido ao longo dos anos, seja criminosa ou não, com atividades intensa de monitoramento e controle, com equipes especializadas para combate a este tipo de dano ambiental. No ano de 2020, entre os meses outubro a novembro, ocorreram diversas incêndios, sobretudo, em áreas situadas nas Unidades de Conservação e na região circunvizinha. Neste estudo, foram identificadas apenas duas áreas de queimadas considerando que as imagens de satélite analisadas foram obtidas uma semana antes das ocorrências das queimadas na região.

**Figura 9 - Geoparque Serra do Sincorá: Áreas de queimada sem vegetação e em estágio de recuperação - 2021**



Fonte: Produzido pelos autores (2021).

No Planalto de Mucugê, situado na ecorregião do bioma da Caatinga em contato como o Cerrado, onde são encontradas espécies típicas destes dois ecossistemas, foi desenvolvido a atividades do agronegócio, com agricultura intensiva irrigada em “pivô central”, com produção para o mercado de exportação, favorecido pelas condições edafoclimáticas, uma rede hidrográfica do rio Paraguaçu, topografia com relevo variando de plano a suave ondulado, em áreas de solo profundos do tipo latossolos amarelo. Nesta ecorregião foi encontrada as classes de vegetação arbustiva rala, arbustiva densa, solo exposto e vegetação densa em áreas irrigadas.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados das fitofisionomias encontrados na região apontam uma significativa dependência da vegetação no que diz respeito as condições climáticas em áreas de transição, com influência do relevo e das características do solo, quanto as texturas e profundidade. Essa relação pode ser estendida quanto aos processos geomorfológico e litológico, visto que o solo é o resultado de processos pedogenéticos entre os quais se destaca a rocha de origem.

Para além dessa relação, convém citar a presença de latossolos profundos sobre sedimentos cenozoicos no Planalto de Mucugê, onde a alteração da rocha original, de natureza pelítica (argilosa), permitiu a espessura de tais solos. Sobre esse tipo de solo desenvolveu-se espécies típicas do bioma da Caatinga em contado com o Cerrado, com supressão gradativa da vegetação nativa para uso do solo voltado para a agricultura intensiva irrigada.

As fitofisionomias encontradas nas áreas do Geoparque, nas Unidades de Conservação, ao longo da Serra do Sincorá e no seu entorno, situadas em diferentes ecossistemas, são importantes para a manutenção e preservação da fauna e da flora nativa da região. Nas relações sistêmica entre os ambientes, destaca-se áreas de contato na vertente Leste da Serra do Sincorá, influenciadas pelas chuvas orográfico, com ambiente úmidos, propiciando o crescimento de vegetação de maior porte, em contato com as áreas áridas, com vegetação de menor porte, propiciando uma rica geodiversidade, com espécies adaptadas as condições edafoclimáticas, o que vem reforçar a importância das áreas protegidas, sobretudo, a criação do Geoparque da Serra do Sincorá, que pode ainda mais dinamizar o desenvolvimento da região, com sustentabilidade econômica, social e ambiental, para a atual e futura gerações.

Os estudos dessa natureza servem ao desdobramento em outras pesquisa, projetos e ação na região, aos órgãos públicos Federal e do Estado, assim como, as Prefeituras dos municípios localizadas nessa área, instituições privadas e empresas, com contribuições que podem resultar no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para preservação e conservação dessa região, sobretudo, do Geoparque da Serra do Sincorá.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a UESB (Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia), pelo fornecimento de bolsista e a infraestrutura para a pesquisa, com a disponibilidade do Laboratório de Geografia Física (LABGEF); a FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia) pelo apoio financeiro para execução desse estudo, no fornecimento de bolsista; e por fim, a EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Agropecuária) e o United States Geological Survey (USGS) pela disponibilidade da imagem de satélite e de radar.

## REFERÊNCIAS

BRILHA, J. A rede global de geoparques nacionais: um instrumento para promoção internacional da geoconservação. In: SCHOBENHAUS, Carlos; SILVA, Cassio Roberto da (Orgs.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S.; CANDEIAS, H. Tendências de ocupação do solo nas áreas modificadas. In: CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**. Lavras: UFLA. v. 1, p. 329-354, 2008 CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado da Bahia**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/8665>> Acesso em 25 de fevereiro de 2020.

CUNHA, M. C. L.; SILVA JÚNIOR, M. C. Flora e Estrutura de Floresta Estacional Semidecidual Montana nos Estados da Paraíba e Pernambuco. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 95–102, 2014.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GIULIETTI, A.M., J.R. PIRANI e R.M. HARLEY. Espinhaço Range region, Eastern Brazil. In: DAVIS, S.D, HEYWOOD, V.H. HERRERA-MACBRYDE, O., VILLA-LOBOS, J. e HAMILTON, A.C. (Eds.). Centers of plant diversity, a guide and strategy for their conservation, **Oxford: Information Press**. v. 3, 1997.

HARLEY, R.M.; SIMMONS, N.A. Florula of Mucugê: Chapada Diamantina - Bahia, Brazil. **Royal Botanic Gardens**. London, 1986  
IBGE. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série manuais técnicos em geociências, número 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape assessment: Sampling and analysis methods USDA **Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-164**, 2006. Disponível em: <[http://www.fs.fed.us/postfirevegcondition/documents/publications/FIREMON\\_LandscapeAssessment.pdf](http://www.fs.fed.us/postfirevegcondition/documents/publications/FIREMON_LandscapeAssessment.pdf)>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

LEITE, E. F; ROSA, R. Sensoriamento Remoto multitemporal na Bacia Hidrográfica do Rio Nioaque, MS. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. Natal: INPE, 2009

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

LOUZADA, *et al.* Análise da cobertura florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. Natal: INPE, 2009.



MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução Ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB, 2002.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20/4/2021

NÓBREGA, Marcelo Araujo da; BOAS, Ariel Moura Vilas. Soil/Phytofisionomy Relationship in Southeast of Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. Engineering and Technology International. **Journal of Geological and Environmental Engineering**. World Academy of Science, vol. 14, nº 12, 2020.

NÓBREGA, M. A.; MEGURO, M. **Diversidade de fitofisionomias e aspectos fisiográficos da região sudeste da Chapada Diamantina - BA**. São Paulo: USP, 2003. PEREIRA, R.G.F.A.; ROCHA, A.J.D. & PEDREIRA, J.A. **Geoparque Serra do Sincora (BA)**: proposta. 2017. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/18230?show=full>>. Acessado em 25 de agosto de 2021.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG - utilizando dados do sensor MODIS**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2005.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; PELUZIO, Telma Machado de Oliveira; SAITO, Nathália Suemi. **SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2010

SILVA, T. B.; ROCHA, W. DE J. S. DA F.; ANGELO, M. F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA. In: **Anais...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16. Foz do Iguaçu. INPE, 2013.

SILVA J. M. C.; TABARELI, M.; FONSECA, M. T.; LINS L. V. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. Camara G.; Souza R.C.M.; Freitas U. M.; Garrido J. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3. p. 395-403, 1996.

SEI. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Balanco hídrico do Estado da Bahia**. Salvador: SEI, 1999.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **LANDSAT 8: Imagem de satélite**. METI/NASA. 1 Cenas. Canais 4-5-6. Resolução de 30 m, capturada em 08/10/2020. Geotiff. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acessado em 11/03/2021

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **SRTM**: Imagem de modelo digital de terreno. 1 Arc. Geotiff. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acessado em 11/03/2021

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga. Associação Plantas do Nordeste, **The Nature Conservancy do Brasil**, Recife: Instituto de Conservação Ambiental, 2002.

VEIGA, Artur José Pires (Coord.). **Análise espacial da chapada diamantina, com uso de sensoriamento remoto e SIG, na área de proposição para criação do Geoparque Serra do Sincorá**. Projeto de Pesquisa. Vitória da Conquista - BA: UESB, 2018

# CAPÍTULO 05

## INDUCCIÓN DE MECANISMOS DE DEFENSA DE LAS PLANTAS

### **Francisco Ángel Simón Ricardo**

Doctorado en Ciencia Agrícolas por la Universidad Central de Las Villas “Martha Abreu” Facultad Agraria e Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical de Cuba

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas

Ocupación: Profesor e Investigador Titular

Dirección: Calle Manabí (final), Barrio Nuevos Horizontes, Ciudad Esmeraldas República del Ecuador

Correo electrónico: institucional: francisco.simón@utelvt.edu.ec

Personal: angelfranciscosimon@gmail.com

**RESUMEN:** Un nuevo e importante aporte de la Biotecnología y la Biología molecular en el campo de la Fitosanidad, lo constituye el tema de la inmunidad natural de las plantas mediante el papel de las fitoalexinas en los mecanismos de defensa de las plantas. Las primeras alusión de su existencia recopiladas por este autor, datan de 1940 con los experimentos de Müller y Börger en patata con resistencia a *Phytophthora infestans*. Por muchos años posterior, las investigaciones sobre la respuesta defensiva de las plantas ante la presencia de patógenos fue muy pobre y muchos aspectos no eran entendidos. Durante la década de los 90 del siglo pasado, muchas investigaciones se encaminaron a estudiar las interacciones moleculares y bioquímicas que tenían lugar en la interacción planta-patógeno. En años recientes sobre el tema, ha aparecido un volumen importante de publicaciones recopiladas, descritas y detalladas por Katia Ojito-Ramosy Orelvis Portal (2010), que ha servido de base para la presente investigación y publicación de los resultados obtenidos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas son invadidas por microorganismos patógenos que deterioran su crecimiento y reproducción; de ahí la importancia de esta revolución del conocimiento científico relacionado con un tema vetado hasta finales del siglo pasado. Los nuevos descubrimientos al respecto abren un campo inagotable del conocimiento que ha comenzado a gestarse a principios del presente siglo amparado en el desarrollo científico técnico alcanzado con las nuevas tecnologías en todos los ámbitos, que permiten revolucionar entre otras vertientes la protección vegetal, a los que se le denomina en el argot socio-político y tecnológico FITOSANIDAD 4.0.

Las plantas poseen un sistema de defensa que va desde barreras físicas hasta señales moleculares y sistémicas, similares a la inmunidad innata en animales. Este sistema actúa de dos formas fundamentales:

1. responde a moléculas comunes de muchas clases de microorganismos patógenos y no patógenos
2. responde directamente a factores de virulencia de los patógenos o a sus efectores en el hospedante.

El conocimiento detallado del sistema inmune de las plantas y las relaciones moleculares evolutivas que se establecen entre los dos organismos permitirá una mejor comprensión de la interacción planta-patógeno. Ello redundaría en una mejor manipulación genética de las plantas con el objetivo de lograr resistencia a patógenos con una mejora de las cosechas para la producción de alimentos.

Las plantas a diferencia de los animales, son organismos sésiles que carecen de un sistema circulatorio, de células móviles para la defensa y de un sistema inmune adaptativo. Además, están sujetas al cambio de condiciones ambientales, incluyendo el constante ataque de agentes patógenos. Sin embargo, poseen mecanismos de defensa que van desde barreras físicas (películas de cera en la superficie de sus órganos, paredes celulares rígidas, etc.), tal como describe Agrio George en sus variadas ediciones del tratado de Fitopatología, hasta potentes mecanismos moleculares de resistencia en cada célula y señales sistémicas provenientes del sitio de la infección que tienen marcadas similitudes con la inmunidad innata de los animales detalladas por (ZIPFEL, 2008; BOLLER y HE, 2009). Por muchos años las investigaciones sobre la respuesta defensiva de las plantas ante la presencia de patógenos fue muy pobre y muchos aspectos no eran entendidos. Durante la década

de los 90 del siglo pasado, muchas investigaciones se encaminaron a estudiar las interacciones moleculares y bioquímicas que tenían lugar en la interacción planta-patógeno. Hoy se sabe que el sistema inmune de las plantas está constituido por una inmunidad innata que actúa de dos formas fundamentales: la primera está basada en un reconocimiento de PAMP (del inglés: *pathogen-associated molecular pattern*), mediante receptores que reconocen estos patrones (PRRs, del inglés: *pattern recognition receptors*) y que se encuentran en la superficie de las células vegetales, y se denomina PTI (del inglés: *PAMP-triggered immunity*). Sin embargo, hay patógenos exitosos que producen efectores que inhiben la PTI, los cuales son reconocidos por las plantas mediante receptores adicionales, proteínas NB-LRR (del inglés: *nucleotide binding leucine-rich repeat*), los cuales desencadenan respuestas efectoras contra estos que constituyen la segunda forma de actuación de la inmunidad innata y se denomina ETI (del inglés: *effector-triggered immunity*) (JONES y DANGL, 2006; HE *et al.*, 2007; BOLLER y HE, 2009).



## FORMAS DE DEFENSA EN LAS PLANTAS

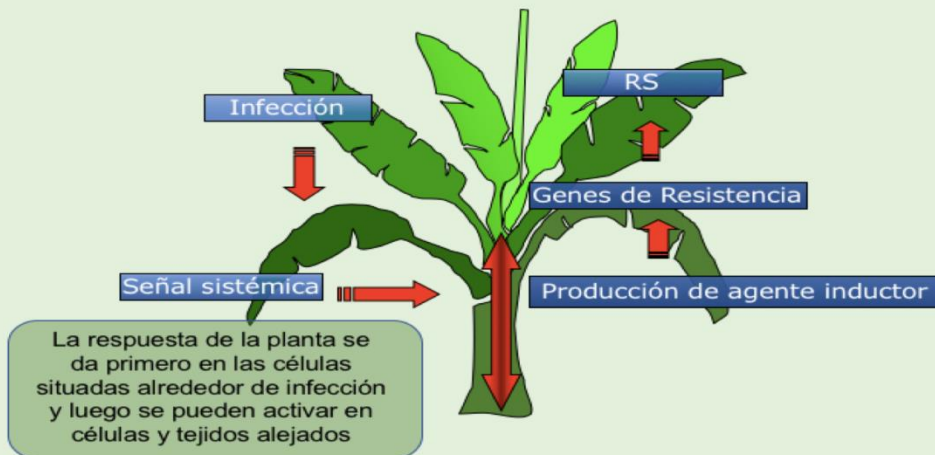


## ESTRUCTURA DE LA EPIFITIA

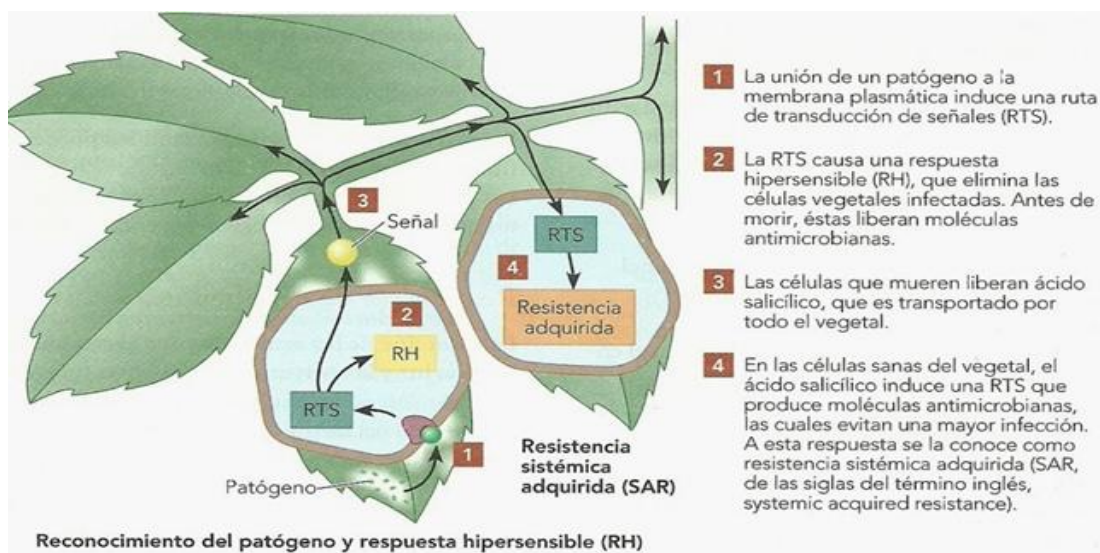
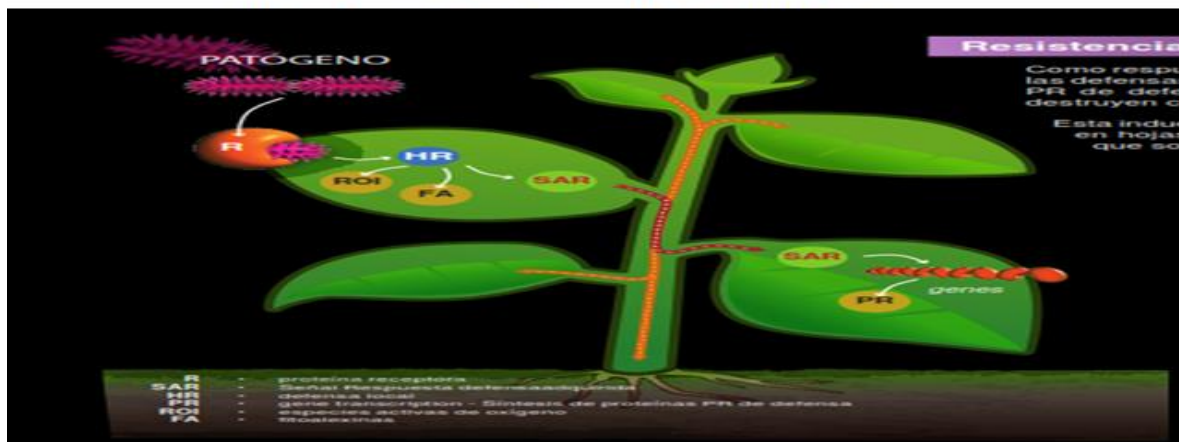


Fuentes de las imágenes: [www.proveco.com.ar](http://www.proveco.com.ar)

## INDUCCIÓN DE LA DEFENSA

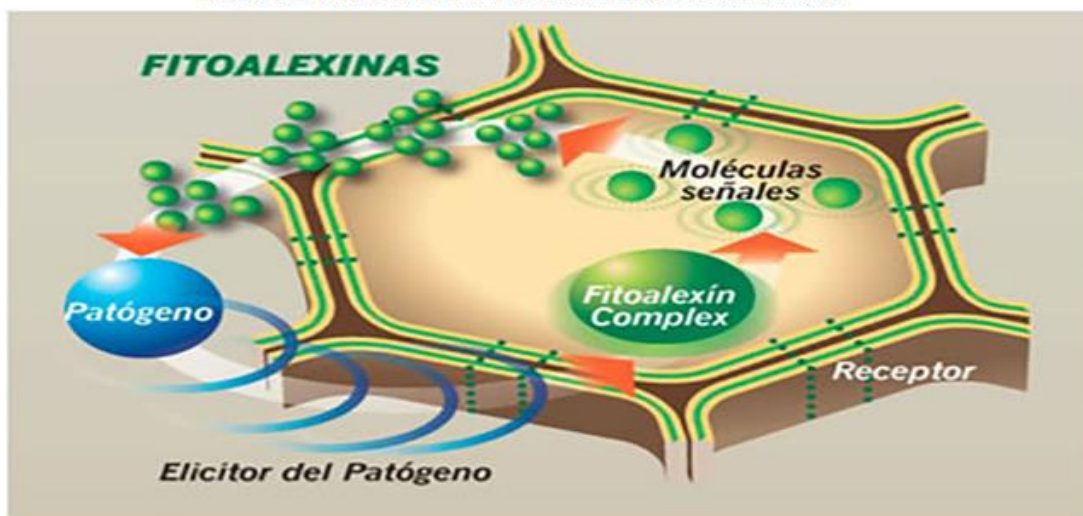


## MICORRIZAS MVA INDUCTOR DE PRODUCCION DE ELICITORES



Fuentes de las imágenes: [www.proveco.com.ar](http://www.proveco.com.ar)

## MICORRIZAS MVA INDUCTORES DE PRODUCCION DE ELICITORES



Fuentes de las imágenes: [www.proveco.com.ar](http://www.proveco.com.ar)

Aunque la importancia de la ETI, antiguamente denominada como resistencia gen por gen, y su manera de actuación está bien establecida, recientemente es que se comenzaron a realizar investigaciones sobre el papel de la PTI en la interacción planta-patógeno y la relación entre las dos formas de respuesta del sistema inmune.

## 2. ACTIVACIÓN DE INMUNIDAD

Para que se produzca el proceso de infección, la mayoría de los patógenos, deben tener acceso al interior de la planta, penetrando la hoja o la superficie de la raíz, de manera directa como el caso de los hongos que están provistos de estructuras capaces de penetrar estas estructuras o entrando a través de heridas o aberturas naturales como los estomas como el caso de las bacterias. Una vez en el interior de la planta, los microorganismos se enfrentan con otro obstáculo: la pared celular de célula vegetal.

La penetración de la pared celular expone la membrana plasmática del hospedante al microorganismo, donde se encuentran los receptores superficiales extracelulares que reconocen los PAMPs, luego las plantas detectan inicialmente los microorganismos a través de la percepción de los PAMPs mediante sus PRRs situados en la superficie celular. Este primer nivel de reconocimiento, como se refirió anteriormente, es el asociado con la PTI, cuya importancia se hizo evidente por la gran susceptibilidad a bacterias que presentan mutantes de PRR o de los componentes de la PTI.

Las respuestas intracelulares asociadas a la PTI incluyen una rápida difusión de iones a través de la membrana plasmática, la activación de la cascada de proteínas MAPK (del inglés: *mitogen-activated proteinkinase*), la producción de especies reactivas del oxígeno, rápidos cambios en la expresión de genes y un reforzamiento de la pared celular.

### 2.1 Supresión de la pti por efectores patogénicos

A pesar de la efectividad de todos estos mecanismos moleculares que se han descrito anteriormente, existen muchos patógenos exitosos que han desarrollado factores de virulencia para evadir o suprimir la PTI, como pueden ser, incluyendo fitotoxinas, polisacáridos extracelulares y efectores proteicos, la mayoría de los cuales



se secretan mediante el sistema de secreción tipo III, denominado TTSS o T3SS (del inglés: *type III secretion system*). Las bacterias patógenas de plantas pueden introducir de 15 a 30 efectores dentro de las células del hospedante usando el TTSS.

Asimismo, es común que genes y metabolitos que son inducidos y provocan resistencia a estrés por sequía, también lo hacen a estrés por salinidad (excepto en casos de toxicidad por alguna sal mineral), lo anterior sugiere, que las plantas se pueden proteger al mismo tiempo contra estos tipos de estrés.

Un común denominador en las respuestas de resistencia/tolerancia en plantas ante las aplicaciones de algún FIM es el cambio en el transcriptoma, proteoma y metaboloma de la planta, que se relaciona con la defensa de la misma. Varios FIMs como el elicitador ABAB (ácido beta amino butírico) han mostrado especificidad de acción en cuanto a las rutas de señalización que inducen, y por consiguiente el tipo de metabolitos producidos y su actividad biológica de interés.

MAMPs provenientes de virus, inducen dependiendo de la planta y del virus, diferentes genes, proteínas y metabolitos de actividad biológica de interés antropocéntrico como el  $\alpha$ -tocoferol y las antocianinas.

El ácido salicílico y el metil jasmonato, incrementan la producción de fenoles y flavonoides de manera diferente en lechuga. Extractos foliares de rosas estresadas por sequía, producen metabolitos y proteínas con actividad antifúngica de interés comercial. Herramientas biotecnológicas (bioinformáticas) de vanguardia están siendo de suma utilidad en la identificación y predicción de nuevas moléculas con actividad FIM (elicitores) en fitopatógenos.

Así, se vislumbra que la correcta combinación entre dosis y oportunidad de aplicación de un FIM sobre una especie vegetal, deberá proporcionar y generar PMAEPs que induzcan metabolitos de interés antropocéntrico de manera controlada y racional para alguna aplicación en particular dependiendo de la bioactividad de estos metabolitos.

En base al conocimiento que se está incrementando sobre el funcionamiento del SIV, se empiezan a generar datos que se espera en un futuro contribuyan no solo a una disminución en el uso de agroquímicos tradicionales en la agricultura altamente contaminantes para el ambiente, sino también en la producción “controlada” de metabolitos con actividad biológica de interés para industrias como la de los alimentos, farmacéutica, biotecnológica, agroquímicos, entre otras. Es factible esperar que se

llegue a relaciones precisas de dosis y oportunidades de aplicación de FIMs para incrementar específicamente metabolitos de interés.

Finalmente, la agricultura del futuro deberá utilizar el conocimiento del control mediante FIMs del SIV para generar compuestos bioactivos de interés, así como la tecnología de ambientes protegidos (construcción de estructuras y automatización del control del clima en las mismas) para que éstos sirvan como “Biofábricas” para producir alimentos con mejores características bioactivas y amigables con el ambiente.

Se deben señalar las limitaciones actuales de estas técnicas ya que muchos procesos teóricamente posibles no son todavía técnicamente factibles o practicables; es decir, su desarrollo se produce lentamente y con alto riesgo respecto a los éxitos alcanzables.

Para la protección de las plantas y el desarrollo de productos adecuados, seguramente todavía tendrá primacía la química analítica y la síntesis orgánica, por lo menos deberán rebasar algunos años, incluso en años posteriores ambas disciplinas, la Química y la Biotecnología tendrán que complementarse; además, actualmente aún no puede preverse totalmente qué repercusiones puede tener la manipulación específica de procesos biológicos en particular de genes en la estructura de especies y variedades, tanto en el reino de los microorganismos como en el de los animales y de las plantas. También se han de considerar aspectos ético-morales, por ejemplo, se consolidan hoy en el mundo grupos con fuerte respaldo - incluso político - contrarios a la manipulación genética, que por medios jurídicos intentan frenar esta evolución inhibiendo las funciones celulares.

## 2.2 Inmunidad activada por efectores patogénicos ETI

Durante el proceso evolutivo, una vez que los patógenos adquirieron la capacidad de suprimir las defensas primarias, las plantas desarrollan un mecanismo especializado para detectarlos, entre éstos está un sistema de reconocimiento genético del patógeno, controlado por los genes de resistencia del hospedante. En este sistema de resistencia denominado gen-por-gen, los genes R de la planta confieren resistencia al patógeno que contiene, a su vez, los genes correspondientes de avirulencia (Avr), llamados así, porque su presencia previene el desarrollo de la

enfermedad. La ETI es, probablemente, una de las formas de mayor alcance en respuestas de defensa en plantas.

### 3. EFECTORES PATOGENICOS

Se conoce que los patógenos bacterianos de plantas tales como *P. syringae* pueden secretar aproximadamente de 20 a 30 efectores durante la infección. Los efectores promueven la patogenicidad, y son esenciales para el desarrollo de los síntomas de la enfermedad y la multiplicación bacteriana. Por su acción colectiva, se ha considerado la hipótesis de que los efectores alteran la fisiología vegetal en hospedantes susceptibles para sostener el crecimiento del patógeno. Las proteínas efectoras de hongos y bacterias, que se liberan a las plantas pueden poseer actividad enzimática. Estas enzimas son responsables de modificar las proteínas del hospedante para aumentar la virulencia del patógeno y evadir su detección. Los patógenos se deben proteger contra estas actividades enzimáticas efectoras potencialmente perjudiciales.

Muchos patógenos producen pequeñas moléculas efectoras que mimetizan las hormonas de las plantas, según Jones y Dangl, (2006), existen tres moléculas señalizadoras que regulan la defensa de la planta contra los ataques microbianos: el ácido salicílico (SA), el ácido jasmónico (JA), y el etileno. La señalización etileno-dependiente es importante para la respuesta de la planta ante el ataque de los patógenos, ante una herida mecánica o inducida por herbívoros.

La señalización SA dependiente es crítica en el establecimiento de resistencia bacteriana local y sistémica, mientras que la señalización JA dependiente se induce en respuesta a la herida y a la depredación mecánica de herbívoros. Las rutas de señalización de la defensa a través del SA y de JA son, generalmente, antagónicas, y los patógenos bacterianos se han desarrollado para suprimir las respuestas de la defensa mediadas por el SA.

Para ser exitosos, los patógenos necesitan superar múltiples respuestas de defensa. El fortalecimiento de la pared celular durante la infección, alcanzada por la deposición de calosa justo debajo del sitio de penetración, es una respuesta de defensa usual. Tres efectores de *P. syringae* evitan que las células de las plantas establezcan tales defensas.

La mayoría de los hongos tienen la capacidad de formar haustorios, una estructura especializada en la infección. Contrariamente a las bacterias Gram negativas, no se ha descubierto ningún TTSS para hongos patógenos, y sus efectores se pueden liberar a partir de los haustorios en el espacio intercelular (apoplasto) de la planta.

El principal medio a través del cual las plantas se defienden contra la infección viral es el silenciamiento del ARN viral, que regula la acumulación de moléculas endógenas y exógenas. La mayoría de los virus de las plantas tiene genomas de ARN, y las estructuras secundarias de doble cadena pueden accionar el silenciamiento del genoma viral en el hospedante, y prevenir la diseminación viral sistémica. Los efectores de la virulencia viral se pueden considerar los encargados de suprimir la respuesta silenciadora del ARN del hospedante.

Se han identificado supresores en muchos virus de las plantas, y las funciones moleculares de varios de ellos han sido caracterizadas detalladamente. Estos estudios determinaron que diversos supresores interfieren con los componentes únicos de la maquinaria silenciadora del hospedante, lo que sugiere que muchos virus desarrollaron independiente los medios para suprimir el silenciamiento. Naturalmente, las plantas utilizan un segundo mecanismo de defensa para reconocer y para restringir el movimiento del virus.

### 3.1 Reconocimiento directo e indirecto de efectores patogénicos

#### Resistencia gen-por-gen

Como se ha descrito anteriormente, la evolución de las proteínas efectoras secretadas por los patógenos de plantas, llevó en última instancia a la adquisición de proteínas que reconocen específicamente estos determinantes bacterianos, de hongos y virales. Esta asociación en parejas que describe el reconocimiento de efectores dentro de la célula de la planta se ha caracterizado genéticamente como resistencia gen-por-gen. En presencia de una asociación efector-proteína R, la resistencia se activa, dando como resultado la iniciación de la señalización de defensa y de resistencia del hospedante. La resistencia se manifiesta como muerte celular localizada en el sitio de la infección y la inhibición del crecimiento del patógeno. Inversamente, en la ausencia de esta interacción, el patógeno elude la detección por

la planta, dando por resultado la proliferación del patógeno y el inicio de la enfermedad.

#### 4. SISTEMAS DEFENSIVOS DE LAS PLANTAS

Los sistemas defensivos de las plantas pueden ser clasificados en dos grandes grupos, los constitutivos (generalistas) y los inducibles (específicos). El primer grupo corresponde a las defensas que son producidas por las plantas sin necesidad de exposición a un patógeno, es decir, se producen durante el proceso de desarrollo normal del individuo y son de amplio espectro.

A este grupo pertenecen las defensas físicas como las espinas, los tricomas y la cutícula; además, las sustancias químicas del metabolismo secundario que la planta producen normalmente, para defenderse de herbívoros y patógenos generalistas.

Los terpenos, fenoles y alcaloides son ejemplos de estas sustancias. El grupo de las defensas inducibles está constituido por mecanismos, estrategias y sustancias que son producidas luego de la exposición al agente dañino, los cuales pueden producir resistencia contra uno o varios patógenos a largo plazo. En este grupo están las defensas celulares y sistémicas que requieren la expresión diferencial del material genético y la producción de sustancias defensivas específicas. Todas las estrategias defensivas de las plantas deben considerarse el producto de las interacciones de cada especie con otros organismos y con su ambiente durante el curso de su evolución natural.

##### 4.1 La protección superficial como primera barrera defensiva de la planta

La capa más externa del cuerpo vegetal (epidermis) y sus células están directamente expuestas al ambiente externo, al menos en uno de sus lados. Estas células desarrollan varias capas de material hidrófobo sobre su pared celular, las cuales son muy resistentes y sirven como primera barrera física contra la entrada de patógenos, además de ser útil para evitar la deshidratación. Ésta cubierta hidrófoba (cutícula), está constituida principalmente por cutina, suberina y ceras, moléculas de gran tamaño cuyos componentes son de carácter lipídico.

La cutina está compuesta por ácidos grasos saturados de 16-18 carbonos y con grupos hidroxilos terminales, los cuales forman una red tridimensional mediante

enlaces de tipo éster. Junto a las ceras, constituye el principal componente de la cutícula, una cubierta protectora gruesa que recubre la superficie externa de las células de la parte aérea de la planta y que posee una variada ornamentación superficial.

Las ceras son mezclas de lípidos de cadena larga, muy hidrófobos, como alcanos de hasta 37 carbonos y ésteres de ácidos grasos. Alcoholes, aldehídos y cetonas también pueden formar parte de la capa de ceras de la planta. La suberina es similar en composición a la cutina, pero tiene la particularidad de poseer dos grupos carboxílicos, uno en cada extremo de la cadena de carbonos. Se sabe que tiene asociados compuestos fenólicos y su estructura no está completamente dilucidada. Se le encuentra en la banda de Caspary, en las células de la peridermis, en áreas dañadas por insectos y en la pared de las células de la raíz. La cutícula y las barreras suberizadas son bastante eficientes en prevenir la pérdida de agua, además al evitar que ésta se deposite en su superficie disminuye la germinación de esporas de patógenos. Algunos hongos deben producir enzimas que hidrolizan la cutina para poder penetrar la planta, por lo que su papel como barrera física es importante.

La superficie del cuerpo vegetal está comúnmente cubierta de tricomas, espinas y aguijones cuya función es repeler el ataque de agentes herbívoros. Los tricomas son prolongaciones epidermales constituidas por una o varias células, con variadas funciones protectoras. Han sido de alguna ayuda en estudios taxonómicos, su forma y ornamentación es muy variada. Algunos son glandulares, ya que producen sustancias que almacenan o excretan, generalmente para defenderse pero también para atraer insectos útiles (polinizadores) para la planta. Hay una estructura superficial denominada emergencia, la cual se distingue del tricoma porque posee un sobre crecimiento subepidermal, dado que el tricoma se considera, por definición, sólo epidermal. La protección que los tricomas ofrecen puede ser contra exceso de radiación lumínica, bajas temperaturas, ovoposición de insectos y daños ocasionados por herbívoros. Las espinas y aguijones son órganos superficiales puntiagudos, cuya forma y función son similares, pero que difieren en su anatomía. Las espinas poseen conexión vascular con el tallo, mientras que los aguijones no, ya que son simplemente sobre crecimientos epidermales. Ambos pueden poseer puntas muy duras y constituyen una defensa muy efectiva contra herbívoros vertebrados, ya que por su baja superficie de contacto (son muy puntiagudos), una fuerza moderada produce una gran presión ( $\text{presión} = \text{fuerza}/\text{superficie}$ ).

## 4.2 La defensa química inespecífica mediada por metabolitos secundarios

Al igual que algunas barreras físicas defienden a la planta contra un amplio grupo de plagas y patógenos, hay sustancias químicas dirigidas a proveer un sistema defensivo del mismo espectro, el cual actúa cuando las barreras físicas han sido sobrepasadas. Los compuestos involucrados en este sistema son denominados metabolitos secundarios, que quiere decir que no son necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta. Las rutas metabólicas que los producen están interrelacionadas con el metabolismo primario, considerándolas a veces complementarias por cuanto se supone que ayudan a metabolizar productos de desecho, según algunos autores. Lo cierto es que varios de sus productos son comprobadamente tóxicos para muchos herbívoros, insectos plagas y microorganismos patógenos. Los tres grandes grupos de metabolitos defensivos son los terpenos, los compuestos fenólicos y los compuestos nitrogenados.

## 4.3 Metabolitos secundarios defensivos de las plantas. Los Terpenos

Los terpenos son lípidos sintetizados a partir de acetilCoA a través de la ruta del ácido mevalónico, siendo su compuesto base el isopreno. Las formas activadas con las que se inicia la síntesis de terpenos (también llamados isoprenoides), son el isopentenil pirofosfato (isopentenilPP) y su isómero dimetilPP. Con estos compuestos se sintetizan los bloques constitutivos básicos de los terpenos, que se nombran de acuerdo al número de unidades de cinco carbonos que posean. Así, los monoterpenos poseen 10 carbonos (dos bloques de C5), los sesquiterpenos 15 carbonos (tres bloques C5), los diterpenos 20 carbonos (cuatro bloques C5), los triterpenos 30 carbonos (seis bloques C5), los tetraterpenos 40 carbonos (ocho bloques C5) y los politerpenos poseen un número mayor de bloques C5. Algunos terpenos básicos son el geranilPP, el farnesilPP, el escualeno y el fiteno, los cuales son precursores de monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos y tetraterpenos, respectivamente.

Hay varios compuestos originados por el metabolismo de estas sustancias que funcionan como hormonas, tales como giberelinas y ácido abscísico, que derivan de diterpenos y sesquiterpenos, respectivamente. Además hay esteroides resultantes del metabolismo de los triterpenos, así como carotenoides derivados de tetraterpenos, los

cuales poseen funciones claramente pertenecientes al metabolismo primario. Sin embargo, la mayoría de terpenos están involucrados en la protección vegetal.

Muchos monoterpenos están involucrados en la defensa contra insectos, tales como los piretroides, que son de corta persistencia en la naturaleza y de baja toxicidad a mamíferos. En coníferas se producen varios monoterpenos como  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno y mirceno, que defienden a la planta contra insectos como los escolítidos de la corteza del género *Ips*.

Los aceites esenciales son también compuestos del tipo mono y sesquiterpenos, tales como el limoneno y el mentol. Es común que estas sustancias se almacenen en tricomas glandulares en el espacio entre la pared celular y la cutícula. Es pertinente mencionar que estos compuestos han sido usados en la elaboración de perfumes y en la industria alimenticia.

Entre los sesquiterpenos, se destacan los que poseen un anillo de lactona formando un éster cíclico, denominados sesquiterpenlactonas, cuya función es repeler animales herbívoros, tanto insectos como vertebrados. Un ejemplo bien conocido es el gossipol, un sesquiterpeno del algodón que protege la planta contra la herbivoría por insectos. Los diterpenos son bastante comunes en las resinas vegetales, tanto de gimnospermas y angiospermas, siendo algunos ejemplos el ácido abiótico y el forbol.

Los triterpenos defensivos, incluyen las fitoecdisonas, compuestos que alteran el ciclo de muda de los insectos y por lo tanto les causan enfermedades que pueden ser mortales. Los limonoides son otro grupo de triterpenos que defienden la planta contra los insectos herbívoros, mientras que los cardenólidos y las saponinas son eficientes disuadiendo a herbívoros vertebrados.

Los cardenólidos son glicósidos, es decir compuestos que poseen uno o varios glúcidos, que pueden afectar el músculo cardiaco y por lo tanto son usados por el ser humano para tratar afecciones cardiacas, como los obtenidos de las plantas del género *Digitalis*.

Las saponinas son sustancias con una parte hidrofílica y otra lipofílica, por lo que actúan como detergentes que rompen las membranas celulares. Estas sustancias pueden ser muy tóxicas para el ganado y disminuyen su productividad.

En cuanto a los politerpenos, el caucho es el más importante. Este compuesto es producido principalmente por la planta *Hevea brasiliensis*, la cual posee unos canales especializados llamados laticíferos en los que se produce y mantiene una sustancia blanca denominada látex, de donde se obtiene el mencionado caucho.



Para concluir este apartado de los terpenos, vale mencionar que algunos insectos son capaces de acumular compuestos tóxicos terpenoides sin que su organismo sufra mal alguno. Esto es probablemente consecuencia de largos procesos coevolutivos que han permitido al insecto usar dichos compuestos como defensas contra sus propios depredadores, tal como ocurre con orugas de mariposas monarcas, que se alimentan de plantas del género *Asclepias*.

Tales orugas almacenan los cardenólidos que luego son tóxicos a aves que las depredan, incluso están presentes y sirven para lo mismo en el insecto volador adulto. Otros insectos han desarrollado rutas metabólicas capaces de procesar las toxinas y convertirlas en compuestos inocuos, como sucede con algunos escolítidos barrenadores en coníferas.

#### 4.4 Metabolitos secundarios defensivos de las plantas. Compuestos fenólicos

Otro grupo importante de metabolitos secundarios defensivos son los compuestos fenólicos. Es un grupo muy heterogéneo, soluble en compuestos orgánicos y que incluye ácidos carboxílicos, glicósidos y polímeros. Además del rol defensivo, pueden servir para atracción de polinizadores y dispersores, para proveer soporte mecánico y aun para evitar el crecimiento de plantas vecinas.

Las sustancias menos complejas entre los compuestos fenólicos comprenden los fenilpropanos, las fenilpropanolactonas (cumarinas) y los derivados del ácido benzoico, las cuales pueden ser fisiológicamente muy activas a pesar de su relativamente simple naturaleza estructural. Estos compuestos defienden a la planta contra insectos herbívoros e incluso hongos, y se sabe de algunos que están involucrados en alelopatía, como los ácidos cafeíco y ferúlico. Dicho fenómeno consiste en la inhibición del crecimiento de plantas vecinas por sustancias liberadas al ambiente.

Uno de los polímeros más abundantes en la biósfera, la lignina, es también un compuesto fenólico formado por alcoholes fenilpropanos, el cumaril, el sinapil y el coniferil, que son sintetizados a partir de la fenilalanina y que se unen entre sí de manera aleatoria, por lo que cada molécula de lignina es diferente de las demás. Su función protectora es básicamente estructural, haciendo más resistentes las paredes celulares y más indigeribles otras sustancias como la celulosa.

Otro gran grupo de derivados fenólicos son los flavonoides, cuya molécula estructural básica es sintetizada conjuntamente por la ruta del ácido siquímico y del ácido malónico. Entre los flavonoides se encuentran las antocianinas, compuestos coloreados que sirven para atraer insectos polinizadores, así como flavonas y flavonoles, que absorben luz de corta longitud de onda, incluyendo luz ultravioleta (UV). Por ello se les ha atribuido un papel protector al absorber longitudes de onda que inducen mutaciones, mientras que dejan pasar libremente la radiación fotosintéticamente útil. Algunas flavonas y flavonoles son liberadas al suelo por la raíz y parece que están implicadas en la nodulación de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Hay un grupo de sustancias flavonoideas a las que se denomina isoflavonoides, que actúa contra microorganismos patógenos una vez realizada la infección, así como también hay un grupo de isoflavonoides, los rotenoides, que muestran actividad insecticida. Los isoflavonoides antimicrobianos son un importante componente de las llamadas fitoalexinas, moléculas defensivas que se caracterizan por ser sintetizadas rápida y localizadamente en respuesta a una infección. Las fitoalexinas son tóxicas a un amplio rango de patógenos fúngicos y bacterianos y pueden ser de variada naturaleza, como por ejemplo isoflavonoides en leguminosas o sesquiterpenos en solanáceas. La síntesis de las fitoalexinas puede ser desencadenada por sustancias estimuladoras, las cuales pueden ser fragmentos de polisacáridos de la pared del microorganismo invasor, así como glicoproteínas y ácidos grasos. Incluso fragmentos de pectinas de la pared celular vegetal también pueden inducir la síntesis de fitoalexinas. A pesar de ser inducibles, estas moléculas son consideradas componentes del metabolismo secundario porque no son específicas contra microorganismo alguno y porque además pueden ser sintetizadas en respuesta a estrés abiótico.

Otro grupo digno de mención es el de los taninos, compuestos formados por unidades flavonoideas o ácidos fenólicos, que comúnmente se les encuentra en la dermis de frutos inmaduros y son efectivos contra el ataque de herbívoros. Las altas concentraciones de taninos en algunas maderas también evitan el ataque de microorganismos descomponedores.

Aunque no tiene que ver con la defensa vegetal, debe mencionarse que los taninos son compuestos claves para la elaboración del vino tinto, pues inciden en su calidad final.

#### 4.5 Otros compuestos nitrogenados defensivos de las plantas

Entre los compuestos defensivos hay una variada gama de sustancias que poseen nitrógeno en alguna parte de la molécula, siendo los más abundantes los alcaloides, los glicósidos cianógenos y los glucosinolatos. Casi todos ellos se sintetizan a partir de aminoácidos.

Los alcaloides son metabolitos secundarios heterocíclicos con nitrógeno en el anillo y poseen un marcado efecto fisiológico en animales. Hay un variado grupo de alcaloides, que posee un amplio espectro de propiedades fisiológicas. Su papel en las plantas es materia de amplio debate, pues se les ha atribuido funciones tan variadas como ser sustancias de desecho, compuestos para almacenamiento de nitrógeno o reguladores del crecimiento.

Muchos alcaloides son tóxicos para los vertebrados, por lo que su función principal parece ser la defensa de la planta contra depredadores. Por sus efectos fisiológicos se les emplea en variados campos del quehacer humano, por ejemplo en medicina (morfina, atropina, efedrina), como veneno (estricnina), o para uso como estimulante o sedante (cafeína, cocaína, teína, nicotina). A nivel celular tienen variados mecanismos de acción, como por ejemplo afectar el transporte transmembranal o la síntesis de proteínas, e incluso inhibir la neurotransmisión. Un grupo de alcaloides particular, las betalainas, no está asociado con actividad defensiva si no que cumple funciones de pigmentación en los frutos de plantas como los cactus, donde no hay antocianinas.

Los glicósidos cianógenos liberan cianuro de hidrógeno cuando son metabolizados, lo cual sucede tras el ataque de un herbívoro, pues la destrucción física de las vacuolas y otros compartimentos que separan los glicósidos cianógenos de las enzimas que los catabolizan, permite la producción del mencionado cianuro. De igual manera sucede con los glucosinolatos, los cuales liberan sustancias como tiocianatos, isotiocianatos y nitrilos, que son tóxicos en los herbívoros. Otros compuestos nitrogenados también actúan como sustancias defensivas, como por ejemplo los aminoácidos no proteicos como la canavanina y la azetidina, los cuales pueden ser incorporados en las proteínas del herbívoro inhibiendo su funcionamiento.

También hay péptidos vegetales que se unen a proteínas del tracto digestivo del herbívoro inhibiéndolas y generando problemas en la digestión de los alimentos.

Todo esto indica que la función más probable de estos compuestos nitrogenados es la defensa vegetal.

#### 4.6 Las defensas vegetales específicas e inducibles

Las plantas deben detectar la presencia del patógeno para poder generar respuestas defensivas adicionales a las constitutivas, las cuales se denominan inducibles. Estas respuestas inducibles pueden ser tanto estructurales como bioquímicas y en ambos casos debe haber un reconocimiento previo del patógeno. Algunas plantas son capaces de reconocer que están siendo atacadas mediante la identificación de dos tipos de sustancias, las producidas normalmente por el patógeno o las generadas por el ataque al hospedero. En el primer caso, el de las sustancias producidas por los patógenos, las toxinas, las glicoproteínas, los ácidos grasos y las enzimas pécticas y proteasas son capaces de generar una respuesta defensiva.

Esto también sucede con los productos de la expresión de algunos genes del patógeno, tales como *avr* y *hrp*, que actúan como estimuladores (en inglés *elicitors*) de la defensa vegetal.

En el segundo caso, son fragmentos de la superficie de la planta liberados por la acción de las enzimas del patógeno (o bien fragmentos del patógeno liberados por la acción de las proteínas defensivas), los que actúan como estimuladores del reconocimiento. Es común que dichos fragmentos sean oligómeros o monómeros de polisacáridos estructurales de la pared.

Cuando el hospedero reconoce al patógeno, una serie de alarmas intracelulares e intercelulares, denominadas sistémicas, activan proteínas o genes involucrados en la defensa. La naturaleza de la molécula señal no se conoce con exactitud, pero para la transducción intracelular hay varias candidatas como el ión calcio, proteínas quinasas, fosfolipasas y el peróxido de hidrógeno, entre otras. En el caso de señales de transducción sistémicas, los principales candidatos son el ácido salicílico, el ácido jasmónico, la sistemina, el etileno, algunos ácidos grasos y oligogalacturónidos, entre otros.

#### 4.7 Las defensas estructurales inducidas como recurso defensivo para la planta

La primera que se mencionará es la reacción defensiva citoplásmica, en la cual suceden cambios en la apariencia y densidad del citoplasma que conllevan a la desaparición del organismo invasor. Otro tipo de defensa estructural inducida sucede en las paredes celulares, donde ocurren varios tipos de cambios como el hinchamiento que rodea a los patógenos, el engrosamiento para evitar la entrada del microorganismo y el depósito de papilas de calosa en el lado citoplasmático de la pared, en respuesta principalmente a hongos. La eficiencia de estas estrategias es más bien limitada, por lo que debe considerárseles simplemente un componente más del sistema defensivo total de la planta.

Las defensas histológicas constituyen el tercer gran grupo de mecanismos estructurales inducidos por los patógenos. En este grupo se destaca la formación de capas de corcho, cuya función es impedir el movimiento del patógeno, así como la difusión de sus toxinas hacia los tejidos sanos, a la vez que evita la entrada de sustancias alimenticias desde la parte sana al foco de infección. La formación de las capas de corcho comúnmente implica la creación de capas celulares lignosuberizadas. Las zonas de abscisión son comunes en las hojas, e implican la disolución de las láminas medias entre células sanas que rodean el foco de infección, permitiendo que la pérdida de cohesión haga caer a la hoja infectada. Un tipo especial de defensa estructural inducida son las tilosas, sobrecrecimientos del citoplasma de células vecinas que penetran al xilema a través de las punteaduras, taponando el lumen del vaso en respuesta a un patógeno. Las gomas también representan otro tipo de respuesta defensiva estructural, en el cual la goma se deposita entre las células sanas que circundan al foco de infección (y aun dentro de ellas), rodeándolo por completo y aislándolo de los tejidos sanos. La naturaleza química de estas gomas no ha sido aún dilucidada.

#### 4.8 Las defensas bioquímicas inducibles de las plantas

Las defensas bioquímicas inducibles de las plantas son muy variadas y complejas; se agrupan en varias categorías, como la resistencia no hospedero, la resistencia cuantitativa, la resistencia cualitativa y la respuesta hipersensible, que generalmente conlleva a la resistencia sistémica adquirida (RSA).

Antes de revisar estas resistencias, es necesario mencionar que algunos de los cambios defensivos inducibles más notables en las plantas pueden ser originados en respuesta a varios tipos de patógenos e incluso están presentes cuando hay situaciones de estrés ambiental o abiótico. Entre los ejemplos más notables están las modificaciones de los sistemas membranales, el refuerzo de la pared celular y la producción de sustancias antimicrobianas.

Los cambios membranales pueden ser tanto estructurales como de permeabilidad, los cuales conllevan comúnmente a la pérdida de la compartimentación y a la producción de las mencionadas EAO ( $H_2O_2$ ,  $O_2^-$ , OH, así como de enzimas lipooxigenasas y moléculas importantes en la transducción de señales. De otra parte, se sabe que algunas sustancias son depositadas en las paredes celulares atacadas aumentando su resistencia. Entre ellas se encuentran la calosa, algunas glicoproteínas como la extensina, derivados fenólicos como la lignina y la suberina y también minerales como el calcio y el silicio.

Entre las sustancias antimicrobianas producidas se destaca un grupo de proteínas denominado proteínas relacionadas con la patogénesis (proteínas RP), que es de variada naturaleza estructural pero que tiene en común que todos sus miembros son tóxicas para hongos invasores. Ellas están ampliamente distribuidas en la planta en baja cantidad, pero su concentración aumenta luego de la exposición a un patógeno o ante situaciones de estrés abiótico. Se les encuentra tanto intracelularmente como en los espacios intercelulares de varios órganos vegetales (raíz, hoja, semilla), entre los cuales puede haber diferentes grupos de proteínas RP, siendo las moléculas que aparentemente inducen su producción el etileno y los ácidos jasmónico y salicílico.

Otros compuestos defensivos inducibles son los derivados fenólicos, los cuales pueden ser tóxicos para los microorganismos, así como también los productos resultantes de su oxidación, que pueden poseer aún más capacidad antimicrobiana, tal como sucede con las quinonas.

El otro gran grupo de sustancias defensivas inducibles lo constituyen las fitoalexinas, sustancias antimicrobianas producidas luego de la exposición a un agente patógeno o a un daño mecánico o químico. Estas moléculas son producidas por células sanas en respuesta a sustancias que difunden desde células adyacentes infectadas. En su mayoría se producen como respuesta a infecciones fúngicas, aunque nematodos, bacterias y virus pueden inducir su producción también. Las

fitoalexinas se han aislado de unas 30 familias vegetales diferentes y su estructura química es similar al interior de cada familia, como por ejemplo en las fabáceas donde son mayoritariamente isoflavonoides o en las solanáceas donde son terpenoides.

Algunos ejemplos representativos de fitoalexinas son la faseolina, pisatina, gliceolina, rishitina, gossipol y capsidiol. Las sustancias estimuladoras de fitoalexinas son mayoritariamente producidas por el patógeno, tales como glucanos, quitosán, glicoproteínas y polisacáridos, pero algunas sustancias de la pared celular vegetal liberadas por la acción del patógeno también pueden inducir su producción.

## 5. RESISTENCIA DEL TIPO NO HOSPEDERO

Es necesario empezar diciendo que no toda planta es susceptible a todos los patógenos vegetales existentes, razón por la cual existen los llamados sistemas planta patógeno (patosistemas), originados por la interacción continua de ciertos patógenos con ciertas plantas hospederas. A la resistencia que una planta dada posee contra microorganismos patógenos no compatibles, se le denomina resistencia no hospedero y su naturaleza es poco conocida. Esta resistencia puede ser entre una planta y un patógeno de un hospedero lejanamente emparentado, como el tomate y el roble, donde se cree que la resistencia no hospedero estaría controlada por defensas constitutivas o defensas inducibles pero de una manera no específica. En el caso de especies cercanamente relacionadas, como el tomate y el tabaco, la resistencia no hospedero se controla por defensas inducibles estimuladas por el reconocimiento de moléculas específicas del patógeno. El que algunos sistemas planta microorganismo tengan resistencia no hospedero de naturaleza constitutiva, muestra que el reconocimiento no es un aspecto que obligatoriamente medie en la respuesta defensiva y que puede existir un mecanismo de defensa directo, el cual es llamado por algunos autores como la defensa basal.

### 5.1 Resistencia cuantitativa

Otro tipo de defensa inducible es la resistencia cuantitativa, también llamada horizontal, no específica o poligénica. Esta resistencia es controlada por varios genes que producen estructuras defensivas o sustancias tóxicas. Esta resistencia es muy variable en especificidad, pues puede servir contra ciertas cepas de un patógeno, o

contra todas sus cepas o incluso aun contra más de un patógeno. Se ha visto que la resistencia cuantitativa no induce muerte celular y que es muy influenciada por los factores ambientales, como la temperatura. Para su estudio se intenta ubicar regiones del genoma donde se agrupen genes para características cuantitativas, las cuales se denominan regiones QTL (del inglés *quantitative trait loci*).

## 5.2 Resistencia cualitativa

La resistencia cualitativa también se denomina raza específica, está determinada por un gen mayor y corresponde al modelo <<gen a gen>> que se propuso a mediados del siglo pasado. La idea es que hay un gen dominante de resistencia en la planta, denominado *R*, al cual corresponde un gen de avirulencia, llamado *avr*, también dominante y presente en el patógeno. Cada vez que ambos estén presentes en un par planta patógeno, la consecuencia será una interacción incompatible o resistencia, mientras que la presencia de alelos recesivos implicará enfermedad o interacción compatible. Así, esta resistencia implica que sólo las variedades de plantas con el gen *R* serán resistentes a las cepas de patógenos que posean el correspondiente gen *avr*. Los genes *R* poseen similitudes estructurales independientemente del tipo de patógeno contra el cual provean resistencia (virus, bacterias, hongos) y se encuentran en familias de genes agrupadas. Es común que sus productos proteicos posean regiones ricas en leucina, así como función quinasa o función de receptores membranales, los cuales intervienen en la resistencia contra los patógenos.

## 5.3 Respuesta hipersensible

La resistencia cualitativa parece desencadenar el conjunto de defensas bioquímicas inducidas que se denominan en conjunto la respuesta hipersensible (RH), también llamada resistencia vertical. Esta resistencia es monogénica y, como se mencionó, está asociada a los denominados genes *R*. Esta respuesta se da en el sitio de infección y es mediada por sustancias que matan a la célula infectada, a sus vecinas y al patógeno, limitando así su difusión por el cuerpo vegetal. Puede ser tan rápida y pequeña que puede pasar inadvertida a la vista, ya que a veces afecta a muy pocas células. En la RH hay reconocimiento de estimuladores de origen patógeno que



desencadenan reacciones bioquímicas que alteran las funciones celulares y activan compuestos relacionados con la defensa. Las alteraciones más notables incluyen la aparición de especies activadas del oxígeno (EAO), que aumentan las reacciones de oxidación, aunque también se verifica el incremento del movimiento iónico (K), la pérdida de la compartimentación, la activación de proteínas quinasas, la formación de sustancias antimicrobianas (fitoalexinas, proteínas quitinasas, etc.) y algunos cambios en la pared celular. La RH debe considerarse un tipo de muerte celular programada (MCP), de igual forma que la necrosis, pero no debe confundirse con la apoptosis, que también es un fenómeno de MCP pero que a la fecha sólo ha sido detectado en animales.

#### 5.4 Resistencia sistémica adquirida (RSA)

Esta es quizá la máxima expresión defensiva de las plantas. Desde hace varios años se sabe que las plantas producen una resistencia generalizada como consecuencia a una infección previa o a una inoculación con algunas sustancias químicas naturales o sintéticas.

Esta resistencia es inicialmente localizada alrededor del punto de infección, pero luego se esparce por todo el cuerpo (sistémicamente), a partes no infectadas, constituyendo así la denominada resistencia sistémica adquirida (RSA). Algunos compuestos que al parecer están involucrados en la RSA son el ácido salicílico, el ácido araquidónico, el ácido jasmónico y el etileno, los cuales a veces actúan concertadamente. La RSA actúa de manera inespecífica protegiendo contra un gran número de patógenos y es comúnmente activada luego de la expresión de una respuesta hipersensible. Se ha observado que en algunas especies, la exposición de una plántula a un solo tipo de patógeno (hongo, virus o bacteria), induce en pocos días resistencia a un amplio espectro de enfermedades de diversos orígenes, pero, curiosamente, la RSA no se puede inducir una vez se ha iniciado la floración. Se ha podido identificar un grupo de al menos nueve familias de genes que están involucrados en la RSA y entre sus productos de expresión están glucanasas, quitinasas y proteínas del tipo PR-1. También se sabe que en algunos patosistemas la RSA está mediada por actividad tipo lipooxigenasa y peroxidasa.

Esta resistencia generalizada es la situación defensiva vegetal más parecida a la inmunización que se presenta en los animales, si bien no usa células defensivas

móviles como los linfocitos y presenta otras diferencias importantes. Sin embargo, en algunos aspectos moleculares como el tipo de receptores y las señales intracelulares de transducción, hay sorprendentes similitudes entre la resistencia sistémica adquirida y el sistema defensivo animal, las cuales deben ser estudiadas en literatura especializada.

Un aspecto que ha sido muy estudiado en la RSA, es el tratar de dilucidar qué molécula señal es la que viaja desde el sitio primario de infección hacia el resto del cuerpo para activar la resistencia. Si bien inicialmente se creyó que el ácido salicílico era el mejor candidato, actualmente ha sido descartado en favor de una molécula de naturaleza lipídica, la cual no ha sido caracterizada. Este es uno de los campos de investigación que recibe más atención actualmente y será necesario aunar esfuerzos para poder dilucidar completamente la biología de la RSA.

Para terminar este tema, es importante mencionar que en plantas se ha detectado la presencia del mecanismo de silenciamiento del ARN, común también en animales y hongos, el cual es un proceso defensivo de control postranscripcional. Se basa en la detección e inactivación de secuencias foráneas de ARN, lo cual parece ser muy efectivo contra virus vegetales. Debido a propiedades como la especificidad, adaptabilidad a nuevos virus y su carácter sistémico, el silenciamiento de ARN se considera parte de un sistema inmunológico vegetal muy elaborado.

## **6. INMUNIDAD NATURAL DE LAS PLANTAS A PLAGAS. LAS FITOALEXINAS**

Las fitoalexinas son compuestos de bajo peso molecular con efecto antimicrobiano que se sintetiza y acumula en las plantas tras una exposición a microorganismos, por lo que juegan un importante papel en la defensa de las plantas tras un ataque de microorganismos patógenos.

Las fitoalexinas son compuestos antimicrobianos que se acumulan en algunas plantas en altas concentraciones, después de infecciones bacterianas o fúngicas y ayudan a limitar la dispersión del patógeno.

Tienen varias características interesantes:

- Se sintetizan muy rápido, en pocas horas después del ataque microbiano.
- Su formación está restringida a una zona local alrededor del sitio de infección.

- Son tóxicas a un espectro amplio de hongos y bacterias patógenas en plantas.

Frecuentemente más de una fitoalexina es sintetizada durante una interacción con el patógeno, en tales casos las fitoalexinas son comúnmente relacionadas biosintéticamente.

Las fitoalexinas son metabolitos secundarios sintetizados a partir de un direccionamiento de precursores del metabolismo primario, en función de la expresión de genes correspondientes a enzimas que participan en las rutas biosintéticas.

### 6.1 El papel de las fitoalexinas en la resistencia a fitopatógenos

Las principales funciones que se han descrito para considerar que las fitoalexinas juegan un papel importante en la defensa de las plantas son:

- 1) Son compuestos que se acumulan en respuesta a la infección.
- 2) Son compuestos que deben ser inhibidores del organismo invasor.
- 3) Son compuestos que se deben acumular a concentraciones inhibitorias en los alrededores del invasor cuando éste cesa su crecimiento.
- 4) Variaciones en la tasa de acumulación de la fitoalexina provoca la correspondiente variación en la resistencia de la planta.
- 5) Una variación en la sensibilidad del organismo invasor a la fitoalexina provoca la correspondiente variación en su virulencia.

Numerosos estudios demuestran la acumulación de fitoalexinas en respuesta a una infección y su poder inhibitorio para el organismo invasor. Resulta más difícil poder decir que concentración de fitoalexinas es necesaria para que se pueda tener este efecto inhibitorio.

En frijol se han descrito cerca de 16 tipos diferentes, las más conocidas son faseolina, faseolidina, faseolinisoflavona y kievitona.

En general las fitoalexinas son potentes antibióticos de baja especificidad, muchas son biocidas y otras tienen efectos bioestáticos.

Las razas de muchos microorganismos, particularmente los hongos muestran amplia variación en la sensibilidad, y frecuentemente las razas virulentas tienen mayor capacidad de detoxificación o tolerancia.

En el caso de las leguminosas, los compuestos antimicrobianos de la clase isoflavonoides son sintetizados a partir de L-fenilalanina vía una serie de enzimas

como la L-fenilalanina-amonialiasa (PAL), 4-coumarato: Coenzima A ligasa (4CL) y chalconasintasa (CHS) que controlan pasos importantes en las sub-rutas de síntesis. Comúnmente cada una de estas enzimas es codificada por una familia de genes, en las que se ha demostrado que la estimulación o la infección de células, induce a la vez la expresión de varios genes de la misma enzima.

Se ha señalado la existencia de tres genes PAL en frijol, detectándose hasta 11 isoformas de la enzima, lo que sugiere modificación post-traducciona, permitiendo diversas actividades catalíticas dependiendo de las situaciones ambientales de la planta.

La biosíntesis de las fitoalexinas por procesos biotecnológicos, requiere de la actividad de cierto número de enzimas que deben presentar una activación transcripcional selectiva y coordinada, esto es posible dado que presentan elementos secuencia en común en los promotores de los respectivos genes.

Las fitoalexinas son biocidas y afectan a las bacterias, hongos, nematodos, animales superiores y plantas. Además, se ha demostrado que algunas fitoalexinas de tipo flavonoide procedentes de legumbres tienen poder estrógeno.

A pesar de su amplia actividad, los organismos varían ampliamente en su sensibilidad a éstas. Así por ejemplo, las bacterias Gram-positivas son más sensibles que las Gram-negativas, las cepas más virulentas de los parásitos que atacan las plantas normalmente toleran mayores concentraciones de fitoalexinas que las menos virulentas. Estas diferencias se han atribuido a la mayor habilidad de las cepas más virulentas de degradar las fitoalexinas.

Las fitoalexinas son sustancias no específicas, que pueden atacar en diversos puntos. Cuando un hongo es tratado con una fitoalexina, su citoplasma rápidamente se granula y todo el contenido celular se pierde.

Una respuesta muy común de las plantas frente a ataques no víricos es la que se conoce como respuesta hipersensitiva. La respuesta hipersensitiva engloba diversos procesos que inician una o más reacciones de defensa, que incluyen la síntesis de fitoalexinas, procesos de lignificación, la producción de enzimas hidrolíticas como quitinasas y glucanasas así como la síntesis de glicoproteínas ricas en hidroxiprolina.

Cuando una célula está a punto de morir, se produce una despolarización de la membrana, se pierde el potencial de membrana y la célula muere. Todos estos síntomas son debidos a una disfunción de la membrana.

Hay 2 tipos de elicitores de la respuesta defensiva de las plantas: los bióticos y los abióticos. Muchos agentes físicos y químicos son elicitores muy efectivos. Se puede destacar por ejemplo las sales de metales pesados, la irradiación con rayos ultravioleta, una congelación parcial, radicales libres, y otros. En el caso que ocupa relacionado con las fitoalexinas, el proceso de elicitación ocurre en los cotiledones de las semillas que provoca la liberación de radicales libres.

Como conclusión, se podría decir que las fitoalexinas son compuestos antipatógenos de amplio espectro que pertenecen a un gran número de especies químicas y que provocan una inhibición del crecimiento del patógeno.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

El campo de la inmunología ha estado restringido a los vertebrados, sólo hace alrededor de 30 años se ha cambiado por completo la concepción de la existencia de un sistema inmunológico en las plantas, tema bastante controvertido actualmente; sin embargo, hay experiencias prácticas y resultados recientes de las investigaciones en este campo de la inmunología y biología molecular que sustentan la teoría de la existencia de inmunidad en plantas.

En la esfera Fitosanitaria se han conseguido los primeros éxitos, especialmente en el diagnóstico de enfermedades virales, tal es el caso de la enfermedad de la tristeza de los cítricos.

Un colectivo de noveles investigadores de la Universidad Autónoma de Querétaro, México, publicó (CIENCIA@UAQ, 2012) recientemente un artículo titulado "Relationship between plant immunology and food production" en el cual hacen una revisión y recopilación bibliográfica acerca del tema de la inmunología en plantas basado en las experiencias propias obtenidas y por científicos aseasonados de todo el mundo, que ha servido de material documentado para abordar esta temática tan importante y novedosa en el plano fitosanitario.

Hoy, después de 40 años de investigación en el campo de la inmunología, se puede afirmar que los invertebrados y las plantas, e incluso organismos procarióticos cuentan con un "sistema de protección" o inmune contra sustancias extrañas.

El caso del sistema inmune de las plantas se ha ido dilucidando de manera importante en los últimos 20 años, sugiriendo hoy en día, que su entendimiento y "manejo" durante el crecimiento y desarrollo de las plantas puede ser valioso con fines

de protección vegetal minimizando el empleo de agroquímicos (fertilizantes minerales) y agrotóxicos (plaguicidas), convencionales que son tóxicos para el ambiente.

Como productos de defensa importantes dentro del sistema inmune vegetal se encuentran una amplia gama de metabolitos primarios y secundarios, que presentan diversas actividades biológicas (bioactivos) de importancia antropocéntrica.

El sistema inmune vegetal se puede inducir mediante la exposición controlada de Factores Inductores de Metabolitos (FIMs), que proporcionan o generan Patrones Moleculares Asociados a Estrés de Plantas (PMAEPs) que son reconocidos como “extraños” por la célula vegetal y encienden el arsenal de defensa de la planta, incluyendo los metabolitos bioactivos mencionados.

En base a este contexto, se considera que una nueva forma de agricultura para el futuro, deberá incluir estrategias para el manejo de FIMs, de tal manera que los alimentos de origen vegetal contengan compuestos bioactivos de interés de manera controlada, y siendo además producidos de forma amigable con el ambiente.

Las plantas, como cualquier ser vivo, se encuentran en constante desafío en su hábitat que les ocasiona una inducción diferenciada de su sistema natural de defensa. La Inmunología, en un sentido estricto, es la rama de la Biología y de las Ciencias Biomédicas que se ocupa del estudio del sistema inmunitario, que en los vertebrados tiene como función reconocer elementos extraños o ajenos dando una respuesta de defensa.

Existe un sistema inmune innato y otro adquirido o adaptativo, teniendo diferencias importantes en cuanto a la especificidad y memoria de la respuesta ante un agente extraño. Tradicionalmente el concepto de Inmunología se ha aplicado a vertebrados, pero hay evidencia de los últimos 20 años de que en las plantas existe un sistema análogo que recuerda funciones específicas identificadas en la Inmunología de vertebrados.

Este “Sistema Inmune Vegetal (SIV)” responde a cambios o perturbaciones en la estructura celular ocasionados por microorganismos (patógenos, simbióticos o de vida libre), la aplicación de sustancias químicas exógenas de diverso origen (elicitors), fertilización, o bien, a estrés de tipo abiótico (sequía, salinidad, temperatura extrema).

Los factores mencionados que generan esos cambios en la estructura de células vegetales se propone se denominen como “Factores Inductores de Metabolitos (FIMs)”. Lo anterior debido a que estos factores al ser reconocidos por las plantas,

desencadenan rutas de señalización molecular que cambian los patrones de expresión de genes (transcriptoma), que se reflejan en cambios de expresión de proteínas (proteoma), y que finalmente generan un perfil de diversos metabolitos primarios y secundarios (metaboloma), para dar respuesta al factor estimulante inicial.

Estos metabolitos, además de ser parte del arsenal bioquímico de la planta, presentan actividades biológicas de interés antropocéntrico tales como: antimicrobianas, anticancerígenas, antimutagénicas, antioxidantes, antidiabéticas, entre otras. Así, en base a lo anterior, se considera la posibilidad de que el conocimiento del funcionamiento del SIV, para su posible manipulación, deberá contribuir a producir alimentos de origen vegetal con un contenido controlado de metabolitos bioactivos de interés para el hombre, entre ellos las fitoalexinas.

Se podría decir que las fitoalexinas son compuestos antipatógenos de amplio espectro que pertenecen a un gran número de especies químicas y que provocan una inhibición del crecimiento del patógeno.

### 7.1 Simbiosis micorrízica en autodefensa de las plantas

Entre las aplicaciones más recientes atribuidas a las micorrizas, en particular a las MVA, se encuentra la participación como elicitoras de semioquímicos en las plantas, entre ellos de Fitoalexinas y otros compuestos químicos que intervienen en mecanismos de inmunidad inducidas en las plantas.

Numerosos estudios muy recientes demuestran la capacidad de las micorrizas de inducir la producción y acumulación de fitoalexinas en las plantas y dar un respuesta acertadas frente a una infección causada por fitopatógenos y su poder inhibitorio para el organismo invasor. Resulta aun difícil poder decir bajo qué condiciones y concentración de fitoalexinas es necesaria para que se pueda tener este efecto inhibitor. Las investigaciones en este campo recién comienzan; no obstante, constituye objeto de interés particular de este autor presentar más adelante en esta obra los aportes de experiencias propias al respecto.

#### **FUENTES CONSULTADAS:**

- Katia Ojito-Ramosy Orelvis Portal 2010. Introducción al sistema inmune en plantas. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Agropecuarias e Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central

'Marta Abreu' de Las Villas. Cuba. *Biotecnología Vegetal* Vol. 10, No. 1: 3 - 19, ISSN 1609-1841 (Versión impresa) ISSN 2074-8647 (Versión digital)

- Pérez-Ortega E., Blanca M. de la Noval, Martínez B., Torres W., Aida Medina, Annia Hernández, y Ondina León 2015. Inducción de mecanismos de defensa en plantas de tomate (*Solanumlycopersicon* L.) micorrizadas frente al ataque de *Oidiopsisistaurica* (Lev) Salm. Cultivos Tropicales Vol. 36 No. 1, pp. 98-106. ISSN impreso 0258-5936 ISSN digital 1819-4087

- Zipfel, C (2008) Pattern-recognition receptors in plant innate immunity. *Current Opinion in Immunology* 20: 10-16

- Boller, T y He ShY (2009) Effectors in microbial pathogens pattern recognition receptors in plants and innate immunity in plants: An arms race between. *Science* 324: 742-44

- He, P, Shan L y Sheen J (2007) Elicitation and suppression of microbe-associated molecular pattertriggered immunity in plant-microbe interactions. *Cellular Microorganismology* 9: 1385-96

- Kormanik P. & McGraw A. 1987. Quantification of vesicular–arbuscularmycorrhizae in plant roots. In: Schenck NC (ed) *Methods and principles of mycorrhizal research*. American Phytopathological Society. 37-45.

- Schwessinger, B yZipfel C (2008) News from the frontline: recent insights into PAMP-triggered immunity in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 389-395 *Biotechnología Vegetal* Vol. 10, No. 1, 2010.

CASO DE ESTUDIO: Experiencias de ensayos de inducción de autodefensa en plantas cultivadas con MVA del género *Glomus*.

F.A. Simóny G. Dierksmeier\*(in memoriam). Conferencia presentada y publicada en:

- VI Conferencia internacional de investigación multidisciplinaria CII'2021 UIDE 27-29 de julio 2021. En edición revista INNOVA ResearchJournal de Arizona StateUniversity.

- XIII Congreso internacional de Agronomía 21-23 de septiembre 2021. En edición revista de investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA. [www.CIDECUADOR.org](http://www.CIDECUADOR.org)



**RESUMEN:** Las investigaciones sobre respuesta defensiva de las plantas ante la presencia de patógenos es muy pobre y muchos aspectos no son aun entendidos. Durante la década de los 90 del siglo pasado, muchas investigaciones se encaminaron a estudiar las interacciones moleculares y bioquímicas que tienen lugar en la interacción planta-patógeno. Las plantas a diferencia de los animales, son organismos sésiles que carecen de un sistema circulatorio, de células móviles para la defensa y de un sistema inmune adaptativo; además, están sujetas al cambio de condiciones ambientales, incluyendo el constante ataque de agentes patógenos; sin embargo, poseen mecanismos de defensa que van desde barreras físicas (películas de cera en la superficie de sus órganos, paredes celulares rígidas, etc.), hasta potentes mecanismos moleculares de resistencia en cada célula y señales sistémicas provenientes del sitio de la infección que tienen marcadas similitudes con la inmunidad innata de los animales. En base al conocimiento que se está generando al respecto, se espera en un futuro contribuyan a una disminución considerable del uso de plaguicidas.

## 8. INTRODUCCION

Katia Ojito-Ramosy Orelvis Portal, en su amplia revisión documentada acerca del sistema inmune en plantas, dan una panorámica muy esclarecedora de estos principios que sustentan la autoinmunidad de las plantas, elementos en los que se basa la presente investigación y publicación.

Las autoras refieren, que para que se produzca el proceso de infección, la mayoría de los patógenos deben tener acceso al interior de la planta, penetrando la hoja o la superficie de la raíz, de manera directa o entrando a través de heridas o aberturas naturales como los estomas. Una vez en el interior de la planta, los microorganismos se enfrentan con otro obstáculo: la pared celular de célula vegetal; por tanto, la penetración de la pared celular expone la membrana plasmática del hospedante al microorganismo, donde se encuentran los receptores superficiales extracelulares que reconocen los PAMPs (del inglés: *pathogen-associated molecular pattern*). Las plantas detectan inicialmente los microorganismos a través de la percepción de los PAMPs situados en la superficie celular.

Como consecuencia a lo anterior expresado, las respuestas intracelulares asociadas a la PTI son se dejan esperar, incluyen una rápida difusión de iones a través

de la membrana plasmática, la activación de la cascada de proteínas MAPK (del inglés: *mitogen-activated protein kinase*), la producción de especies reactivas del oxígeno, rápidos cambios en la expresión de genes y un reforzamiento de la pared celular<sup>35,36</sup>.

A pesar de la efectividad de todos estos mecanismos moleculares que se han descrito anteriormente, existen muchos patógenos exitosos que han desarrollado factores de virulencia para evadir o suprimir la PTI, como pueden ser, incluyendo fitotoxinas, polisacáridos extracelulares y efectores proteicos, la mayoría de los cuales secretados por estos microorganismos.

En base al conocimiento que se está incrementando sobre el funcionamiento del SIV, se empiezan a generar datos que se espera en un futuro contribuyan no solo a una disminución en el uso de plaguicidas tradicionales en la agricultura altamente contaminantes para el ambiente, sino también en la producción “controlada” de metabolitos con actividad biológica de interés para industrias como la de los alimentos, farmacéutica, biotecnológica, agroquímicos, entre otras. Es factible esperar que se llegue a relaciones precisas de dosis y oportunidades de aplicación de FIMs para incrementar específicamente metabolitos de interés.

Finalmente, la agricultura del futuro deberá utilizar este conocimiento para generar compuestos bioactivos de interés, así como la tecnología de ambientes protegidos para que éstos sirvan como “Biofábricas” para producir alimentos con mejores características bioactivas y amigables con el ambiente.

Se deben señalar las limitaciones actuales de estas técnicas ya que muchos procesos teóricamente posibles no son todavía técnicamente factibles o practicables; es decir, su desarrollo se produce lentamente y con alto riesgo respecto a los éxitos alcanzables.

Para la protección de las plantas y el desarrollo de productos adecuados, seguramente todavía tendrá primacía la química analítica y la síntesis orgánica, por lo menos deberán rebasar algunos años, incluso en años posteriores ambas disciplinas, la Química y la Biotecnología tendrán que complementarse; además, actualmente aún no puede preverse totalmente qué repercusiones puede tener la manipulación específica de procesos biológicos en particular de genes en la estructura de especies y variedades, tanto en el reino de los microorganismos como en el de los animales y de las plantas. También se han de considerar aspectos ético-morales, por ejemplo, se consolidan hoy en el mundo grupos con fuerte respaldo -

incluso político - contrarios a la manipulación genética, que por medios jurídicos intentan frenar esta evolución inhibiendo las funciones celulares.

Es conocida la tendencia actual a disminuir el uso de plaguicidas de cualquier tipo y, por tanto, su incidencia negativa sobre el suelo y el hombre. El uso de productos de origen biológico en la agricultura ha alcanzado gran auge en los últimos años, estimulando el rendimiento de las plantas y la productividad de los cultivos a través de la producción de biofertilizantes, que sustituyan las sustancias químicas contaminantes.

Teniendo en cuenta esa tendencia los hongos micorrízicos arbusculares (MVA) han recibido una especial atención en las últimas décadas, primeramente por encontrarse de manera natural en los ecosistemas y establecer una simbiosis mutualista con la mayoría de las plantas de interés económico y luego, por influir positivamente en la nutrición del hospedero, su estado fisiológico y su disposición para enfrentar el ataque de diversos patógenos.

Entre los hongos fitopatógenos que afectan al cultivo de las hortalizas se encuentran los conocidos tizones de los géneros *Alternaria* y *Phythora*, cuya incidencia se ha visto aumentada por el cambio climático que ha producido inviernos más cálidos y húmedos. Estos patógenos son favorecidos en condiciones de humedad relativa del 70% y temperaturas de entre 10 y 35°C, con un óptimo de 25°C, condiciones ambientales promedio en las que se desarrollan en las regiones tropicales y subtropicales.

Teniendo en cuenta lo antes planteado, y los resultados recientes de experimentos desarrollados por un colectivo de investigadores del Centro Nacional de Sanidad Vegetal (CENSA) de Cuba, considerando que los simbiontes micorrizosfericos MVA bioprotectores contra patógenos radicales fundamentalmente se centra su atención en su capacidad bioprotectiva contra patógenos foliares, por lo que basado en estos estudios se realizó esta investigación con el objetivo de evaluar la respuesta de tres especies de MVA, en diferentes cultivos agrícolas frente al ataque foliar de un grupo de fitopatógenos fungosos y víricos de interés fitosanitario y repercusión económica.

### Planteamiento de problema de investigación.

Las experiencias prácticas propias del ensayo de inducción de autodefensa se basó en la inoculación de simbiontes micorrizosfericos vesiculos-arbusculares (MVA) a plantas cultivadas.

### Metodología

La investigación se llevó a cabo en un polígono de pruebas y ensayos del laboratorio de Sanidad Vegetal en la Estación Experimental Mutile perteneciente a la Facultad Agropecuaria de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas. El clima donde se llevó a cabo la investigación mantuvo una temperatura que osciló entre los 23 a 29°C., según datos del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), y la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, mostraron un período de mayor intensidad en los meses de enero a julio; donde las precipitaciones medias mensuales máximas ocurrieron de febrero a marzo. Los experimentos en paralelo se condujeron utilizando un diseño bifactorial completamente aleatorizado con tres réplicas y dos repeticiones.

Los casos de estudio fueron cultivos hortícolas y semi-perennes. El experimento de hortalizas en se llevó a cabo en sistemas organopónico transcurrió como Factor A (Cultivos) con 2 variantes correspondientes con los cultivos de tomate (*Solanumlycopersicun,L.*), y pimiento (*Capsicumannun*). El experimento con cultivos semi-perennes tuvo como Factor A, 3 variantes: plátano (*Musa spp.*), papaya (*Carica papaya*) y piña (*Ananascomosus*) en parcelas de campo de forma tradicional.

El (Factor B) en ambos experimentos con 4 variantes correspondientes a 3 especies de simbiontes micorrizosférico del género *Glomus*: *G. intrarradices*, *G. fasciculatum* y *G. mosseae* y un testigo.

### Siembra de plántulas en parcelas.

Las plántulas de tomate y pimiento obtenidas del semillero se realizaron entre los 20 - 25 días tras verificar que todas tuvieran la tercera hoja verdadera. Para el cultivo de papaya la siembra se realizó a partir de plántulas en vivero que contaban con una altura promedio de 10cm; procediéndose en ambos casos a su trasplante en el polígono de pruebas de Sanidad Vegetal. El cultivo de plátano se fomentó a partir de cormos y la piña de hijuelos.

### Inoculación de las plántulas con los simbiontes micorrizosfericos.

La inoculación de los cultivos, se realizó por separado con las tres especies de HMVA ensayadas, directamente al suelo en la zona de goteo inmediatamente a la siembra, empleando biopreparados micorrízicos compuesto por suelo estéril con 10% de materia orgánica de humus de lombriz obtenidas *in situ* y raíces infestadas troceadas con un 60 % de infección interna, además de esporas MVA de resistencia en distintos estadios de desarrollo (50 esporas+10 esporocarpos/10 g de suelo), siguiendo el procedimiento de Simón<sup>5,7</sup>.

### Comprobación del grado de micorrización de las plantas inoculadas.

El aislamiento y comprobación del grado de micorrización de las plantas inoculadas se efectuó en el caso de las hortalizas (tomate y pimiento) a los 90 días de inoculadas, y de los cultivos semi-perennes a los 180 días, lo cual permitió determinar el grado de infección micorrízica alcanzado siguiendo el procedimiento de Camprubí et al. (1987). Para ello, se realizó el aislamiento en etapas sucesivas mediante una selección inicial de esporas, observaciones periódicas de las que se formaron en simbiosis con las raíces de la planta hospedera.

Las raíces se clarificaron y tñieron para observar la presencia de infección micorrízica en el córtex radicular siguiendo el procedimiento de Phillips y Hayman reportado en 1970. Al final de este proceso, se procedió a las observaciones y mediciones microscópicas.

Se montaron las raíces en placas de vidrio con unas gotas de lactoglicerol, utilizado para la decoloración y conservación de las raíces; observándose, luego al microscopio óptico algunas de las principales estructuras de las micorrizas, tales como vesículas, arbuscúlos, hifas a un lente objetivo de 10X, en algunos casos fue preciso lentes 40X para mejor observación de las estructuras.

Mediante observaciones al microscopio óptico de raíces clarificadas y tñidas según se describe con anterioridad, se evaluó la disposición, forma y tamaño arbusculo-vesicular utilizando las claves de Abbott y Robson<sup>40</sup>, que aparecen referidas en el compendio de Collins y Pflieger<sup>41</sup> como se detalla a continuación:

- Cálculo del porcentaje de colonización.

Se tomó una lámina porta objetos lisa y se colocaron bajo microscopio óptico con ocular micrométrico o cámara de Neubauer colocándose paralelamente sobre el portaobjeto fragmentos de raíces cortados en trozos de 1 hasta 2cm. Las

observaciones se realizaron con un lente objetivo de 4x y se contaron los campos colonizados. Se calculó el porcentaje de micorrización utilizando las siguientes fórmulas:

- GM (%): Grado de micorrización (%): Área radicular micorrizada (%)
- LRC (%): Longitud de Raíz Colonizada: segmentos colonizados/segmentos evaluados expresado en (%)
- Pi (%): Potencial de inóculo o Cobertura de cuerpos fructíferos: Total de cuerpos fructíferos: esporas, esporocarpios, hifas/cm<sup>2</sup> de raíz
- CI (%): Capacidad infectiva unitaria (%): dada por la relación GM/Pi

#### Comportamiento de Epifitias del complejo biológico nocivo de fitopatógenos incidentes en los cultivos ensayados.

La valoración de cómo esta inoculación propició la estimulación de mecanismos de defensa se sustentó en el comportamiento comparativo de las epifitias (curvas epifitológicas) de sus principales agentes fitopatógenos en particular de los hongos *Alternariasolani*, *Phythothorainfestans*, *P. parasítica*, *Colletotrichumcapsici* y *Mycosphaerellafijiensis* y el complejo vírico que afecta a la papaya.

El comportamiento de las respectivas epifitias: en tomate: *A.solani* y *P. infestans* en Pimiento: *C. capcisi*; en plátano: *M. fijiensis*, en papaya: el complejo vírico de la papaya y en la piña: *P. parasítica*, infestadas de forma natural, se evaluaron según los síntomas que las caracterizan a través de las respectivas escalas de daños descritas en catálogos con las descripciones de las manifestaciones de cada uno por cultivos. El cálculo de los índices de infestación del complejo de fitopatógenos se realizó mediante la fórmula clásica de Townsend-Heuberger.

$$I.Inf (\%) = \sum (nxc)/NxK \times 100$$

donde:

n= número de órganos subterráneos afectados

c= categoría del daños según la escala

N= tamaño de muestra

K= último grado de la escala.

### Determinación analítica del contenido de extracto crudo de Fitoalexinas por métodos espectrofotométricos (UV e IR)

En la presente investigación se determinó el contenido bruto del complejo bioquímico de Fitoalexinasglicoalcaloide presentes en el material vegetal ensayado, escogiendo en este caso exclusivamente los cultivo de solanáceas, por disponerse suficiente información científico técnica de las características de las solaninas a las que pertenecen las fitoalexinas de interés.

Se procedió de forma similar a los procedimientos de determinación de nicotina mediante una previa saponificación del material vegetal y posterior destilación por arrastre de vapor para luego realizar las determinaciones espectrofotométricas tanto UV como IR. Esta última de forma referativa y comprobatoria de la presencia de dichos metabolitos.

El método de extracción fue el sugerido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) adaptado a las condiciones de trabajo.

Para el análisis cuantitativo por espectrofotometría UV, se utilizó un Espectrofotómetro Ultravioleta/Visible SHIMADZU UV-1601 de doble haz, acoplado a una computadora con el software correspondiente para el análisis por derivadas sin requerir de una corrección de fondo. Se empleó un estándar interno utilizando un patrón puro de clorhidrato de nicotina, con una densidad de 1,01 g/ml y una pureza (CG) del 99,3%, suministrada por el Departamento de Toxicología del Instituto Nacional de Investigaciones de Sanidad Vegetal de la ciudad de la Habana, lugar donde se efectuaron las corridas cromatográficas y espectrofotométricas.

La confirmación de la presencia de fitoalexinas se llevó a cabo por espectroscopia de infrarrojos (FT-IR). Las comparaciones de los espectros IR experimentales se realizaron con el espectro del estándar y el espectro computacional. Las muestras resultantes del aislamiento fueron re disueltas en 5mL de diclorometano. Se tomó con un gotero la muestra y se colocaron 2 gotas en el porta-muestra del equipo FT-IR Perkin Elmer modelo BTXII para su análisis.

Los resultados están expresados en mg/L y % de alcaloides totales como nicotina.

## 9. RESULTADOS

En todos los casos *G. intrarradices* mostró el mejor comportamiento inductor de autoprotección de los cultivos, repercutiendo a su vez en los rendimientos de cada uno con más del 33 % de incremento respecto a las plantas testigos no inoculadas.

Las muestras tomadas por cada variante inoculadas con MVA, mostraron evidencias fehacientes de su colonización mediante los análisis efectuados para su detección y caracterización siguiendo los protocolos y procedimientos establecidos.

**Tabla 1** – Resultados obtenidos de micorrización de los cultivos hortícolas a los 90 días de inoculados con los tres endófitos MVA seleccionados a un 5% de significación.

CULTIVOS	<i>G. intrarradices</i>		<i>G. fasciculatum</i>		<i>G. mosseae</i>	
	GM(%)	Ci=GM/Pi	GM(%)	Ci=GM/Pi	GM(%)	Ci=GM/Pi
Tomate	27 <sup>c</sup>	0.54 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>	0.54 <sup>c</sup>	17 <sup>b</sup>	0.34 <sup>b</sup>
Pimiento	39 <sup>b</sup>	0.78 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>	0.62 <sup>b</sup>	19 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>

**Tabla 2** – Resultados obtenidos de micorrización de los cultivos semi-perennes a los 90 días de inoculados con los tres endófitos MVA seleccionados a un 5 % de significación según la prueba de Duncan.

CULTIVOS	<i>G. intrarradices</i>		<i>G. fasciculatum</i>		<i>G. mosseae</i>	
	GM(%)	Ci=GM/Pi	GM(%)	Ci=GM/Pi	GM(%)	Ci=GM/Pi
Plátano	47 <sup>a</sup>	0.94 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>
Papaya	44 <sup>a</sup>	0.88 <sup>ab</sup>	44 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	39 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>
Piña	38 <sup>b</sup>	0.76 <sup>b</sup>	41 <sup>a</sup>	0.82 <sup>a</sup>	21 <sup>b</sup>	0.42 <sup>b</sup>

Los cultivos de ciclo corto como hortalizas, mostraron menor grado de micorrización respecto a los cultivos semi-perennes (Tablas 1 y 2). Entre ambas hortalizas el tomate fue menos beneficiado respecto al pimiento (Tabla 1), debido precisamente a que su ciclo culmina antes de completar el período infectivo de las MVA; la diferencia entre ambos se atribuye a la diferencia de las características botánicas; no obstante se consideran aceptables y satisfactorios al igual que en los restantes cultivos; por tanto, en todos los casos las condiciones fueron propicias para que se produzca la estimulación y producción de elicitores tipo Fitoalexinas,



destacándose la especie *G.intrarradis*, seguida por *G. fasciculatum* como más promisorias por grado de micorrización, con diferencias significativas entre las tres especies ensayadas, evidencias que se muestran en las tablas 1 y 2.

En correspondencia con lo antes expuestos, los cultivos hortícolas de tomate y pimiento mostraron un menor efecto auto protector respecto a los cultivos semiperennes tal como se muestra en las figuras 1 y 2.

Entre los fitopatógenos, los microorganismos *Phythora Infestans* y *Colletotrichum Capsici*, resultaron poco favorecidos en cuanto a su autocontrol por efecto de la micorrización según se evidencia en la figura 3.

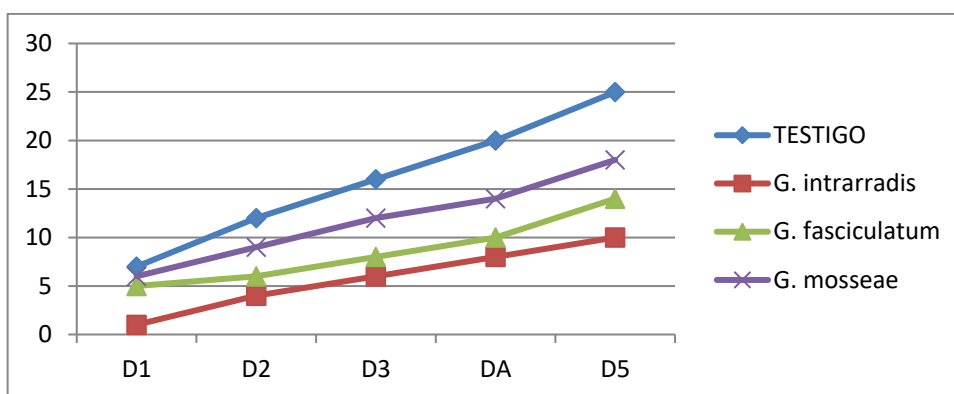


Fig. 1ª. Cultivo de tomate infestado con *Alternariasolani*.  
 Leyenda: Eje X (absisas) D evaluaciones decenales  
 Eje Y (ordenada) Índice de Infestación (%) del fitopatógeno

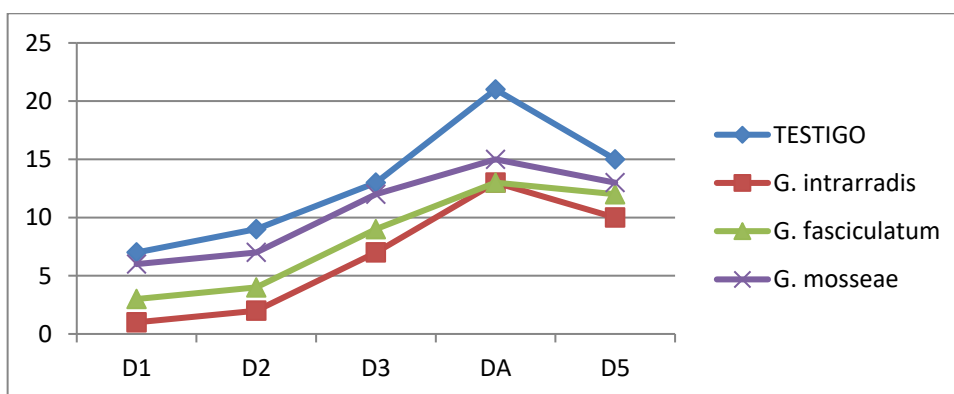


Fig. 1º. Cultivo de tomate afectado con *Phythothorainfestans*.

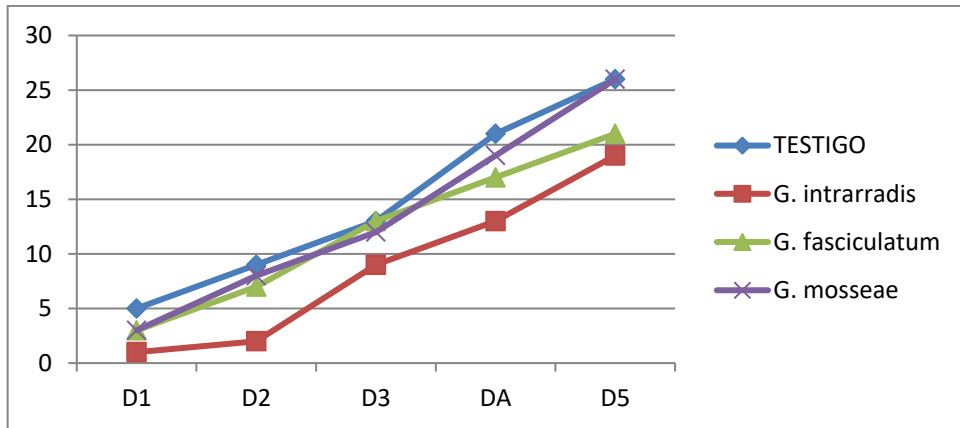


Fig. 1<sup>c</sup>. Cultivo de Pimiento afectado por *Colletotrichum capsici*

Figuras 1<sup>abc</sup>. Cultivos hortícolas afectados por fitopatógenos y respuesta auto protectora de simbiontes micorrizosfericos.

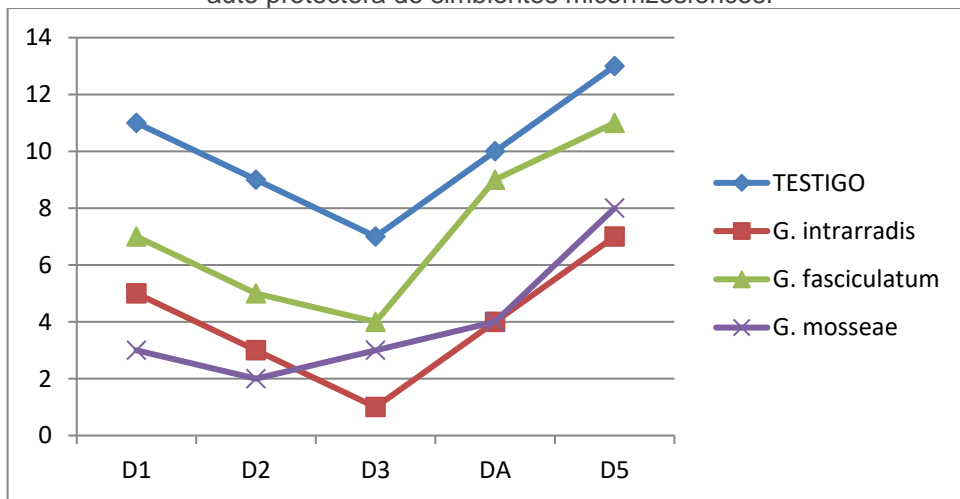


Fig. 2<sup>a</sup> Cultivo de plátano infestado por *Mycosphaerella fijiensis*

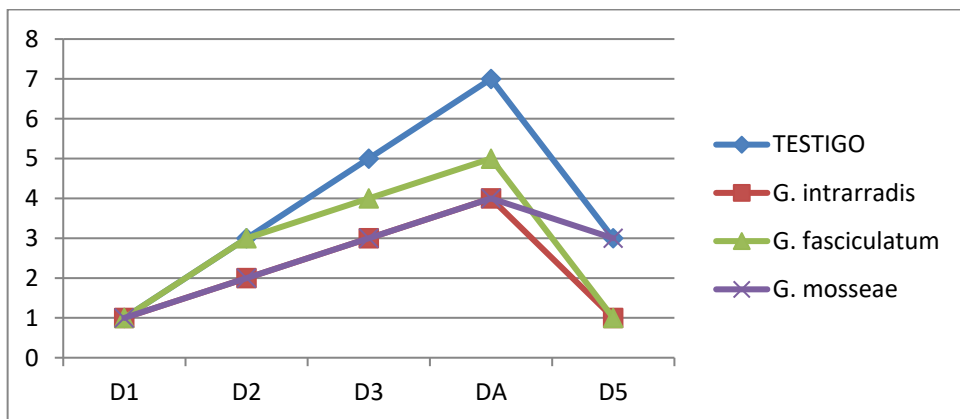
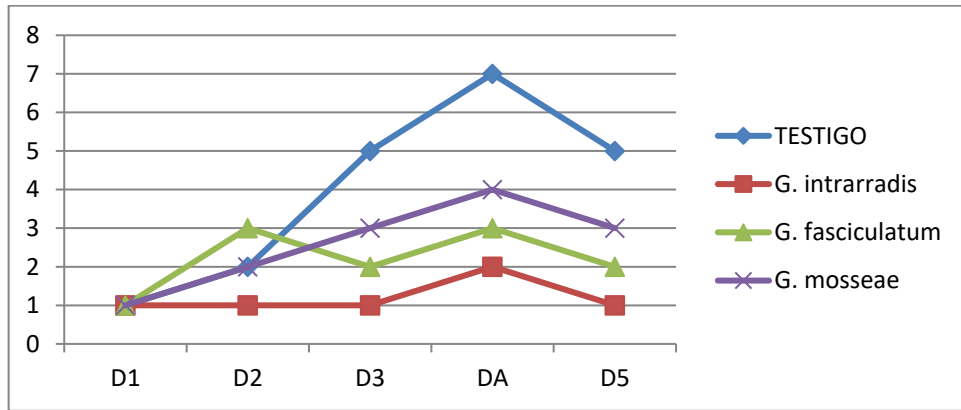
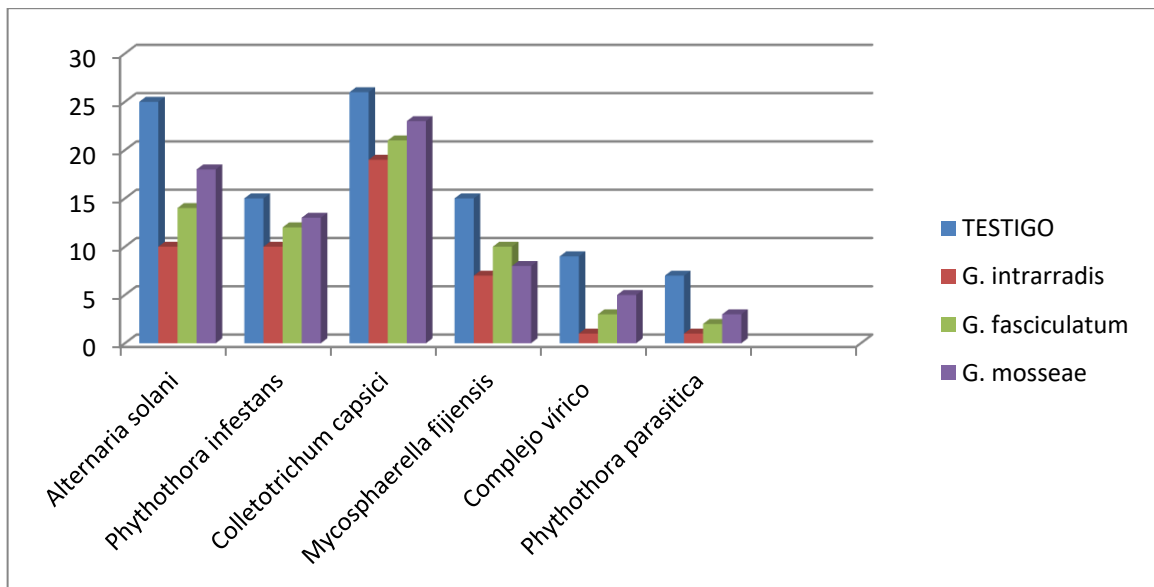


Fig. 2<sup>b</sup> Cultivo de papaya infestado por su complejo vírico

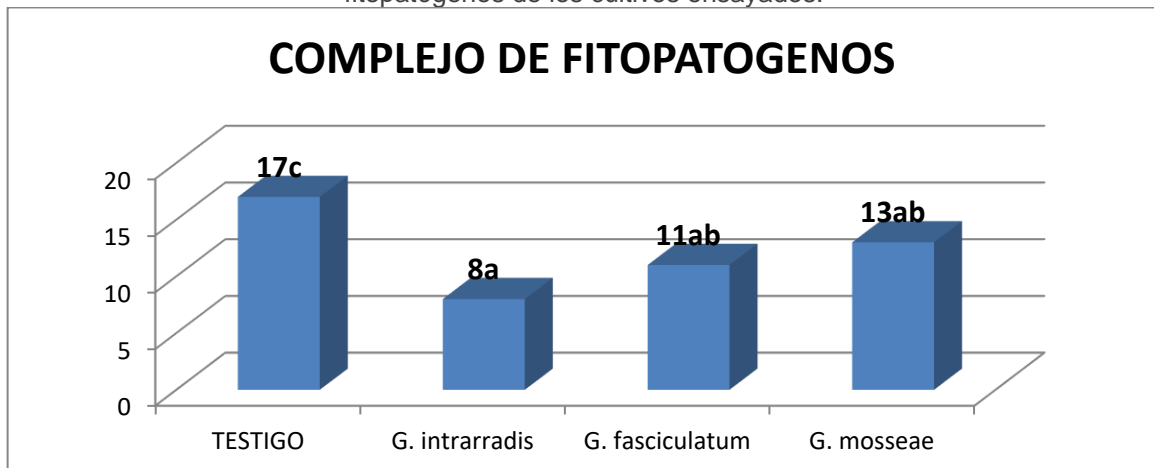
Fig. 2<sup>c</sup>. Cultivo de piña infestado por *Phythora parasítica*  
 Figuras 2<sup>abc</sup>. Cultivos de plátano, papaya y piña afectados por fitopatógenos y respuesta auto protectora de simbiontes micorrizosfericos.



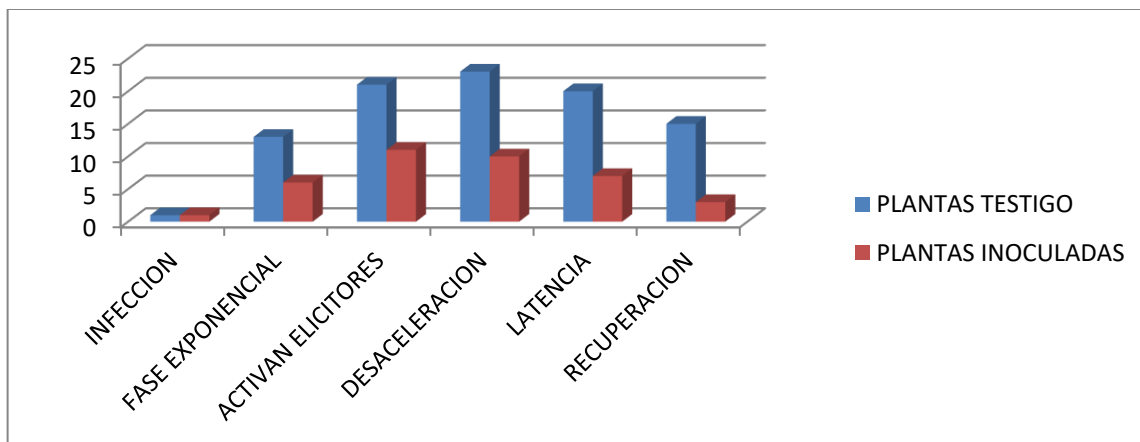
**Figura 3** – Comportamiento de fitopatógenos ante respuesta autoprotectora de simbiontes micorrizosfericos.



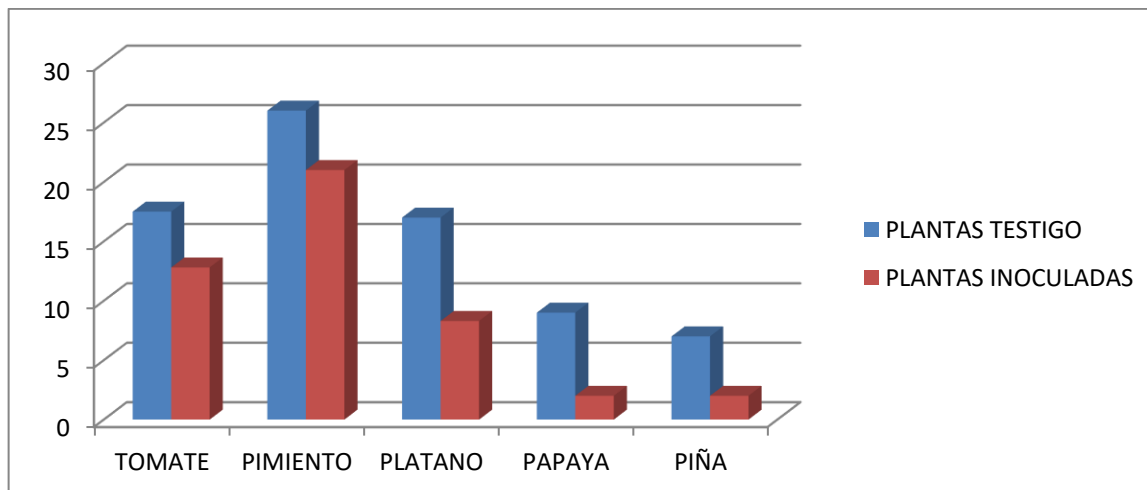
**Figura 4** – Comportamiento de simbiontes micorrizosfericos ante el complejo biológico nocivo de fitopatógenos de los cultivos ensayados.



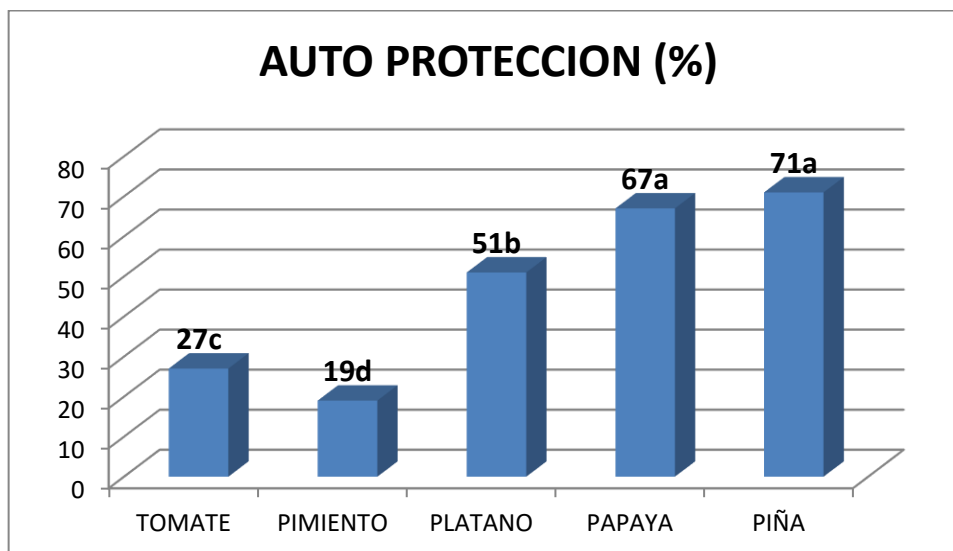
**Figura 5** – Diferentes fases inductoras de auto protección de simbiontes micorrizosfericos ante el complejo biológico nocivo de fitopatógenos en los cultivos ensayados.



**Figura 6** – Índice de infestación de plantas de cultivos inoculados con MVA respecto a testigos



**Figura 7** – Auto protección de cultivos inoculados con simbiontes micorrizosfericos del género Glomus



El Comportamiento auto protector de los simbiontes micorrizosfericos MVA ante el complejo biológico nocivo de fitopatógenos de los cultivos ensayados, acorde a la figura 4, resultó la mejor variante con diferencias significativa la especie *G. intrarradis*, seguida por *G. fasciculatum* y *G. mosseae* sin diferencias entre ambas, y todas con diferencias altamente significativas respecto al testigo.

Se propone el esquema (figura 5) como las fases en que transcurren los mecanismos de auto protección inducidos por elicitores, basado en la evolución y comportamiento de las epifitias, aunado al comportamiento de la cinética en que transcurre el proceso bioquímico de formación del complejo de Fitoalexinas determinado por espectrometría UV; para ello, se procedió a semejanza de las determinaciones analíticas de elicitores según Boller, T y He ShY (2009), a la saponificación del macerado vegetal y la obtención del extracto crudo de Fitoalexinas y su posterior cuantificación utilizando como estándar interno un patrón analítico puro de clorhidrato de nicotina (SIMÓN *et al.*, 2021).

El comportamiento cinético obtenido, representado de forma global en la figura 8, permitió integrando ambos resultados postular que existen al menos 6 fases auto protectora de los simbiontes micorrizosfericos ante el complejo biológico nocivo de fitopatógenos de los cultivos ensayados, a partir de la inoculación artificial del fitopatógeno.

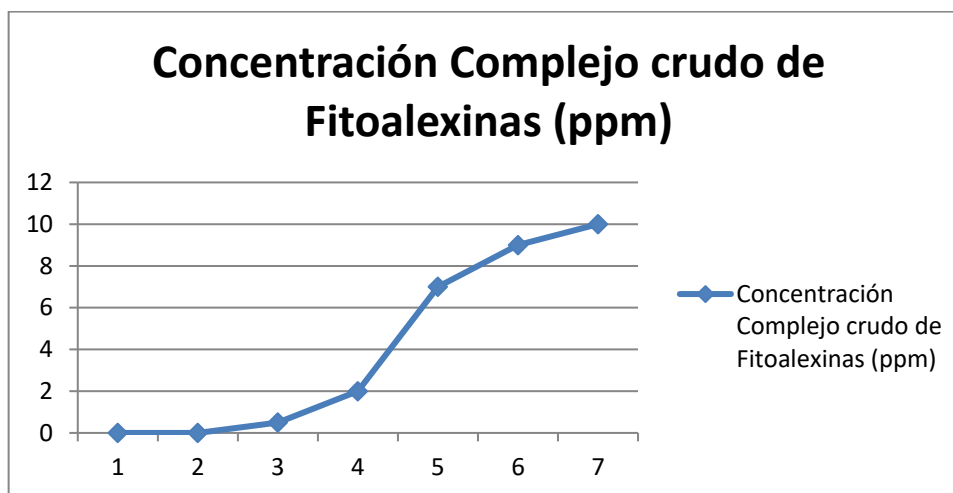
La figura 9, con cierta aproximación, muestra el comportamiento a través de las diferentes fases auto protectora inducida por los simbiontes micorrizosfericos ante el complejo biológico nocivo de fitopatógenos de los cultivos ensayados.

Estas fases a saber: (1) inicio de la infección, denominada iniciación de la infección; (2) fase exponencial de la infección, en la cual las plantas no están del todo preparadas para enfrentar la infección; (3) Activación y producción de elicitores; es la fase más importante que puede ser medible y controlable mediante determinaciones analíticas de ciertas moléculas reconocibles conocidas por Fitoalexinas, existiendo actualmente plantas como modelos biológicos dentro de las familias de las solanáceas, como tomate y tabaco y las leguminosas que han permitido realizar estudios cinéticos de la producción de fitoalexinas.

Las restantes fases: (4) desaceleración del proceso infectivo; (5) latencia y (6) recuperación, transcurre mucho más rápido según los autores antes mencionados, así que la fase limitante (3) es precisamente la relacionada con la activación y producción

de elicitors; por ello, los estudios de actualidad se centran en cómo activar esta fase para hacerla más corta y más pegada al inicio de la infección.

**Figura 8** – Curva cinética bioquímica de formación del complejo crudo de Fitoalexinas (ppm) por Espectrometría UV, utilizando como estándar interno clorhidrato de nicotina



En el presente ensayo, en sentido general según se aprecia en la figura 6, los índices de infestación de sus correspondientes fitopatógenos registrados en los cultivos inoculados con MVA respecto a testigos, muestran un grado de autoprotección considerable, con resultados incluso sorprendentes como los casos de los tres cultivos semiperennes, que rebasan el 50 %, incluso valores cercanos al 70% de autoprotección tal como se muestra en la figura 7.

## 10. CONSIDERACIONES FINALES

A partir de la década de los 90 del siglo pasado, muchas investigaciones se encaminaron a estudiar las interacciones moleculares y bioquímicas que tienen lugar en la interacción planta-patógeno, pero queda un largo trecho por investigar cómo acelerar este proceso de activación de elicitors que eviten que las respuestas autoinmunes sean demasiado tardías cuando ya el fitopatógeno ha deteriorado en gran magnitud a las plantas cultivadas, máxime por tratarse de organismos sésiles que carecen de un sistema inmune adaptativo sujetos al cambio de condiciones ambientales, incluyendo el constante ataque de agentes patógenos.

A juicio propio, sin embargo, en los últimos años del presente milenio se han dado pasos importantes aunque no todos los que necesariamente se requieren.

En base al conocimiento que se está generando al respecto, se espera en un futuro contribuyan a una disminución considerable del uso de plaguicidas y alcanzar un mayor protagonismo en cuanto a la autoprotección de los cultivos que minimicen la aplicación de medios de combate de las plagas y enfermedades en las plantas, incluso se alcancen mayores rendimientos en la producción de alimentos.

Como se hizo referencia, las investigaciones al respecto apenas comienzan, sirvan estas experiencias como un modesto aporte a la Fitosanidad 4.0 que se gesta.

## 11. CONCLUSIONES

En la presente publicación, a pesar que se obtuvo evidencias fehacientes marcadas sobre respuesta defensiva de las plantas ante la presencia de patógenos, las investigaciones apenas comienzan, las evidencias aún son escasas y muchos aspectos no están totalmente claros ni bien definidos; no obstante, de lo obtenido en la presente se concluye:

- Se logró un alto grado de micorrización en todos los cultivos, en particular en los semi-perennes, con mejores resultados respecto a *G. intrarradices*.
- Se evidenció un alto grado de autoprotección, con resultados incluso sorprendentes como los casos de los cultivos semiperennes, que rebasan el 50 %, incluso valores cercanos al 70 % de autoprotección.
- Se postula que existen al menos 6 fases en que transcurren los mecanismos de auto protección inducidos por elicitores atendido al comportamiento epifitológico de los fitopatógenos incidentes en correspondencia a la cinética de formación de Fitoalexinas.

## BIBLIOGRAFIA

Abbott, L. & A. Robson 1979. A quantitative study of the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with reference to its taxonomy. *Aust. J. Bot.*, 27: 363-375

**Agrios GN.** 2004. *Plant pathology*, 5 ed. Elsevier Academic Press, San Diego, E.U.A.

Zipfel, C (2008) Pattern-recognition receptors in plant innate immunity. *Current Opinion in Immunology* 20: 10-16

Camprubi, A.; C. Calvet; V. Estaun y J. Pera 1987. Aislamiento de un hongo formador de micorrizas vesículo-arbusculares y ensayo de su efectividad en Crisantemo y Fresa. *Invest. Agr.: Prod. & Prot. Veg.* 2(3): 281-294.

Castillo M. L. 2009. Caracterización morfológica de micorrizas arbusculares asociadas en raíces de tomate de árbol silvestre (*Solanum cajaniense*) y cultivado (*Solanum betaceum*) en dos sectores de la provincia de Loja. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.

Chávez A.T., Lua J., Salmerón I.A., García P.A., Bárcenas A.E. & Olalde V. 2013. A modified staining technique for the anatomical observation of mycorrhizal roots of woody trees. *African Journal of Microbiology Research.* 7(28): 3589-3596.

Chisholm, ST, Coaker G, Day B y Staskawicz BJ (2006) Host-microbe interactions: Shaping the evolution of the plant immune response. *Cell* 124: 803-814

Collins, Nancy; & F. L. Pflieger. 1998. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae and Cultural Stresses. Minn: Am. Soc. Agr. Univ. Minnesota, p. 71-99. (Special Publication; 54).

Furlan, V. & Fortin J. 1975. A flotation-bubbling system for collecting Endogonaceae spores from sieved soil. *Naturaliste Can.* 102: 663-667.

INISAV, 2011. Compendio metodológico de registro señalización y pronóstico de plagas y enfermedades Volumen II. Editorial Ciencia y Técnica MINAG. 372 p.

**Jones JDG & Dangl JL.** 2006. The plant immune system. *Nature* 444: 323-329.

Koske R. E. & Gemma J. N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research.* 92: 486-489.

Phillips J. M. & D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.

Pitet M., Camprubí A., Calvet C. & Estaún V. 2009. A modified staining technique for arbuscular mycorrhiza compatible with molecular probes. *Mycorrhiza.* 19(2): 125-131.



Simón, F.A. 2010. Agrobiotecnología y Fitosanidad. COLECCIÓN FITOSANIDAD. Editora Ciencia y Técnica UO, ISBN: 978-959-207-389-0 Registro de Obra Protegida CENDA 551-2010 del 23 de febrero del 2010, 213p.

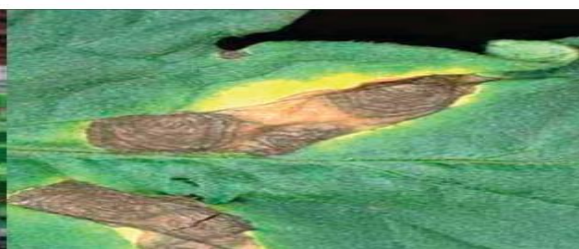
Simón, F.A. 2019. Agricultura, Biotecnología y Competitividad. Editorial Académica Española 348p. is an imprint of: SIA Omni Scriptum Publishings Ed. Morebooks ISBN: 978-613-9-43302-5



### Cultivo de Tomate y Pimiento



**Tizón temprano (*Alternaria solani*)**



**Tizón temprano (*Alternaria alternata*)**



**Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)**



**Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)**

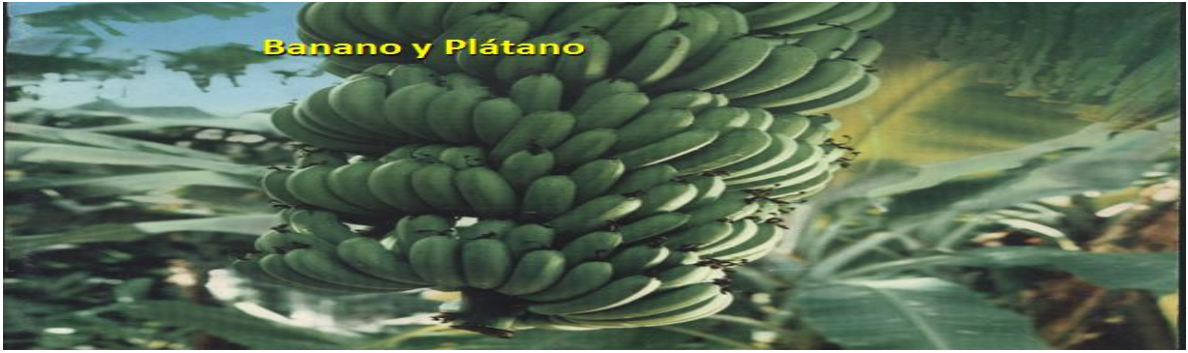


**Cultivo de Ají-Pimiento (*Capsicum annun*)**



**Antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*/ *C. capsici*)**





Sigatoka negra: *Mycosphaerella fijiensis*



# CAPÍTULO 06

## “CULTIVOS IN VITRO DE PLÁTANO BIOINDICADOR- FITOREMEDIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS CON AGROTÓXICOS”

### Francisco A. Simón Ricardo

Doctorado en Ciencia Agrícolas por la Universidad Central de Las Villas “Martha Abreu” Facultad Agraria e Instituto Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical de Cuba

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas

Ocupación: Profesor e Investigador Titular

Dirección: Calle Manabí (final), Barrio Nuevos Horizontes, Ciudad Esmeraldas República del Ecuador

Correo electrónico: institucional: francisco.simón@utelvt.edu.ec

Personal: angelfranciscosimon@gmail.com

### Gonzalo Dierksmeier

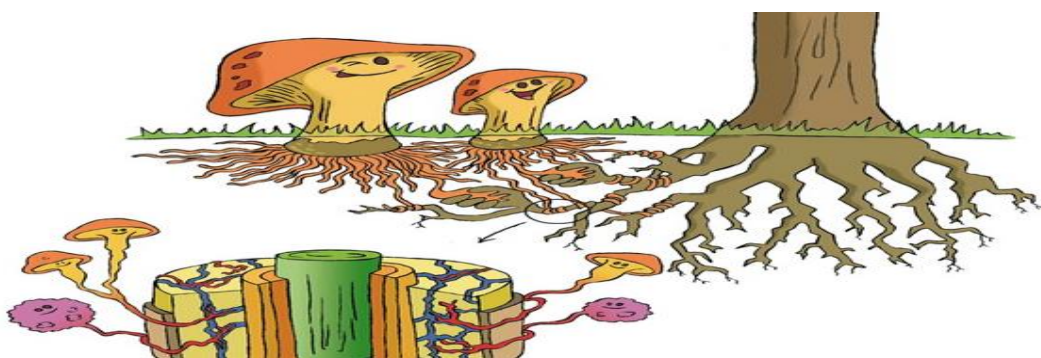
Toxicólogo Ph. D. Ciencias Agrícolas Instituto Nacional de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana Cuba

### Reynel Mayet

Diplomado en Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba

“In vitro plantain cultures bioindicator- phytoremediator of soils contaminated with pesticides”

“Bioindicador- fitorremediador de solos contaminados con pesticidas por culturas de banana-da-terra in vitro”



**RESUMEN:** Se utiliza el cultivo *in vitro* de plátano (*Musa* spp.) como bioindicador de ecotoxicidad en experimentos diseñados con la finalidad de aplicar el efecto fitorremediador del sistema suelo-planta-simbiontes micorizosférico MVA ante contaminantes agrotóxicos. En los ensayos, se aplicó el herbicida triazínico Ametrina a la dosis de 2.4 kg i.a./ha y evaluaron tres especies de MVA: *Rhizophagus intraradices*; *Glomus. fasciculatum* y *Fummeliformis mosseae* inoculadas a vitro plantas de plátano clon comercial 0630 en fase de adaptación. Entre los resultados de impacto, se comprobó el alto grado de micorrización alcanzado, siendo superior con

*R. intrarradices* (77 %) seguido por *G. fasciculatum* (70 %) y *F. mosseae* (14 %); en correspondencia las vitro plantas micorrizadas superaron significativamente los parámetros de crecimiento y desarrollo evaluados (porte, número de hojas y raíces y grosor del tallo y raíces), respecto a las vitro plantas testigo. En cambio, la capacidad fitorremediadora de este sistema resultó más efectivo con *G. fasciculatum* (21.7 %); seguido por *R. intrarradices* (14.2 %) y *F. mosseae* (4.2 %). Se realizó la extensión del experimento en fase de alistamiento de las vitro plantas con la mejor variante integral de las MVA (*G. fasciculatum*), lográndose a los 30 días la biodegradación del 38.4 % de la Ametrina residual y el 80 % de sobrevivencia de las vitro plantas lo que le confiere trascendental importancia, al demostrarse una vía agroecológica para la integración de la lucha química y el medio ambiente en el contexto del uso de herbicidas.

**PALABRAS-CLAVES:** Vitro plantas; Micorrizas MVA; Fitorremediación; Simbiontes micorizosférico.

**ABSTRACT:** Its developed the use of vitro plant of platano as bioindicators of ecotoxicity experiments designed in order to evaluate the phytoremediation effect of the system soil-plant-symbiont micorizosférico MVA to contaminants pesticides, in this case, the triazine herbicide Ametrina dose of 2.4 kg ai / ha. Vitro plants inoculated banana trade Clone 0630 being adapted and readiness, three species: *Glomus fasciculatum*; *Rhizophagus intrradis* and *Fummeliformis moseae* were evaluated. Among the results of impact, the high degree of mycorrhization reached was found, being higher with *R. intrarradices* (77 %) followed by *G. fasciculatum* (70 %) and *F. mosseae* (14 %); correspondingly the mycorrhizal plants vitro significantly exceeded growth and development parameters evaluated (size, number of leaves and roots and stem thickness and roots), compared to control plants vitro. However, the capacity of this system fitorremediadora was more effective with *G. fasciculatum* (21.7 %); followed by *R. intrarradices* (14.2 %) and *F. mosseae* (4.2 %). Enlistment under the *G. fasciculatum* system which led to 30 days of biodegradation of 38.4 % of the residual Ametrina and 80 % survival in vitroplants spread. These results are reported for the first time, they have vital importance, as it demonstrates an agroecological way for the integration of chemical control and the environment in the context of herbicides.

**KEYWORDS:** Vitro plants; Phytoremediation; Symbiont micorizosférico MVA.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Agrotóxicos, más conocidos por plaguicidas, constituyen uno de los principales contaminantes de los suelos y el ambiente; sin embargo, a pesar del conocimiento que se tiene de esta problemática, su uso es aún una práctica habitual para el control de plagas, enfermedades y malezas que dañan a los cultivos, en cierto sentido por carencia de medios más efectivos y seguros.

Por lo antes expresado, partiendo de la hipótesis que cualquier método, técnica o procedimiento que permita disponer de elementos bioindicadores de ecotoxicidad como complemento esencial para el uso seguro y eficaz de plaguicidas y a la vez constituya una alternativa biosegura que mitigue el impacto de agrotóxicos debe ser aplicada, una vez demostrada su eficacia y viabilidad práctica. Estas razones condujeron a desarrollar una Biotecnología de Fitorremediación (Simón, 2000), patentada en fase de extensión a la que su autor le ha designado el nombre comercial de FILTROS ECOLÓGICOS (SIMÓN, 2010abc).

Basado en estos principios, se diseñó y planificó esta investigación con vista a propiciar ambas premisas; disponer de un método de bioensayo ecotoxicológico de bajos insumos que permita de forma rápida la detección de forma cualitativa y semicuantitativa la presencia de agrotóxicos contaminantes, en el caso que ocupa, específicamente de herbicidas y a su vez la biodegradación *in situ* acelerada de los plaguicidas, su reciclaje y reconversión en desechos “no tóxicos” asimilables por las plantas como fuente de carbono y otros macro y micro elementos esenciales. Para satisfacer esta necesidad, se tuvo en cuenta el empleo de cultivos *in vitro* por la capacidad reproductiva de esta tecnología en la producción de vitro plantas, su bajo costo y fácil manipulación para emprender estos estudios agroecotoxicológicos (Simón 2010b).

Atenido a todas las consideraciones expuestas, esta investigación aborda una temática en la que apenas se ha incursionado, que puede dar una respuesta a esta problemática acuciante de la Agricultura moderna, o al menos mitigar los riesgos inherentes al uso prolongado de herbicidas, sobre todo de aquellos de efecto residual, que contaminan los suelos y de hecho el medio ambiente circundante.

## 2. MARCO TEÓRICO

Los plaguicidas, tanto naturales como sintéticos son compuestos destinados a combatir plagas, enfermedades y malezas, ejerciendo sobre los objetos respectivos un efecto tóxico que culmina con la muerte de los mismos bajo determinadas condiciones de dosis, modo y momento de aplicación según refiere (DIERKSMEIER, 1996). Así refiere el propio autor, que desde que Paul Muller en 1939, descubre el más poderoso de los insecticidas, el DDT comercializado en 1943 y Gerhard Schrader en 1942 descubre y produce los derivados organofosforados los estudios en materia ecotoxicológica relacionado con los plaguicidas, se convirtieron en tema fundamental.

La Toxicología en general, definida como el estudio científico de las intoxicaciones, concebida también, como el estudio científico de los efectos perjudiciales de las sustancias químicas sobre los organismos vivos y su entorno. Por tanto, se debe considerar tóxica cualquier sustancia que provoque efectos perjudiciales en el organismo, particularmente, al hombre; sin embargo, en la práctica es frecuente designar como tóxicas sólo aquellas sustancias que producen daño a una dosis relativamente pequeña o que se asocian a un riesgo desproporcionadamente elevado.

No obstante, como la toxicología básicamente no hace ninguna diferenciación entre las sustancias químicas de origen natural y las fabricadas artificialmente, bien por la vía de la síntesis orgánica o biotecnológica fermentativa, lo que cuenta es el producto final y conocer la cantidad que será nociva para el organismo. Curiosamente, las sustancias más tóxicas que se conocen proceden de la propia naturaleza (DIERKSMEIER, 1996).

El objetivo fundamental de los estudios ecotoxicológicos, consiste en reconocer los peligros para la salud humana o animal debido a sustancias químicas, y para ello se incluyen las plantas y el medio ambiente en general donde habitan y desarrollan; por cuanto, el hombre, los animales, las plantas y demás organismos vivos conforman la cadena trófica, corriendo por igual el mismo riesgo. Por tanto, sus objetivos principales son la defensa del consumidor, la seguridad del producto y la protección del medio ambiente; teniendo como misión el estudio de las características de las sustancias químicas y de la relación dosis-efecto, sobre la base de estimar las dosis que son inocuas y las que producen daños (intoxicaciones), para lo cual, se necesita además saber la cantidad a la que está sometido el organismo durante la manipulación

de la sustancia química. Sólo si se conocen las propiedades toxicológicas del producto, las relaciones dosis-efecto y el tiempo de exposición, se podrá definir el riesgo de un efecto nocivo en particular (ANDERSON *et al.*, 2004).

Este autor, refiere que el hombre se preocupa de la toxicidad que los plaguicidas le pueden causar, y para ello se vale de innumerables pruebas, ensayos e investigaciones ecotoxicológicas con vista a dilucidar estas inquietudes con razones no desacertadas, pero para las plantas, animales e insectos beneficiosos, ¿qué?. Poco hay informado en materia de investigaciones ecotoxicológicas en particular sobre los diminutos parásitos y sensibles enemigos naturales de las diferentes plagas que azotan a los cultivos.

Para los estudios, ensayos e investigaciones toxicológicas, se utilizan animales de experimentación (conejillos, ratas, etc.) de modo que los resultados así obtenidos han sido extrapolados al comportamiento esperado en el hombre, al no poder ser este objeto de ensayo. Múltiples estudios e investigaciones existen en este campo del cual existen tratados sobre Toxicología Experimental a nivel mundial.

En Cuba, Dierksmeyer (1996) y Pérez (2009), refieren los aportes que en este campo se realizan con éxitos; aunque en materia de ecotoxicología, son incipientes aún. Los organismos utilizados en los bioensayos ecotoxicológicos deben ser representativos de tipos de especies pertenecientes a distintos niveles de la cadena trófica de los ecosistemas y poseer determinada sensibilidad a los contaminantes, rapidez de crecimiento y fácil manipulación en el laboratorio; concepto que está ampliamente fundamentado en los trabajos de Moorman (2013) y Ocampo y Hayman (2008).

De acuerdo a estos autores, las pruebas en condiciones de laboratorio deben disponer de ensayos de corta duración, que revelen con qué cantidad de preparado se puede poner en peligro inmediato a los organismos de ensayo, y de estudios de larga duración, en que se averiguan qué cantidad de sustancia es tolerada -incluso al actuar por largo tiempo- sin que se produzcan cambios perceptibles. Así se obtiene un valor límite (<nivel sin efecto>) que, comparado con el estado de residuos del momento, posibilita una evaluación segura del riesgo.

Es especialmente importante valorar los efectos de los plaguicidas sobre la fauna del suelo, y en consecuencia, sobre las lombrices de tierra, que presentan enorme importancia en los suelos agrícolas (CENICAFE, 1999; SILES *et al.* 1998). Por ello, para estudiar el impacto ecotoxicológico en los ecosistemas agrícolas, las



lombrices de tierra se encuentran entre los organismos utilizados para evaluar la toxicidad de un plaguicida en el medio terrestre, debido a las múltiples funciones que realizan en el suelo.

Diversos autores entre los que se destacan Halliday y Burnham (2008); y Collins y Pflieger (1998); para estos ecosistemas, han propuesto otros ensayos que utilizan plantas superiores monocotiledóneas y dicotiledóneas tales como *Avena sativa*, *Lolium perenne*, *Sinapis alba* y un Alga (*Chlorella pyrenoidosa*) para realizar estudios de valoración de la fitotoxicidad causadas por estos productos (Matuk, 1996,1997) o también estudios de la germinación de semillas (MOORMAN, 2013).

La erosión de los suelos, tema divergente en cuanto al efecto en este proceso de los plaguicidas, particularmente relacionado con los herbicidas, constituye un proceso de deterioro de los mismos, acelerado -según algunos autores (NEMEC, 2005; OCAMPO Y HAYMAN, 2008) - por el uso de plaguicidas.

Los suelos en ocasiones se regeneran por la utilización de fertilizantes naturales como pueden ser las propias lombrices de tierra (Siles et al. 1998) y las micorrizas (MOORMAN, 2013); en caso contrario, los suelos agrícolas pueden quedar prácticamente estériles, desapareciendo su capacidad de crecimiento vegetal. Por otra parte la eliminación de organismos beneficiosos del suelo, que es el fundamento en que se basan los planteamientos de Nemecc (2005), puede conllevar al establecimiento de plagas no presentes con anterioridad; por ello, en estos ensayos, se debe examinar además la influencia ejercida por los productos sobre la masa de microorganismos vivos y la composición de éstas, a partir de bacterias, hongos y actinomicetos del suelo; por tal razón, es objeto de investigación ecotoxicológica en suelos tratados, establecer el efecto causado sobre dos ciclos de nutrientes de vital importancia para el suelo: el ciclo del carbono y el del nitrógeno.

La importancia de estos estudios, radica en la valoración requerida del riesgo que representan los plaguicidas, cada vez más necesario, producto del establecimiento de legislaciones referentes tanto al control medioambiental como sanitario de los mismos. La comprobación, tras muchos años de estudios, verificaciones de los efectos en el medio ambiente de los plaguicidas y, desgraciadamente, algunos sucesos catastróficos, han llevado a la prohibición de muchas de estas sustancias en determinados casos (DIERKSMEYER, 1996 Y PÉREZ, 2009); por ello, toda serie de estudios e investigaciones que permitan evaluar y conocer el riesgo potencial de los productos fitosanitarios, en particular de los

agrotóxicos, desde las perspectivas tanto bioecológicas como toxicológicas, ayudarán a reducir la peligrosidad de estos productos tanto para el medio ambiente como para el propio hombre.

Una valoración de la capacidad y eficacia de fitorremediación de los suelos del sistema de contención y biodegradación de agrotóxicos estudiados, que a los efectos prácticos Simón (2010c), le denominó “Filtros ecológicos”, por ser los propios elementos del agroecosistema sus constituyentes, parte de la eficacia demostrada de la combinación hongo MVA-seto-suelo, que en el caso particular de esta investigación, uno de sus componentes, el seto, se corresponde con el propio cultivo de vitro plantas, que hace la función de seto hospedante del hongo simbiote rizosférico MVA.

De hecho, esta aplicación de la biotecnología de fitorremediación enunciada, es una contribución novedosa e inédita para dar una respuesta a la contaminación de los suelos con agrotóxicos “*in situ*”, aprovechando el propio cultivo que a la vez de beneficiarse con la acción del agrotóxico en el control de las plagas, enfermedades y malezas que le dañan, propicia su biodegradación acelerada y por consiguiente, la descontaminación del suelo y el ambiente; que por demás, utiliza los restos de la molécula fraccionada en compuestos más simples, asimilables por las plantas como fuente de carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos que le son de provecho para su nutrición (SIMÓN, 2010b; HABTE *et al.*, 2004).

La esencia en sí de esta biotecnología de fitorremediación, consiste en la utilización de una combinación de sustratos que conforma al propio suelo, como arcilla, caliza y otros componentes minerales que existen en gran cuantía y diversidad, en el cual se desarrollan plantas micorrizadas con endófitos nativo o introducidos, seleccionados previamente en ensayos agrícolas, una vez demostrada su eficacia (CAMPRUBI *et al.*, 1987; HENKEL *et al.*, 2007).

La aplicación en un inicio de esta tecnología (Simón 2000), originalmente, se basó en establecer este sistema como setos antierosivos, plantados en curvas de nivel, en sentido contrario a la pendiente en las zonas de contención o franjas protectoras (franjas hidrorreguladoras) de las cuencas hidrográficas, constituyendo obstáculos en las cabeceras de las cárcavas, que evitan el arrastre por las aguas de todo el material que encuentran a su paso, incluido los depósitos de plaguicidas, sobre los cuales, una vez retenidos por estas barreras ocurre un proceso biodegradativo acelerado en la rizósfera de estas plantas micorrizadas (JABAJI-HARE Y KENDRICK, 2005; HABTE *et al.*, 2004).

Bajo la acción de los microorganismos, particularmente atribuidas a bacterias rizosféricas de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y otras (Ellwood y Watson, 2007), acelerado por la acción conjunta de la arcilla, caliza y otros componentes minerales del suelo (STONE, 2008; CLARK, 1998), que actúan como catalizadores en la formación de metabolitos producidos "*in situ*" fácilmente biodegradables, utilizados posteriormente por los microorganismos del suelo, -incluidas las propias micorrizas- como fuente asimilable de Carbono, Fósforo y Nitrógeno (KHASA *et al.*, (2014); Howeler *et al.* (2014), se produce la biodegradación acelerada de los contaminantes orgánicos como los propios agrotóxicos.

### 3. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación transcurrió en condiciones de laboratorio, umbráculo y campo en el Centro de Producción de vitro plantas de la Biofábrica Santiago, provincia de igual nombre de Cuba, donde se reproducen vitro plantas de banano y plátano a gran escala.

#### 3.1 Aislamiento de endófitos MVA y Micorrización de las vitro plantas

Se realizó el aislamiento de endofito(s) formador(es) de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), en una plantación de platenera, que constituyó el área experimental para el fomento y evaluación de siete especies de MVA (Vuelta y Batista 2014); que a su vez sirvió como banco de micorrizas, a partir del cual se procedió al aislamiento de tres endófitos seleccionados por estudios precedentes (SIMÓN, 2010c).

El aislamiento de las tres especies de MVA seleccionadas, se realizó en etapas sucesivas, mediante una selección inicial de esporas, de las presentes en simbiosis con las plantas de guayaba como hospedantes en este caso. Esto implicó la recolección en el área, de suelo y raíces micorrizadas de las especies seleccionadas.

Las raíces se clarificaron y tiñeron para observar la presencia de infección micorrízica en el cortex radicular según el procedimiento de Phillips y Hayman (1970).

Una vez realizada la comprobación y caracterización de las tres especies de MVA, objeto de interés, se reinocularon a las vitro plantas del experimento en laboratorio con los endófitos MVA seleccionados (CAMPRUBI *et al.*, 1987).

En la investigación, se trabajó con vitro plantas de plátano del clon comercial 0630 inoculadas por separado en fase de adaptación, en pequeñas macetas cuyo sustrato estuvo compuesto por suelo pardo micorrizado (10 %) y materia orgánica (humus 10 %).

El suelo, fue previamente micorrizado con raíces infectadas troceadas con un 60% de infección interna, y esporas MVA en distintos estadios de desarrollo. A las 12 semanas de la fase de adaptación, se realizaron muestreos de suelo y radículas de las vitro plantas para comprobar la efectividad de la micorrización acorde al porcentaje de raíces micorrizadas (CAMPRUBI *et al.*, 1987). La evaluación de la capacidad infectiva en el sistema MVA-seto-suelo, se realizó siguiendo el método utilizado por Pérez y Leguizamón (1998).

A las vitro plantas se midió el tamaño de las plántulas, diámetro del tallo, número de hojas verdaderas y elongación de las raíces, según el procedimiento descrito por Hurtado y Mustelieir (2011).

### 3.2 Bioensayos con vitro plantas de plátano en fase de adaptación

Los bioensayos para evaluar la respuesta bioindicadora de ecofitotoxicidad y a la vez fitorremediadora del sistema sustrato-vitro plantas-MVA, se realizó en condiciones de umbráculo según el diseño experimental que se muestra más adelante.

El agrotóxico evaluado fue el herbicida derivado de las Triazinas, principio activo ametrina, que se recomienda en cultivos de banano y plátano en aplicación pre y post emergente contra malezas anuales mono y dicotiledóneas a una dosis entre 1.6 a 2.4 kg i.a./há (MINAG-MINSAP, 2013).

En cada variante experimental se evaluaron 10 vitro plantas a las que se aplicó por única vez la dosis máxima del producto correspondiente a 6000 mg ia/L (6000 ppm). Por vitro planta se incorporó por irrigación 100 ml de la suspensión en agua, que representa 600 mg de i.a., en correspondencia con la dosis del producto por ha. La aplicación se realizó el mismo día de forma fraccionada para evitar la percolación del producto.

DISEÑO: VARIANTES EXPERIMENTAL

No.	VARIANTES	DESCRIPCION
1	TESTIGO 1	Sustrato (suelo + m.o humus al 10 %)
2	T 1+Agrotóxico	Sustrato (suelo + m.o humus al 10 %) + Ametrina
3	TESTIGO 2	Sustrato-Seto (vitroplanta)
4	T 2+Agrotóxico	Sustrato-Seto (vitroplanta) + Ametrina
5	TRATAMIENTO 1	Sustrato-Seto-MVA ( <i>Rhizophagus intrarradices</i> )
6	TT 1+ Agrotóxico	Sustrato-Seto-MVA( <i>Rhizophagus intrarradices</i> )+ Ametrina
7	TRATAMIENTO 2	Sustrato-Seto-MVA ( <i>Fummeliformis mosseae</i> )
8	TT 2 + Agrotóxico	Sustrato-Seto-MVA ( <i>Fummeliformis mosseae</i> ) + Ametrina
9	TRATAMIENTO 3	Sustrato-Seto-MVA ( <i>Glomus fasciculatum</i> )
10	TT 3 + Agrotóxico	Sustrato-Seto-MVA ( <i>Glomus. fasciculatum</i> ) + Ametrina

Cada 24 horas durante una semana, se efectuó el riego de las vitro plantas, y se colectó en frascos volumétricos aforados de 500ml previamente rotulados, el lixiviado acumulado obtenido de las 10 vitro planta de cada variante. Cada eluato se enrazó, y procedió a su conservación en refrigeración hasta la ejecución de los bioensayos. A los 7 días se procedió a la realización de los bioensayos en las plantas indicadoras.

Previo a la realización de los bioensayos fitotoxicológicos, fue preciso obtener una curva de calibración (C: concentración vs.Efp efecto probit), dada por la ecuación de regresión probit (Raymont, 2005), que correlaciona Efp vs., log C. Para obtener esta curva, se estableció un rango de concentración, en este caso del agrotóxico investigado, correlacionada con una respuesta lineal sobre el modelo biológico o bioindicador utilizado. Para ello, se eligieron en la curva puntos extremos de máximo y nulo efecto, y puntos intercalados. El rango de concentración utilizado fue de 50 a 500 mg i.a./L (ppm) Estas curvas se obtuvieron para cada modelo biológico empleado como bioindicador de fitotoxicidad y de forma paralela se realizaron determinaciones de concentración de residuos en suelo mediante análisis cromatográfico por CG, utilizando un detector de ionización a la llama específico para detección de nitrógeno y fósforo según las especificaciones descritas por Dierksmeyer, (1996).

En el caso que ocupa a esta investigación, se utilizaron dos modelos biológicos, pertenecientes a especies botánicas de alta sensibilidad; una monocotiledónea, maíz (*Zea mays*) variedad Canilla y una dicotiledónea, lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Black Simpson; que permitieron evaluar el efecto residual del herbicida, por ser el producto utilizado en pre y post emergencia contra arvenses monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Para evaluar las variantes de ensayo con los diferentes tratamientos acorde al diseño experimental en laboratorio, por cada variante, y modelo biológico, se montaron cinco magendas plásticas de 10 cm de diámetro y volumen de 250 ml.

En cada recipiente conteniendo el mismo sustrato utilizado para la adaptación de las vitro plantas, se colocaron para cada bioindicador por separado, 10 semillas.

A las 24 horas de depositadas las semillas, se efectuó una primera aplicación del agrotóxico en cada uno de los recipientes con 50 ml del eluato correspondiente a cada variante sin que ocurra percolación. A las 48 horas se realizó la segunda aplicación del eluato con agrotóxico. Con posterioridad, se procedió a un riego diario con agua hasta observarse el 100 % de germinación de las semillas en las Variantes Testigo.

El Efecto fitotóxico en cada variante experimental se realizó según los principios básicos y fundamentos referidos por Simón (2010a), con el empleo de la Escala de Ecotoxicidad que se aplica para el caso particular de herbicidas (Bayer, 2008).

Con el empleo de esta Escala, y la curva de calibración o en su lugar directamente la ecuación de regresión probit obtenidas previamente para cada modelo biológico, se estimaron las concentraciones probit causantes de dichos efectos.

### 3.3 Bioensayos con vitroplantas de plátano en fase de alistamiento

Para evaluar la capacidad fitorremediadora del sistema sustrato-seto (vitroplantas)-MVA, en condiciones de semicampo, durante la fase de alistamiento de las posturas para su destino final de trasplante en campo, en la unidad experimental correspondiente a una planta banda de asbesto cemento de 12 m de largo por metro de ancho, se trasplantaron las plantas micorrizadas de la variante (especie MVA), que mostró mejor capacidad fitorremediadora en los resultados de los bioensayos a las 14 semanas de adaptación.

La siembra se realizó según las normas técnicas establecidas (MINAG, NT-CV1769 2008), para vitro plantas de plátano de 4000 vitro plantas/há a un marco de plantación de 1.2 m x 3.0 m.

A los 7 días del trasplante, luego de superar el stress que sufrieron, se procedió a realizar el tratamiento del agrotóxico a la dosis máxima establecida con el empleo de un aspersor manual de 5 litros de capacidad y boquilla de abanico propia para herbicidas (BAYER, 2008).

Posterior a la aplicación del producto, se colectaron por separado a los (7,14, 21 y 30 días) y profundidad de hasta 30 cm, muestras de suelo, donde fue aplicado el herbicida, procediéndose a realizar las evaluaciones a través de los bioensayos fitotoxicológicos descritos en el acápite precedente; y paralelamente las determinaciones analíticas por CG de los residuos detectados en cada una de las muestras lo que permitió la estimación de los residuos persistentes del agrotóxico y comparar con los resultados analíticos de los residuos detectados por CG en el suelo según y de este modo evaluar la capacidad de respuesta ecofitotoxicológica y fitorremediadora del sistema suelo-vitro planta- simbiote micorizosférico MVA.

Para ello, en esta oportunidad, a las magendas utilizadas en los bioensayos, se depositaron 250 g de suelo tomados de entre las vitro plantas de las planta bandas (canaletas), y directamente se depositaron las 10 semillas de las plantas bioindicadoras de fitotoxicidad utilizadas (lechuga y maíz), procediéndose a su evaluación y estimación del efecto fitotóxico producido por los residuos del herbicida que aún persisten.

Con los efecto ecotóxicos estimados y la ecuación de regresión (concentración-efecto), acorde con el procedimiento de cálculo según el método probit (Raymond, 2005), con el auxilio de un sistema para microprocesador computarizado, fue posible establecer los niveles de residuos en la variante de ensayo y establecer de acuerdo a estos resultados el riesgo actual o potencial que representan.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de endófitos MVA y Micorrización de las vitro plantas

Los endófitos aislados, fueron debidamente caracterizados tomando en cuenta criterios de expertos del Instituto de Ecología y Sistemática de la Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (CITMA, 2010), para su clasificación sistemática, así como las características de las esporas de resistencia reaisladas y la anatomía de la infección interna MVA en el corte radicular, confirmándose de este modo que se tratan de especies acorde con las descripciones taxonómicas realizadas por Collins y Pflieger (1998) y Abbott y Robson (2009); coincidiendo en muchos aspectos con gran aproximación con las especies *Glomus fasciculatum*, *Fummeliformis mussae* y *Rhizophagus intrarradices* por sus hifas no excesivamente gruesas, infección vesicular densa, ocupando prácticamente todo el córtex radicular y las vesículas intercelulares grandes, de forma ovalada, generalmente univacuoladas, de pared gruesa.

Estas descripciones confirman su identidad según describe Khasa et al. (2014) en su catálogo de las principales especies de MVA, consideradas al menos las dos primeras como especies nativas de platanales de la provincia Santiago de Cuba.

Al cabo de las 14 semanas, se evaluó la capacidad infectiva y el porcentaje de micorrización de las vitro plantas, tal como se muestra en la tabla 1.

De estos resultados, se obtuvo que la micorrización osciló con una capacidad infectiva entre 50 – 80 cuerpos fructíferos (cf)/cm<sup>2</sup> de raíz y en grado de micorrización entre un 30-77 %, dependiendo de las especies de MVA. En esta oportunidad *R. intrarradices* mostró los mejores resultados al lograr una alta micorrización con menos capacidad infectiva, seguido por *G. fasciculatum* con ligeras diferencias respecto a la primera, y ambas con diferencias respecto a *F. mosseae* que resultó la menos infectiva.



**Tabla 1** - Resultados obtenidos de micorrización de las vitro plantas de plátano clon 0630 en fase de adaptación a las 14 semanas de inoculadas por separado con tres endófitos MVA seleccionados al 5% de significación.

No.	VARIANTES	Potencial de inóculo (Pi: cf/cm <sup>2</sup> de raíz)	Grado de Micorrización (GM %)	Capacidad infectiva (CI) GM/Pi
1	<i>R. intrarradices</i>	50a	77a	1.54a
2	<i>F. mosseae</i>	80c	30c	0.38c
3	<i>G. fasciculatum</i>	70b	70ab	1.00b

Cf: cuerpos fructíferos Ci: Baja <1>Alta según Abbott y Robson (2002),

Se pudo además, comprobar en esta investigación los beneficios del efecto de la micorrización sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de las vitro plantas en fase de adaptación, resultando *R. intrarradices* y *G. fasciculatum* las que más estimularon el crecimiento y desarrollo alcanzado por las plántulas, lo que demuestra categóricamente que las vitro plantas se benefician con las micorrizas visto a través de los parámetros indicadores de crecimiento y desarrollo evaluados según los criterios de Hurtado y Mustelier (2011), cuyos resultados se muestra en la tabla 2. Evidentemente, en todos los casos las vitro plantas micorrizadas en cualquiera de sus variantes, superaron al Testigo correspondiente al sistema sustrato-vitro plantas sin micorrizar.

#### 4.2 Bioensayos de Fitotoxicidad en vitro plantas de banano en fase de adaptación.

En esta primera etapa, el experimento se concibió como un screening, en una fase de extrema sensibilidad por tratarse de plántulas “*in vitro*” en adaptación; por tanto, la respuesta esperada es inmediata. Como es lógico, en esta fase de adaptación, no está previsto realizar tratamientos con agrotóxicos, menos aún con un herbicida; por lo que las afectaciones severas irreversibles que tuvieron lugar en aquellos casos carentes de capacidad fitorremediadora, ocurrió detrimento y muerte de las vitro plantas, pero si permitió demostrar la alta correlación existente como biodicadoras de ecotoxicidad en suelo en comparación con los modelos biológicos utilizados y respecto a los residuos detectados por CG en las muestras de suelo.

**Tabla 2** - Resultados obtenidos de parámetros indicadores del crecimiento y desarrollo de las vitro plantas de plátano clon 0630 micorrizadas en fase de adaptación a las 14 semanas de inoculadas por separado con tres endófitos MVA seleccionados del género *Glomus* al 5% de significación.

No.	VARIANTES	Porte (cm)	Diámetro (cm)	Hojas (número)	Raíces
1	<i>Rhizophagus intraradices</i>	31.1a	1.9 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>
2	<i>Fummeliformis mosseae</i>	23.6b	1.6b	6 <sup>a</sup>	6b
3	<i>G. fasciculatum</i>	27.3b	1.7b	7 <sup>a</sup>	7b
4	Testigo	20.7d	1.1c	5ab	5b

La tabla 3, registra el comportamiento de las curvas de ecotoxicidad para ambas especies botánicas escogidas como plantas bioindicadoras de ecotoxicidad en comparación con los resultados obtenidos con las vitro plantas de plátano. De estos resultados, se evidencia mayor tolerancia del maíz al herbicida ensayado, respecto a la lechuga, lo cual coincide con los reportes de CIBA-GEIGY (1984), precursores de esta familia de herbicidas (Triazinas), las cuales permiten su aplicación en preemergencia en este cultivo. Las vitro plantas de plátano mostraron un comportamiento intermedio entre ambos bioindicadores. El comportamiento lineal en los tres casos en el rango de concentración ensayado, es una garantía de la validez del método con fines de evaluar la fitotoxicidad de la Ametrina en suelos contaminados a través de bioensayos con estas especies como bioindicadores de fitotoxicidad.

**Tabla 3** - Resultados relacionados con la obtención de las curvas de calibración (C: concentración vs. Efp efecto probit), correspondiente a la Ametrina para ambas especies bioindicadoras.

Concentración Ametrina (ia) mg/l (ppm)	log C	Efecto fitotóxico probit (%) en plantas bioindicadoras		
		Maíz	Vitro planta plátano	Lechuga
50	1.7	10	12	15
100	2.0	20	21	25
200	2.3	35	37	40
300	2.5	45	52	55
400	2.6	60	70	75
500	2.7	70	85	90

Los resultados obtenidos de los bioensayos fitotoxicológicos con las vitro plantas de plátano micorrizadas con cada uno de los endófitos MVA por separado en fase de adaptación, al cabo de los 7 días de realizada la aplicación del agrotóxico por irrigación, demostraron, -aún con el poco desarrollo de estas plántulas que las hacen muy susceptibles-, la capacidad fitorremediadora de este sistema ante la acción fitotóxica de la Ametrina, aplicada a una concentración de 6000 mg/l de ia/há, según se muestran en la tabla 4.

Estos resultados paradójicamente mostraron que no existe total correlación con la capacidad infectiva y el grado de micorrización en el córtex radicular respecto a la capacidad fitorremediadora del sistema.

Tal como muestra la tabla 4, la especie *R. intrarradices*. de gran capacidad infectiva y alto grado de micorrización con un 77 % del cortex radicular (Tabla 1), las vitro plantas, que recibieron tratamiento con el agrotóxico, mostraron capacidad fitorremediadora ante el agrotóxico ensayado inferior a *G. fasciculatum*; pues sólo logró biodegradar el 14.2 % del producto, con valores de fitotoxicidad del 70 % en el maíz y 90 % en la lechuga, y observarse en las magendas correspondientes a esta variante del bioensayo, semillas no germinadas, que observadas bajo estereoscopio se encontraban necrosadas, lo que provocó al cabo de los 14 días del ensayo, clorosis y necrosis del 90 % de las vitro plantas que no se recuperaron y las condujo inevitablemente a la muerte.

**Tabla 4** - Resultados de bioensayos fitotoxicológicos in vitro plantas en fase de adaptación a los 7 días del tratamiento con Ametrina (6000 mg/L).

No.	VARIANTES	Bioensayo ecotóxico en Maíz			Bioensayo ecotóxico en Lechuga		
		Eftox	log C	C (ppm) Probit	Eftox	log C	C (ppm) Probit
1	TESTIGO 1	91	2.78	600	99	2.78	600
2	TESTIGO 2	89	2.77	590	97	2.77	590
3	TRATAMIENTO 1	70	2.71	515	90	2.71	515
4	TRATAMIENTO 2	80	2.76	575	95	2.76	575
5	TRATAMIENTO 3	65	2.67	470	80	2.67	470

La variante correspondiente a la especie *G. fasciculatum* con sólo el 70 % de grado de micorrización, mostro una capacidad fitorremediadora del 21.7 %, que

permitió no rebasar valores de fitotoxicidad del 65% en maíz, y del 80% en lechuga, con sólo el 30 % de semillas sin germinar e igual porcentaje de plántulas deformadas, achaparradas y cloróticas. En este caso, las vitro plantas lograron una recuperación del 71 % y sobrevivir ante el efecto fitotóxico del herbicida.

La especie *F. mosseae* mostró los resultados más bajos, con sólo un 4.2 % de capacidad fitorremediadora y fitotoxicidad del 80 % en maíz y 95 % en lechuga. En este caso, las vitro plantas afectadas no logró sobre vivencia.

En la tabla 5, se demuestra para *G. fasciculatum* un menor impacto del agrotóxico sobre la capacidad infectiva y de micorrización respecto a las dos restantes MVA evaluadas, lo que es lógico, teniendo en cuenta su mayor capacidad fitorremediadora que le permite enfrentar la acción adversa que provoca el agrotóxico. Por ello, antes de micorrizar no deben realizarse tratamientos de fertilización química, ni la aplicación de herbicidas hasta tanto estas especies logren colonizar las raíces de las plantas cultivadas; criterios coincidentes con Ferrer *et al.* (2017) y más recientes con Howeler *et al.* (2014).

De estos bioensayos en fase de adaptación recopilados en las tablas 4 y 5, se determinó, que a pesar de la escasa diferencia entre las especies *R. intrarradices* y *G. fasciculatum*, a los efectos de los objetivos de la investigación, el mejor comportamiento integral lo mostró esta última, que además de una adecuada capacidad infectiva y grado de micorrización, fue la única especie de las tres ensayadas que mostró capacidad fitorremediadora de interés; razón suficiente para concebir la inclusión de esta especie en la extensión de esta investigación a la fase de alistamiento de las vitro plantas, etapa que las dispone para su posterior trasplante en campo.

**Tabla 5-** Resultados obtenidos de la micorrización de vitroplantas de plátano clon 0630 en fase de adaptación a las 14 semanas de inoculadas por separado con tres endófitos MVA seleccionados del género *Glomus* comparadas con variantes tratadas con el agrotóxico ametrina al 5 % de significación.

No.	VARIANTES	Potencial de inoculo (Gi:cf/cm <sup>2</sup> de raíz)	Grado de Micorrización (GM %)	Capacidad infectiva Ci = GM/Pi
1	TT 1: <i>rhizophagus</i> intrarradices	50 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>
2	TT 1 + Agrotóxico	71b	51d	0.72c
3	TT2: <i>fummeliformis mosseae</i>	80d “	30e	0.38d
4	TT 2 + Agrotóxico	90e	23f	0.26de
5	TT3: <i>G. fasciculatum</i>	70b “	70b	1.00b
6	TT 3 + Agrotóxico	76bc	63bc	0.83bc

Cf: cuerpos fructíferos Ci: Baja <1>Alta según Abbott y Robson (2002).

### 4.3 Bioensayos con vitroplantas de plátano en fase de alistamiento

Los resultados de los bioensayos en esta fase, mostrados en la tabla 6, corroboran los resultados previos de la fase de adaptación, mostrando una buena capacidad fitorremediadora, de *G. fasciculatum* en fase de extensión, lo que se evidenció por el desarrollo alcanzado por las vitro plantas y el grado de micorrización al cierre del experimento, que permitió la biodegradación del 38.4 % del agrotóxico residual en el suelo, con tan sólo un efecto ecotóxico de un 55 % en maíz y un 65 % en lechuga, al registrarse sólo el 30 % de semillas sin germinar e igual porcentaje de plantas cloróticas o necrosadas.

**Tabla 6** - Resultados de los bioensayos ecotoxicológicos in vitro plantas en fase de alistamiento a los 31 días del tratamiento con el agrotóxico Ametrina

No.	VARIANTES	Bioensayo en Maíz			Bioensayo en Lechuga		
		Eftox	log C	C (ppm)	Eftox	log C	C (ppm)
1	Suelo-humus 10 %	89	2.77	590	97	2.77	590
2	Suelo-vitro planta	80	2.76	575	95	2.76	575
3	Suelo-Vitro planta-MVA ( <i>G. fasciculatum</i> )	55	2.57	370	65	2.57	370

En esta oportunidad el 80 % de las vitro plantas lograron recuperarse totalmente de la fitotoxicidad provocada por el herbicida y alcanzaron un crecimiento y desarrollo normal.

Estos resultados que por vez primera se reportan, tienen trascendental importancia, al demostrarse una vía agroecológica para la integración de la lucha química y el medio ambiente en el contexto del control de plagas, en el caso particular con el empleo de herbicidas residuales de amplio espectro. En principio, esta nueva tecnología permitirá aprovechar las bondades de los agrotóxicos, aún insustituibles, y una vez desplegada su acción, propiciar su biodegradación acelerada y lograr descontaminar el suelo y el medio ambiente en general.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo al evaluar el grado de micorrización de las tres especies de MVA, aunque los resultados estadísticos

muestran diferencias significativas, (Tabla 1), según los criterios de Abbott y Robson (2009), estos resultados se corresponden con un nivel de colonización adecuado en cualquier planta susceptible a ser micorrizadas.

En fase de adaptación las tres especies de MVA lograron infestar las vitro plantas con diferentes grados de micorrización, donde la especie *R. intrarradices* obtuvo los mejores resultados con 1.54 seguido por *G. fasciculatum* con 1.00 y *F. mosseae* con 0,38. estimulando el desarrollo y crecimiento de las vitro plantas. De igual modo se pudo evaluar que la especie *G. fasciculatum* a pesar de tener menor capacidad infectiva que *R. intrarradices*, mostró una capacidad fitorremediadora de 21.7 %, que permitió no rebasar valores de fitotoxicidad del 65 % seguido por *R. intrarradices* con 14.2 % y *F. mosseae* 4,2 %; estas fueron las razones por las que se escogiera a *G. fasciculatum* para realizar su extensión en fase de alistamiento, la cual logró a los 30 días la biodegradación del 38,4 % del agrotóxico residual con un efecto ecotóxico de 55 % en maíz y 65% en lechuga.

Sobre este resultado no aparece en la literatura científica especializada sobre el tema de las micorrizas, elementos que expliquen esta aparente contradicción entre capacidad infestiva y capacidad fitorremediadora, lo que hace suponer que la explicación está relacionada con los metabolitos que producen en las propias rizosferas, tal como manifiesta Matsuyama et al., (1997) en relación con las bacterias simbiotes rizosféricas.

No obstante, basado en los planteamientos expuestos por Abbott y Robson (2009), y que en todos los casos no se observaron diferencias notables en la morfología de la infección producida por estos endofitos, cuestión esta de extraordinaria importancia, coincidente con la mayoría de los autores, que han demostrado (CAMPRUBI *et al.*, 1987), que la utilización de setos micorrizados con endofitos adaptados o nativos es más ventajoso que la utilización de un hongo MVA de colección, de origen distinto, debido precisamente a la adaptación del endofito a las variadas condiciones de temperaturas, humedad, pH, fertilidad y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, es por lo que no deben descartarse las bondades de estas tres especies adaptadas para su uso en sistemas de cultivos de vitro plantas de banano y plátano.

Es evidente también, la manifestación de cierta especificidad de las especies de MVA y el cultivo de plátano, al menos en vitro plantas; sobre el particular existen

elementos probatorios objeto de investigación del autor en su tesis doctoral (Simón, 2000), tema que no fue objeto de estudio en esta oportunidad.

Los resultados antes expuestos se corresponden con reportes recientes realizados por Rengifo *et al.* (2014) y Ferrer *et al.* (2017), de estudios realizados sobre algunas especies botánicas, en los que el nivel de micorrización no sobrepasó en muchas de ellas el 60 %, incluyendo al banano y plátano, tal como refiere López (2013) en condiciones naturales de plantaciones de la región central del estado de Sao Paulo en Brasil.

La tabla 5, corrobora lo planteado por diferentes autores (Reginfo *et al.* (2014), Ferrer *et al.* (2017) y Howeler *et al.* (2014), acerca del efecto nocivo del uso de agroquímicos y agrotóxicos sobre la capacidad infectiva y el grado de micorrización; donde se demuestra que las variantes micorrizadas que recibieron tratamientos con la Ametrina, difieren significativamente con las variantes micorrizadas sin tratar con el agrotóxico.

En cuanto a los bioensayos de fitotoxicidad, son procedimientos analíticos que permiten a través de la respuesta concentración-efecto de un agrotóxico determinado y el efecto en particular producido sobre un organismo vivo utilizado como bioindicador, estimar los niveles presentes causantes de fitotoxicidad.

Este proceder, sin sustituir a los métodos químicos analíticos e instrumentales, da una visión práctica acerca del comportamiento de un agente tóxico o contaminante en el medio circundante.

En la literatura científica especializada en el tema hay una amplia información al respecto, entre ellas las de Diersmeyer (1996); Anderson *et al.* (2004), y en una recopilación presentada en sus libros “Agroecotoxicología y Métodos de Bioensayos Ecotoxicológicos” Simón (2010<sup>a</sup>) y de reciente edición “Agricultura, Química y Biosfera” (SIMÓN, 2019).

Los bioensayos realizados por vez primera en esta oportunidad utilizando vitro plantas, al no disponer de evidencias de lo contrario, muestran de forma fehaciente, la capacidad fitorremediadora del sistema sustrato-vitro plantas-MVA, además del impacto científico, técnico, económico y sobre todo ambiental que representan, sientan pautas en el reconocimiento de los cultivos “*in vitro*” para la realización de bioensayos fitotóxicológicos.





## REFERENCIAS

1. **Abbott, L. K. and A. D. Robson.** 2009. A quantitative study of the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with reference to its taxonomy. *Aust. J. Bot.*, 57: 372-395, 2009
2. **Anderson, J. F. and Marie A. Wojtas.** 2004. Honey bees (Hymenoptera: Apidae) Contaminated with Pesticides and Polychlorinated Biphenyls. *Journ. Econ. Ent.* 91:1223-1263,
3. **Bayer** 2008. Technical Information and developed for the pest control. Division Crop Protection (152), 121p..
4. **Camprubi, A.; C. Calvet; V. Estaun y J. Pera 1987.** Aislamiento de un hongo formador de micorrizas vesiculo-arbusculares y ensayo de su efectividad en Crisantemo y Fresa. *Invest. Agr.: Prod. & Prot. Veg.* 2(3): 281-294
5. **CENICAFE 1999.** Efecto de los insecticidas aplicados a la pulpa de café para el control de la broca sobre la lombriz roja californiana. *Brocarca* (17): 1-2.
6. **CIBA-GEIGY.** Curso Especial de Instrucción sobre Técnicas de Aplicación de Productos Agrotóxicos en Café. Cuba, 1985. \_\_ 224 p.
7. **Collins, Nancy; and F. L. Pflieger** 2012. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae and Cultural Stresses. *Minn: Am. Soc. Agr. Univ. Minnesota*, p. 71-99 (Special Publication; 64)
8. **Dierksmeier, G.** 1996. Plaguicidas, residuos y presencia en el Medio. Cuba: Universidad Central de Las Villas, Tesis Doctoral en Ciencias Agrícolas.
9. **Ferrer Anairad; R. Fernández; Emelina Rengifo; J. García. y Martha Jiménez 2017.** La importancia de las Micorrizas en sistemas agroforestales. *Revista Forestal de Cuba* 7: 301–325.
10. **Habte, M.; T. Aziz; and J. E. Yuen,**. 2004. Residual effect of pesticide on the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis En: 14th North Am. Conf. on Mycorrhizae. \_WY: Univ. of Wyoming Agric. Exp. Stn., Laramie, p. 130
11. **Halliday, W. R. and K. P. Burnham 2008.** Diagnostic dose for monitoring insecticide resistance. *Jour. Econ. Ent.*101: 2051-2089.
12. **Henkel, T. W.; K. Smith and M. Christensen 2007.** Infectivity and effectivity of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi from contiguous soils and southwestern Wyoming. *New Phytologist.* 159: 505-514.
13. **Howeler, R. H.; E. Sieverding and S. Saif 2014.** Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant & Soil.* 121: 440-488.

14. Hurtado, X. y Mustelier, I., 2011. Adaptación y Validación de Procedimientos Biotecnológicos para la producción y comercialización de vitroplantas de plátano en el Centro de Adaptación Tesis de Maestría del Centro de Estudios de Biotecnología Industrial (CEBI), Mención Ambiental, Universidad de Oriente, 101p.
15. **Jabaji-Hare, S. H. and W. B. Kendrick 2005.** Effects of pesticide on root exudation and on composition of extracts of mycorrhizal and nonmycorrhizal leek roots. *Can. J. Plant Pathol.* 27: 18-26.
16. **Khasa, P. V.; V. Furlan and J. A. Fortin 2014.** Response of some tropical plant species to endomycorrhizal fungi under field conditions. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 89(4): 359-383.
17. **López, E. S.** 2013. Ocurrencia natural y distribución de hongos MVA en plantaciones de café (*C.arabica*) en la región central del estado de Sao Paulo, Brasil. *Turrialba.* 53 (7): 623-632.
18. **Matsuyama, T.; M. Sugawa e I. Yano 1997.** Direct colony thin-layer chromatography and rapid characterization of *Pseudomonas aeruginosa* mutant defective in production of wetting agents. *Appli. Environmental Microbial.* 63: 1286-1297.
19. **Matuk, V.; Q. Puerta y V. Rodríguez 1997.** El Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *Cenicafé* 48(4): 234-252.
20. **MINAG/MINSAP, Cuba.** Registro Oficial de Plaguicidas de la República de Cuba Año 2012/2013. La Habana, 2013. \_\_ 235 p.
21. **Moorman, T. B.** 2013. A review of pesticides effects on microorganism and microbial processes related to soil fertility. *J. Prod. Agric. (19):* 24-30.
22. **Nemec, S.** 2005. Influence of selected pesticides on *Glomus* species and their infection in citrus. *Plant & Soil.* 105:133-137.
23. **Ocampo, J. A.; D. S. Hayman 2008.** Effects of pesticides on mycorrhizae in field-grown barley, maize, and potatoes. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 114:213-224.
24. **Pérez C.** 2009. Tendencia actual de los Plaguicidas. En: Congreso Internacional Toxicología '2009. \_Toximed., Santiago de Cuba, 23 p.
25. **Pérez, J. C. y C. Leguizamón 1998.** Interacciones entre micorrizas nativas, *Pseudomonas* spp. fluorescentes y calcio, en el manejo de *Fusarium* spp. en espárragos. *Cenicafé* 49(3): 211-233.
26. **Phillips J. M. and D. S. Hayman 1970.** Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.

27. **Raymond, M.**. 2005. Presentation d'un pprogramme Basic d'analyse log-probit pour micro-ordinateur. ORSTOM, Ser. Entomol. Med. Parasitol. 43: 163-181.
28. **Reginfo Emelina; Anairad Ferrer; I. Cuesta y R. Fernández.**2014. Algunas especies micorrízicas cubanas. En: Resumen. XII Congreso Forestal de Cuba. XII Simposio Internacional de Técnicas Agroforestales. \_La Habana, p. 108.
29. **Siles, J.; F. Jimenez; J. Faustino y D. Kass 1998.** Producción de abono orgánico a partir de pulpa de café mediante lombricompostaje como alteranativa para reducir ala contaminación de las cuencas. Agroforestería de las Américas 5(20): 17-21, 1998.
30. **Simón, F.A. 2000. Contribución al estudio de Impacto de Plaguicidas y sus residuos en Agroecosistemas de montaña en Cuba.** \_\_ Cuba: Universidad Central de Las Villas, 2000. \_Tesis Doctoral en Ciencias Agrícolas.
31. **Simón, F.A. Agroecotoxicología. Métodos de Bioensayos ecotoxicológicos. Editorial Ciencia y Técnica ACC** Cuba: 143p. 2010a ISBN: 978-959-207-389-0 Obra Protegida Registro CENDA, Cuba 554-23022010
32. **Simón, F.A. Agrobiotecnología y Fitosanidad. Editorial Ciencia y Técnica ACC** Cuba: 372p. 2010b ISBN: 978-959-207-389-0 Obra Protegida Registro CENDA, Cuba 551-23022010
33. **Simón, F.A. FILTROS ECOLOGICOS: Biotecnología de Fitoremediación de suelos contaminados con Agrotóxicos. Editorial Ciencia y Técnica ACC** Cuba: 101p. 2010c ISBN: 978-959-207-389-0 Obra Protegida Registro CENDA, Cuba 553-23022010
34. **Simón, F.A.** (2019). Agricultura, Química y Biosfera. Editorial Académica Española 348p. is an imprint of: SIA OmniScriptum Publishings Ed. Morebooks ISBN: 978-613-9-43286-8

# CAPÍTULO 07

## CHARACTERIZATION OF *NEOSSOLOS REGOLÍTICOS* (PSAMMENTS) THROUGH A PLUVIOMETRIC GRADIENT IN BRAZILIAN SEMIARID

### **Sebastiana Maely Saraiva**

Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba – PPGCS/UFPB (2016)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IFSPE

Endereço: BR 232, Km 504, sentido Recife, Zona Rural, Salgueiro/PE,

E-mail: sebastiana.maely@ifsertao-pe.edu.br

### **Vânia da Silva Fraga**

Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares/Aplicação de Isótopos na Agricultura e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (2002)

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Endereço: Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia, PB-079,

Areia/PB, E-mail: vaniasfraga@gmail.com

### **José Coelho de Araújo Filho**

Doutor em Ciências/Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo (2003) e Pós-Doutorado pela Universidade Técnica de Berlim - Alemanha (2009)

Instituição: Embrapa Solos UEP Recife, Rua Antônio Falcão, 402, Boa Viagem, Recife/PE

E-mail: jose.coelho@embrapa.br

### **Roseilton Fernandes dos Santos**

Doutor em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa – UFV(2007)

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB,

Endereço: Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia, PB-079, Areia/PB

E-mail: roseilton@cca.ufpb.br

### **Bruno de Oliveira Dias**

Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, UFLA (2009)

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB,

Endereço: Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia, PB-079, Areia/PB

E-mail: brunodiascca@gmail.com

### **Evaldo dos Santos Felix**

Mestre em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba – PPGCS/UFPB (2016)

Instituição: Instituto Nacional do Semiárido – INSA/PCI/CNPq

Endereço: Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n, Serrotão, Campina Grande/PB, Brasil

E-mail: evaldo.felix@insa.gov.br

### **João Ítalo de Sousa**

Especialista em Manejo Sustentável da Irrigação pra o Desenvolvimento dos

Sistemas Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Instituição: Instituto Flor do Pequi

Endereço: Rua Rui Barbosa, 52, Centro, Crato - CE

E-mail: joaoitaloufpb@gmail.com

### **Kalline Almeida Alves Carneiro**

Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba – PPGCS/UFPB (2019)

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Endereço: Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia, PB-079, Areia – PB

E-mail: kallinequimica2014@gmail.com

**ABSTRACT:** There is still little information about *Neossolos Regolíticos* ( Neosols) , therefore, generating information about fertility, genesis and mineralogy is important to define the proper use and management. The work aimed to characterize morphologically, physically, chemically and mineralogically three *Neossolos Regolíticos* (Psamments) along a pluviometric gradient (<400 mm;> 400 and <600;> 600 mm). For this purpose, trenches were opened, where the description and collection of soil samples proceeded. It was not possible to notice rainfall interference in the differentiation of horizons and depth of soils. However, increased clay contents from very dry soil to the sub-humid zone, showing the influence to rainfall that is also reflected in the natural fertility of *Neossolos Regolíticos* (Psamments).

**KEYWORDS:** Mineralogy; Soil classification; Pedogenesis.

**RESUMO:** No Brasil, o conhecimento sobre esses solos é escasso, o que demanda geração de informações sobre a sua fertilidade, gênese e mineralogia, entre outros aspectos, para o uso e manejo adequados. O objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização morfológica, física, química e mineralógica de Neossolos Regolíticos ao longo de um gradiente pluviométrico no semiárido Paraibano. Para tanto, dividiu-se a região em três zonas de acordo com a precipitação média anual: muito seca (< 10 400 mm), seca ( $\geq$  400 e  $\leq$  600 mm) e subúmida (> 600 mm) onde foram abertas três trincheiras para coleta e descrição dos solos em cada horizonte. Não foi possível notar interferência da pluviometria na diferenciação dos horizontes e na profundidade dos solos. Os teores de argila aumentaram do solo da zona muito seca para a subúmida, evidenciando a influência das precipitações pluviométricas que também se refletiram na fertilidade natural dos Neossolos Regolíticos. A mineralogia da fração argila mostrou-se relativamente semelhante entre os solos estudados com caulinita, quartzo, feldspato e mica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineralogia; Classificação de solo; Pedogênese.

## 1. INTRODUCTION

*Neossolos Regolíticos* (Psamments) occupy about 5 % of the total area of Paraíba State and are grown mainly with consortia of corn, beans, potatoes, among other typical crops of family farming. Even with a predominantly sandy texture, low water retention capacity and nutrient adsorption, in addition to a low content of organic matter and nitrogen, they are intensively used in agriculture, especially for their favorable physical characteristics.

They are soils which are very susceptible to erosion, especially when turned over, and often require nitrogen and phosphate fertilizers. Allied to this, sandy texture provides an intense leaching of nutrients (GALVÃO, SALCEDO and OLIVEIRA, 2008; CAVALCANTE *et al.*, 2005). However, the most important agricultural limitation refers to the environmental conditions of the semi-arid region, notably low and irregular rainfall, but also high-intensity rains when they happen, and also high evapotranspiration. The agricultural use of these soils must be carried out carefully in order to minimize the effects caused by erosion and to avoid intensive leaching of nutrients. In addition, it is desirable to use techniques that aim to improve fertility, aggregation and the ability to retain moisture. Therefore, these soils need to be well characterized in order to adopt management techniques compatible to their weaknesses.

As for their morphogenetic characteristics, *Neossolos Regolíticos* (Psamments) are soils with lithic contact at a depth larger than 50 cm and the horizon A overlying the horizon C or Cr, being able to admit a horizon Bi less than 10 cm thick (SANTOS *et al.*, 2018).

The climate has a decisive influence on soil formation, especially in tropical regions, such as Brazil, since high rainfall and temperatures are important for triggering the chemical and physical reactions (chemical and physical weathering) that transform soil origin material (TOLEDO, OLIVEIRA and MELFI, 2001). On the other hand, in semi-arid regions, the climate, characterized by low levels of precipitation and high temperatures, hinders the evolution of soils, so that they retain many characteristics of the source material.

Physical, chemical, morphological and mineralogical soils characterization is a way of providing subsidies for the development of practices for the use, management and conservation of soils (JACOMINE, 1996). In semi-arid regions, where soils are

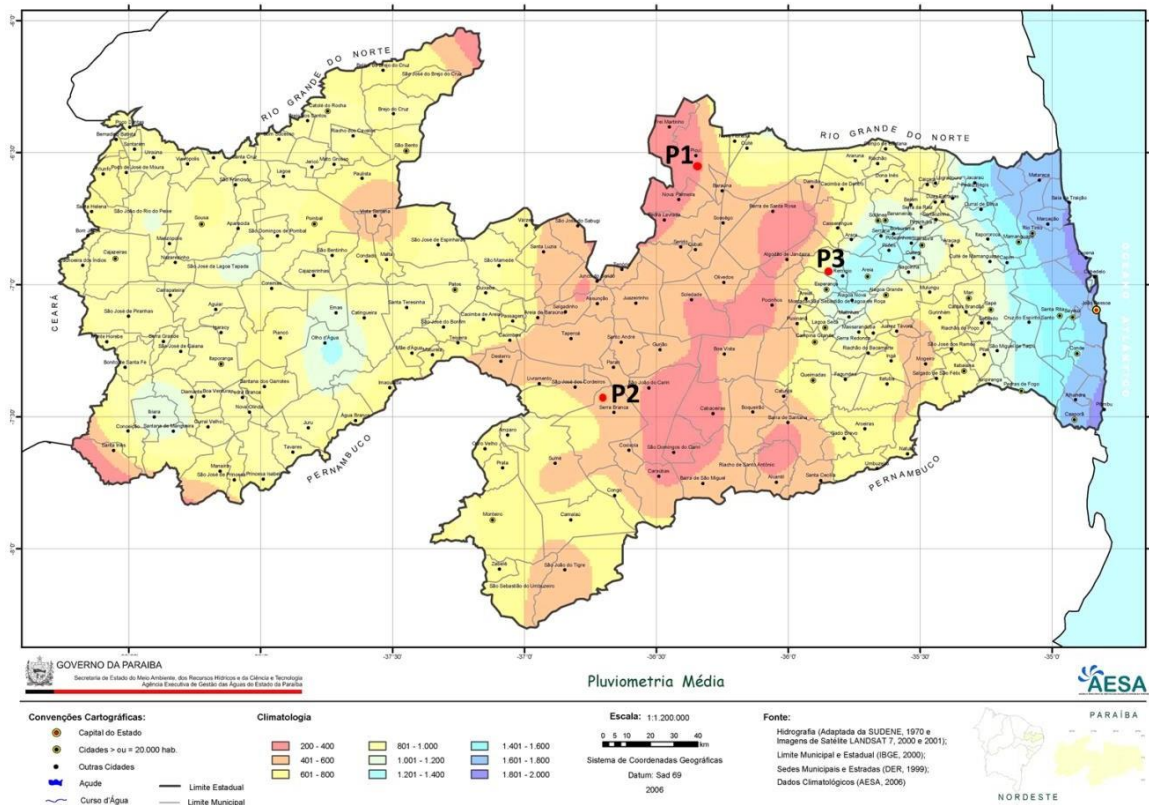
generally very poor in organic matter, the study of the mineralogical composition and the morphological, chemical and physical transformations that occur in the soil is fundamentally important to understand its pedogenesis.

The technical-scientific scenario on soils in the semiarid region has evolved considerably in recent years. However, knowledge in some areas of soil science such as pedogenetics and mineralogics is still limited. Therefore, they need more in-depth and specific studies to support other areas of research, such as soil fertility and chemistry, as well as in the planning of programs and activities aimed at the sustained development of this region. Considering the above, the present work was developed with the aim of describing the morphology and characterizing the mineralogy and physical and chemical attributes of three *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in a pluviometric gradient in the Brazilian Semiarid.

## 2. MATERIALS AND METHODS

The studies were performed in the semi-arid region of Paraíba, considering a pluviometric gradient and the occurrence of *Neossolos Regolíticos* (Psamments). Paraíba's exploratory-soil recognition map (JACOMINE *et al.*, 1972) and Paraíba's rainfall map (AESAs, 2007) were used as a reference. Three zones were considered, according to rainfall, designated as follows: very dry - precipitation <400 mm; drought - precipitation  $\geq 400$  mm and  $\leq 600$  mm; and sub-humid - precipitation > 600 mm (Figure 1).

**Figure 1** – Average rainfall of Paraíba, with profile collected points from Neossolos in a pluviometric gradient (AESA adapted, 2007)



The P1 profile corresponds to the *Neossolos Regolíticos* (Psamments) located in the very dry zone, collected in a flat top situation under degraded caatinga vegetation, whose source material is associated with indiscriminate granitoids.

The P2 profile corresponds to the *Neossolos Regolíticos* (Psamments) dry zone, located at the top of a slightly flat area, whose regional relief is flat to smooth undulating and the vegetation is the hyperxerophilous caatinga composed of quince, catingueira, rosemary, xique-xique among others, originated of granitic rocks.

The P3 profile corresponds to the *Neossolos Regolíticos* (Psamments) sub-humid zone, collected in an area of smooth way to wavy relief and under pasture vegetation, annual and fruit crops, whose original material is a syenogranite with muscovite.

In each selected area, a trench was opened for the morphological description of soil profiles and the collection of deformed and undeformed samples, as Santos *et al.* (2015). Soils were classified according to the Brazilian Soil Classification System - SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018) and correlated with the North American Soil Taxonomy



classification (Soil Survey Staff, 1999).

The physical analyzes of the soils were carried out according to the methodology presented by Teixeira *et al.* (2017) and included the following determinations: granulometry, clay dispersed in water (CDW), density of soil and particles and calculated the degree of flocculation and total porosity.

The analysis of the chemical attributes of the soil included determination of the contents of exchange able bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  and  $\text{K}^{+}$ ),  $\text{Al}^{3+}$  and potential acidity ( $\text{H}^{+}$  +  $\text{Al}^{3+}$ ), adopting the method of  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; phosphorus (assimilable P), pH in water and pH in  $\text{KCl}$  and electrical conductivity (EC). All analyzes were performed according to the methodologies described by Teixeira *et al.* (2017). Based on these determinations were calculated: sum of bases (S), cation exchange capacity (CTC), base saturation (V), percentage of saturation by sodium (PST) and percentage of saturation by aluminum (m). The organic determination was based on Yeomans and Bremner methodology (1988).

For the assessment of soil fractions mineralogy, samples from the upper, middle and lower horizons were selected in the studied profiles. The air-dried fine soil samples (TFSA) were subjected to the wet fractionation process (sand) and decantation (silt and clay). The clay fraction was subjected to treatment to eliminate free iron oxides and then subjected to treatments for saturation with  $\text{K}^{+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  for assembly of oriented aggregates on glass slides for further analysis by X-ray diffraction (XRD) (JACKSON, 1975).

The clay fraction was analyzed by XRD in the form of non-oriented powder (clay without pre-treatments), as well as in the form of aggregates oriented on glass slides, considering the following treatments: saturated with  $\text{K}^{+}$  at room temperature - K 25, heated to  $350^{\circ} \text{C}$  (K 350), heated to  $550^{\circ} \text{C}$  (K 550); and saturated  $\text{Mg}^{2+}$  (Mg) and  $\text{Mg}^{2+}$  solvated with glycerol (Mg-GI). All samples were irradiated at room temperature in a Shimadzu XRD-6100 diffractometer, operating at a voltage of 40 kv, with a current of 20 mA, copper  $\text{K}\alpha$  radiation, with scanning range 3 to  $30^{\circ}$ , with a step  $2\theta / \text{min}$ .

The interpretation of the reflections in the diffractograms and the identification of the minerals of the clay fraction, compared to the treatments carried out on the samples, were carried out according to criteria in force in Jackson (1975); Dixon and Weed (1989); Whittig and Allardice (1976) and Moore and Reynolds (1989).

## 2. RESULTS AND DISCUSSION

### 2.1 Morphological properties

The profiles of studied *Neossolos Regolíticos* (Psamments), in general, show similarities regarding to their morphological attributes and there is no clear interference from the rainfall gradient of the semiarid in the depth of these soils. The three profiles showed similar depths, ranging from 1,50 to 1,95 m, with a sequence of horizons of type A-C (Table 1).

**Table 1** – Morphological features of three studied Neosoils in a pluviometrical gradient in the Paraíba dry region

Hor.	Depth (cm)	Colour		Tex.	Structure	Consistency		
		Humid	Dry			Dry	Humid	Wet
P1 – Neosoil – very dry area (Picuí)								
A	0-15	10 YR 6/3	10 YR 8/2	Sd	1 Sm-Md	Sm	TC	NPI SS
CA	15-35	10 YR 6/4	10 YR 8/2	Sd	1 Sm-Md	Sm	TC	NPI NSt
C	35-110	10 YR 6/3	10 YR 8/2	Sd	1 Sm-Md	Sm	TC	NPI NSt
Cn	110-155	10 YR 6/4	10 YR 7/3	Sd	1 Sm-Md	Sm	TC	NPI NSt
C'	155-195	10 YR 6/3	10 YR 8/2	LoS	1 Sm-Md, Sb	Un	Un	NPI NSt
P2 – Neosoil – dry area (Serra Branca)								
A	0-12	10 YR 5/3	10 YR 7/3	LoS	1 Sm-Md	Sm-SH	TC	SPI NSt
CA	12-35	10 YR 7/3	10 YR 8/2	LoS	1 Sm-Md	Sm-SH	TC	NPI NSt
C1	35-100	10 YR 7/3	10 YR 8/2	LoS	2 Sm-Md, Sb	Sm-SH	TC	NPI NSt
C2	100-160	10 YR 7/3	10 YR 8/2	LoS	1 Sm-Md, Sb	Sm	TC	NPI NSt
R/Cr	160-190+							
P3 – Neosoil – humid area (Remígio)								
Ap	0-14	10 YR 3/2	10 YR 5/2	SL	2 Sm, Gt	Sm	TC	NPI NSt
AC	14-37	10 YR 2/2	10 YR 5/2	LoS	1 Sm, Sb	Sm-SH	TC	NPI NSt
C	37-70	10 YR 4/3	10 YR 6/2	LoS	1 Sm	Sm	TC	NPI NSt
Cn1	70-130	10 YR 4/3	10 YR 6/2	LoS	1 Sm-Md	Sm	TC	NPI NSt
Cn2	130-150+	10 YR 5/3	10 YR 6,5/3	LoS	1	Sm	TC	NPI NSt

Hor.: horizon. Dep.: depth. Tex: texture; Sd – sand; LoS – low sand; Francoarenosa – sandy loam (SL). Structure: 1 – simple grit; 2 – Clump; Sm – small; Md – medium; Sb – subangle blocks; Gt – grint. Consistency: Un – Unleash; Sm – smooth; SH – slightly hard; TC – too cold; NPI – non plastic; SPI – slightly plastic; NSt – Non sticky; St – sticky; SS – slightly sticky.

The *Neossolos Regolíticos* (Neosols) from the very dry zone (Picuí - P1) and the dry zone (Serra Branca - P2) have an A horizon with 12 to 15 cm thick, color with a

value  $\geq 4$  in wet soil and value  $\geq 6$  in dry soil, and CO, less than  $6 \text{ g kg}^{-1}$ , featuring a weak A horizon. The *Neossolos Regolíticos* (Psamments) from the sub-humid zone (Remígio - P3) showed a relatively thick surface horizon, 37 cm thick, with a dark color, base saturation below 65 %, featuring a prominent A horizon according to criteria established by SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018).

As for color, all profiles of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) studied fit the 10YR hue with gray, and white colors (Table 1) reflecting the characteristics of the searched material. The textural class ranged from sand to fullsandy, with a predominance of the sand fraction over the others. As for the soil in the sub-humid zone, it is possible to infer that it is slightly more developed than the others because it has a slightly finer texture throughout the profile. For comparison, the studied profiles in the Exploratory Survey-Recognition of Soils of Paraíba State (JACOMINE *et al.*, 1972) present more than 80 % of quartz in its composition, mineral which gives whitish color to the soils.

The structure of the soils is predominantly of the simple grains type and a weak part small to medium subangular blocks. According to Santos *et al.* (2012), the climatic conditions and the similar nature of the source materials throughout the semiarid region are responsible for the small variation in the morphological characteristics of the soil profiles of the class of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in Pernambuco's semiarid region.

## 2.2 Physical properties

In the studied profiles, coarse fractions (pebble + gravel) have little representation in the soil mass, with maximum values of 9 % (data not shown). The total sand contents varied from 692 to 932  $\text{g kg}^{-1}$  soil in the superficial horizons and from 781 to 870  $\text{g kg}^{-1}$  soil in the subsurface horizons (Table 2). When comparing similar horizons with each other, it is possible to notice that the lowest levels of sand occur in the sub-humid condition, which may be related to slightly more accentuated weathering in this condition. Fernandes *et al.* (2010) also observed high levels of sand in *Neossolos Regolíticos* (Psamments) of semi-arid region in Sergipe State, often above 700  $\text{g kg}^{-1}$  soil.

**Table 2** – Physical characteristics of the three profiles of Regolitic Neossols studied in a pluviometric gradient in the semi-arid region of Paraíba

Hor	AFLD	Granulometrical composition of fine land					CDW	FD	Silte/ Clay Rel.	Densities		Poros.	
		Sand			Silte	Clay				Soil	Part.		
Gross			Total	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
										%	-- Mg m <sup>-3</sup> --	dm <sup>3</sup> .dm <sup>3</sup>	
P1 – Neosoil – very dry area (Picuí)													
Ap	976	712	221	932	11	56	0	100	0,20	1,59	2,50	0,36	
CA	978	638	233	870	83	47	0	100	1,75	1,59	2,66	0,40	
C	963	672	198	870	65	65	0	100	1,00	1,52	2,49	0,39	
Cn	913	817	83	899	40	60	25	58	0,67	1,65	2,55	0,35	
C'	909	675	180	855	58	87	25	71	0,67	1,70	2,85	0,40	
P2 – Neosoil – dry area (Serra Branca)													
A	999	509	333	842	90	68	0	100	1,33	1,60	2,66	0,40	
CA	998	518	298	815	119	66	25	62	1,80	1,60	2,56	0,38	
C1	997	605	245	850	100	50	25	50	2,00	1,59	2,66	0,40	
C2	998	521	312	833	111	56	25	55	2,00	1,66	2,56	0,35	
P3 – Neosoil – humid area (Remígio)													
Ap	969	524	168	692	201	107	13	88	1,88	1,30	2,56	0,49	
AC	981	538	240	778	118	104	15	86	1,13	1,33	2,62	0,49	
C	972	550	231	781	95	124	18	85	0,77	1,44	2,61	0,45	
Cn1	983	526	282	808	80	112	12	89	0,71	1,47	2,60	0,43	
Cn2	983	540	275	815	75	110	14	87	0,68	1,43	2,60	0,45	

Hor.: horizon; AFLD: Aired fine land; CDW: Clay dispersed by water; FD: flocculation degree; Part.: Particuly; Poros.: porosity

There was a coarse sand fraction predominance in all horizons of the *Neossolos Regolíticos* (Psamments) profiles, revealing that the studied soils are pedogenetically underdeveloped. The sand contents are inversely correlated with the rainfall indexes of each region, showing that the lower the humidity in the system, the lower the weathering rates, resulting in coarser textured soils.

In the superficial horizons (A) the silt contents varied from 11 to 201 g kg<sup>-1</sup>, with an increase in the contents of this fraction due to the increase in the humidity in the environment. Since these are poorly developed soils, the higher levels of silt in the sub-humid condition may reflect the favoring of weathering processes due to humidity, which promotes the reduction of the size of the largest particles in silt and clay (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

In general, clay contents were very low, varying from 56 to 107 g kg<sup>-1</sup> soil in the superficial horizons and from 50 to 124 g kg<sup>-1</sup> soil in the subsurface horizons (Table 2), always with the highest soil contents of the sub-humid condition. The influence of the rainfall gradient in the rocks and minerals weathering in semi-arid conditions is evident when comparing similar horizons with each other. The low clay content represents a

characteristic of this soil class, which has an essentially sandy texture. In spite of this, the values found in the studied soil profiles are slightly higher than those of the profiles of this soil class previously described and presented in the Exploratory Survey of Soil Recognition of Paraíba State (JACOMINE *et al.*, 1972), which varied between 30 and 70 g kg<sup>-1</sup> soil.

The highest soil density was observed in the dry condition (Table 2), probably because it had the lowest organic C content. This is evident when observing the profile data of the sub-humid condition with the highest levels of organic carbon (Table 3), as observed by Santos *et al.* (2012). The physical characteristics of the studied soils, with the predominance of the sand fraction in its granulometry and low clay contents, give these soils an excessive drainage and low water retention and storage capacity. These properties are important for the choice of the crop to be implanted, for the definition of management practices, as well as for planning of soils fertilization and irrigation programs.

### 2.3 Chemical properties

*Neossolos Regolíticos* (Psamments) showed H<sub>2</sub>O pH in ranges of values that classify them as strong to slightly acidic (Table 3). Results similar to those observed by Silva *et al.* (2014) in *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in the semi-arid region of Rio Grande do Norte State. The acidity of these soils may be related to the substitution of bases exchangeable with H<sup>+</sup> ions in the exchange complex and also to the low levels of clay.

The levels of organic carbon present in the horizons A of the studied *Neossolos Regolíticos* (Psamments) varied between 8,77 and 2,66 g kg<sup>-1</sup> soil (Table 3), revealing a clear influence of rainfall in the organic carbon accumulation in the soil as expected. The observed levels of this element are lower than those observed by Santos *et al.* (2012) who studied *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in the semiarid region of Pernambuco, with values of 6 to 14 g kg<sup>-1</sup> soil, in the superficial horizons.

The Ca<sup>2+</sup> ranged from 0,20 to 3,64 cmolc kg<sup>-1</sup> soil, in the superficial horizons (Table 3), with soil increase of the sub-humid condition, being in agreement with the levels of organic carbon. The contents of Mg<sup>2+</sup> varied from 0,07 to 0,43 cmolc kg<sup>-1</sup> soil in the superficial horizons, being similar in the dry and sub-humid conditions. The

influence of moisture content is evident when assessing Mg<sup>2+</sup> levels in the subsurface horizons, where the highest values are in P3 (sub-humid zone). In spite of this, these values are lower than those of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) of Agreste paraibano studied by Menezes and Salcedo (2007), up to 60 cm deep.

**Table 3** – Chemical characteristics of three profiles of Regolitic Neossols in a pluviometric gradient in the semi-arid region of Paraíba.

Hor.	pH		OC	P	Ca+Mg	Na	K	SB	H	CEC	V	SS	AlSm	EC
	H2O	KCl	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- (cmolc kg <sup>-1</sup> ) -----						----- (%) -----		dS m <sup>-1</sup>	
P1 – Neosoil – very dry area (Picuí)														
Ap	5,35	4,26	2,66	2,88	0,27	0,04	0,05	0,36	3,63	3,99	8,90	1,00	0,00	0,56
CA	5,99	4,58	3,37	2,60	0,14	0,04	0,08	0,26	2,31	2,57	10,89	1,56	0,00	0,54
C	5,91	4,56	2,66	1,56	0,27	0,03	0,08	0,38	2,03	2,41	15,38	1,25	0,00	0,87
Cn	5,20	3,96	1,60	2,44	0,11	0,35	0,10	0,55	3,75	4,30	12,80	8,14	0,00	0,57
C'	5,66	4,34	0,71	2,72	0,21	0,05	0,06	0,32	1,20	1,52	20,76	3,30	0,00	0,53
P2 – Neosoil – dry area (Serra Branca)														
A	5,61	4,49	6,53	3,90	0,74	0,02	0,09	0,84	3,22	4,06	20,73	0,49	0,00	1,20
CA	5,48	3,54	3,26	5,18	0,31	0,02	0,06	0,38	3,02	3,40	11,17	0,59	0,00	0,54
C1	5,10	3,53	3,44	5,28	0,11	0,02	0,05	0,17	2,64	2,81	6,04	0,71	0,00	0,56
C2	5,58	3,43	1,85	1,87	0,14	0,06	0,05	0,25	1,93	2,18	11,34	2,76	0,00	0,51
P3 – Neosoil – humid area (Remígio)														
Ap	6,22	5,28	7,41	7,22	4,07	0,08	0,20	4,35	3,42	7,77	55,99	1,06	3,35	1,26
AC	5,52	4,51	8,77	4,48	1,87	0,05	0,06	1,97	4,25	6,23	31,68	0,78	1,49	0,97
C	4,89	4,08	4,94	5,19	0,77	0,24	0,05	1,07	4,61	5,68	18,88	4,26	12,67	0,98
Cn1	6,32	4,26	1,43	5,18	0,79	0,42	0,04	1,25	5,00	6,25	20,02	6,76	7,76	0,83
Cn2	5,89	4,14	3,30	4,93	0,53	0,36	0,03	0,92	4,72	5,64	16,26	6,31	5,07	0,65

Hor.: Horizon; OC: Organic Carbon; SB: Sum of Bases; CEC: Cation exchange capacity; Value V: Saturation by base; SS: Sodium saturation; AlSm: Saturation by aluminum; EC: Electrical Conductivity.

Despite most of the horizons of the studied *Neossolos Regolíticos* (Neosols) have low Ca +Mg contents, these two cations contribute at least 53 % of these soils base sum (S value), except in the Cn horizon in very dry condition - P1 , where the largest contribution is from the Na + cation (Table 3). The higher levels of sodium in the horizons Cn1 and Cn2 of P3 and Cn of P1, reaching a percentage of sodium saturation above 6 % and <15 %, give these horizons the sodic character (SANTOS

*et al.*, 2018).

As they are excessively heavily drained soils, the values of electrical conductivity (EC) are low and ranged from 0,51 dS m<sup>-1</sup> on the C2 horizon of P2 to 1,26 dS m<sup>-1</sup> on the Ap horizon of P3, representing no risk of salinization to the soil, nor impediment to the development of the cultures. In these soils there is a tendency to increase CTC with an increase in the humidity of the environment, corroborating with the results already presented for the contents of organic carbon and Ca, both in the superficial horizons and in the subsurface (Table 3).

In the case of *Neossolos Regolíticos* (Neosols) from the sub-humid condition, it is important to note that the CTC also received a contribution from Al levels, which ranged from 0,09 to 0,72 cmolc kg<sup>-1</sup> soil (data not shown). The results for the CTC values are lower than those obtained by Silva *et al.* (2014) in *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in Rio Grande Norte semi-arid region. These low levels of CTC can be attributed to the nature of the soil texture, which is essentially sandy, as explained by Santos *et al.* (2012) when they studied several *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in Pernambuco state.

In areas with very dry (P1) and dry (P2) humidity conditions, *Neossolos Regolíticos* (Psamments) were found in highly degraded hyperxerophilous caatinga vegetation and, at times, subject to water erosion, due to the intensity of rainfall in a short period of time, and also to wind in the dry period. In the sub-humid condition (P3), soil was under cultivation of annual and fruit crops, in addition to a dense layer of native pasture with an abundant root system.

The three profiles studied showed base saturation (V value) below 50 %, except for the Ap horizon of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in the sub-humid condition, which reached the value around 56 % (Table 3) due to the higher content of bases and organic matter on the horizon. In the semi-arid region, these soils are intensely used in family farming that uses rudimentary cultivation techniques. However, they do not always guarantee an adequate supply of plants nutrients, which can cause deterioration of their low fertility naturalness.

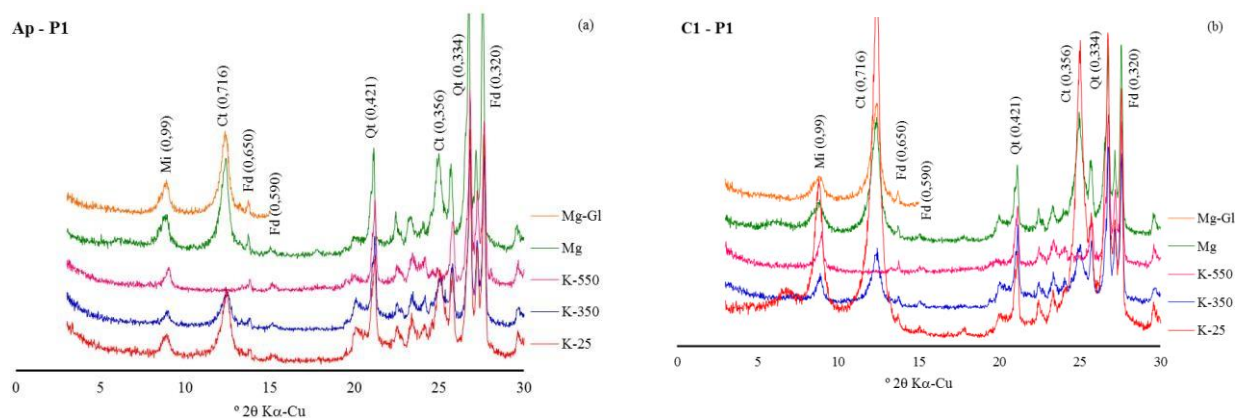
Soil management alternatives for three moisture situations studied in this research should be guided by environmental sustainability, and it can be suggested, according to the availability of moisture in the different environments, that in the drier areas these soils should be used with natural pasture and for protection of local fauna and flora (P1 - Picuí); in areas with intermediate humidity conditions, management

systems for native vegetation integrated with the cultivation of pastures and fruit trees and the creation of small animals can be adopted (P2 - Serra Branca), a practice known as enriching the caatinga; and in the condition of greater water availability, the adoption of Agroforestry Systems - SAFs is indicated, which integrate the use of soil with native vegetation, planting of fruit trees, pastures and annual crops (P3 - Remígio).

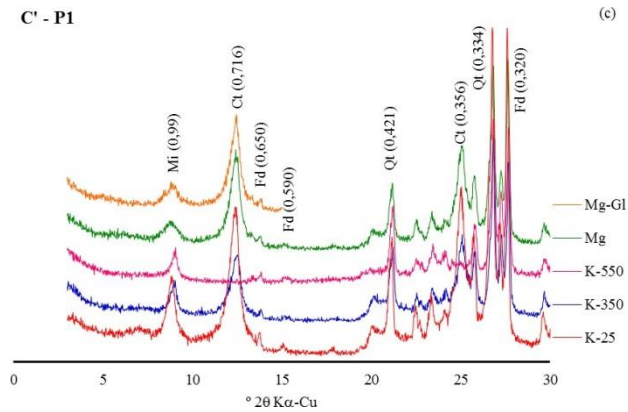
## 2.4 Mineralogy

Regarding mineralogy, X-ray diffractograms (XRD) of the soils clay fraction are represented in figures 2 to 4. It basically comprises kaolinite and mica. However, in the very dry zone it was also possible to verify the presence of quartz and feldspars. The presence of easily alterable primary minerals, such as feldspar, is an important characteristic of *Neossolos Regolíticos* (Psamments), as it is used in the distinction between the Quartzarênicos and Regolítico suborders (SANTOS *et al.*, 2018), being responsible for the greater agricultural potential of the latter (SANTOS *et al.*, 2012).

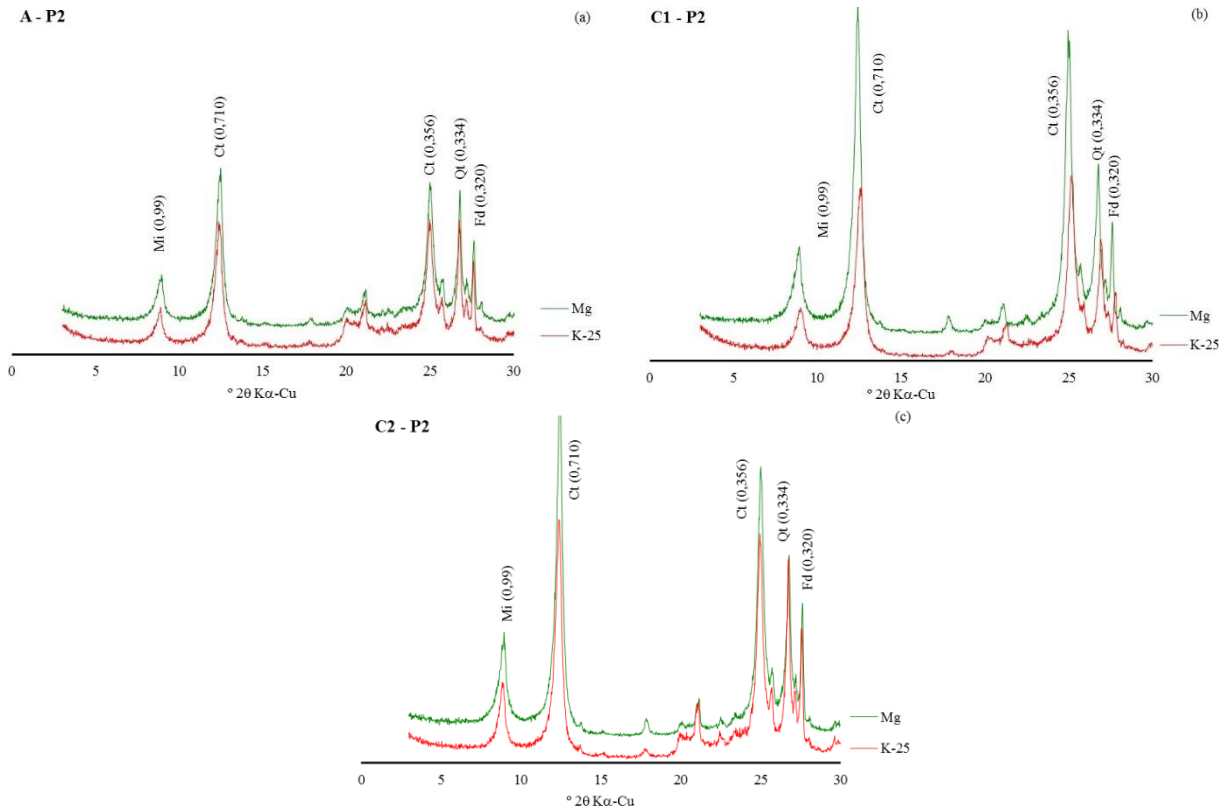
**Figure 2** – X-ray diffractograms of the clay fraction saturated with potassium at room temperature (K-25), heated to 350 °C (K-350) and 550 °C (K-550) and saturated with magnesium (Mg) and solvated with Glycerol (Mg-Gl) from the horizons Ap (a), C1 (b) and C' (c) of P1 (Neosol Regolytic from very dry zone - Picuí). Mi - Micca, Ka - kaolinite, Fd - feldspar, Qt - quartz.





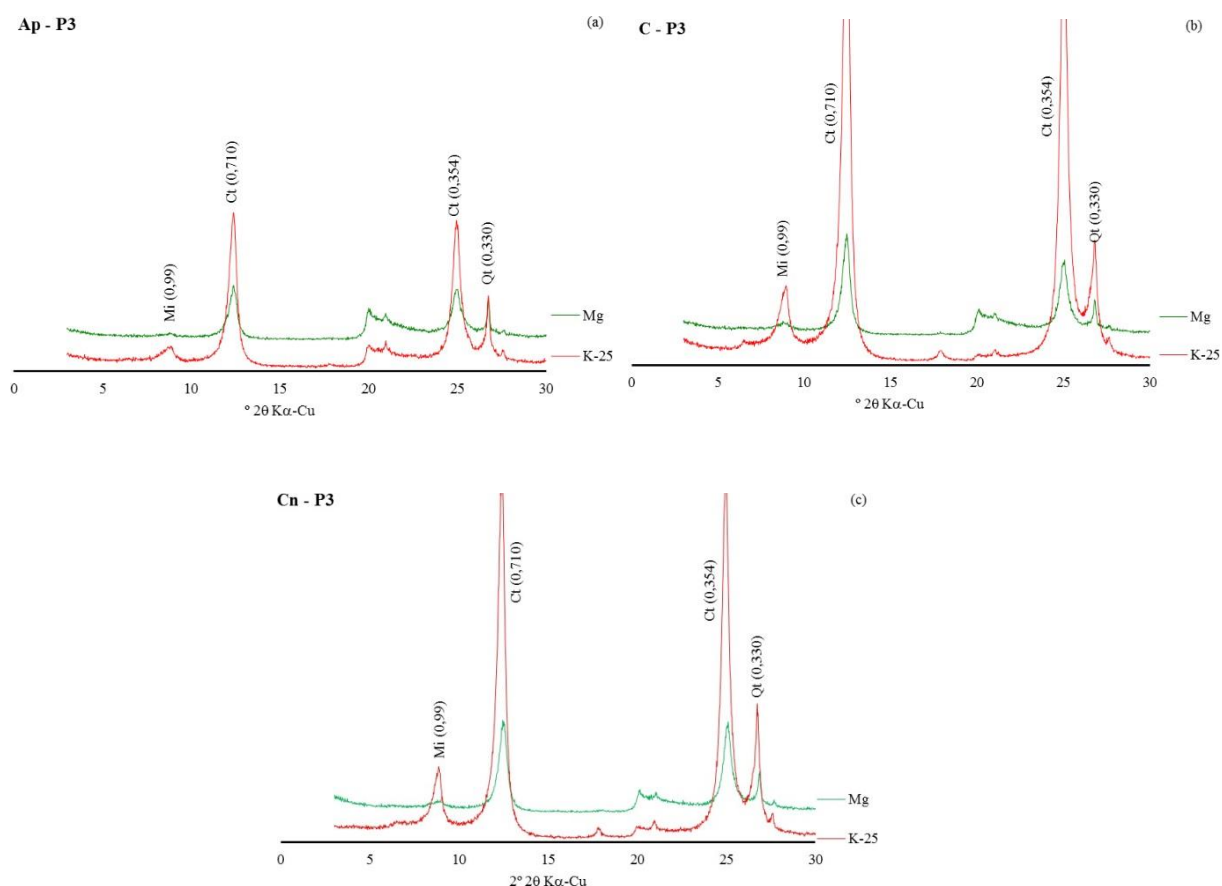


**Figure 3** – X-ray diffractograms of the clay fraction saturated with potassium at room temperature (K-25) and saturated with magnesium (Mg) from horizons A (a), C1 (b) and C2 (c) of P2 (Regolitic Neossol) from dry zone - Serra Branca). Mi - mica, Ka - kaolinite, Qt - quartz, Fd - feldspar.



In the mineralogical assembly of the studied horizons in the P3 - *Neossolos Regolíticos* (Psamments) of the sub-humid zone, the presence of mica (0,99 nm), kaolinite (0,710 nm) and quartz (0.334 nm) is more prominent (Figure 4), possibly due to the effect of environmental humidity.

**Figure 4** – X-ray diffractograms of the clay fraction saturated with potassium at room temperature (K-25) and saturated with magnesium (Mg) from the horizons Ap (a), C (b) and Cn (c) of P3 (Regolitic Neossol) from sub-humid zone - Remigio). Mica, Ct - kaolinite, Qt - quartz.



The presence of kaolinite in the studied soils is confirmed by the peak collapse (0,716 nm) in the saturated treatment with potassium and heated to 550 C. This kaolinite was formed, probably, from the alteration of feldspars that underwent chemical weathering caused by the action of the infiltration water in the bedrock.

In general, profiles are very similar to each other and have a practical identical mineralogical composition. Quartz and feldspar appear in all horizons of the studied profiles, as also observed by Almeida *et al.* (2015) in *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in Pernambuco state. The presence of quartz in the clay fraction is possibly linked to the coarse clay fraction, given the reduction of its stability in the smaller fractions. This is indicative of low degree of soils pedogenetic development in semi-arid regions, according to Oliveira *et al.* (2004).

Feldspars are present in all fractions of the studied *Neossolos Regolíticos* (Psamments), however they decrease in the clay fraction of the sub-humid zone. According to Santos *et al.* (2012) this mineral is decisive in the new formation of

kaolinite in semiarid soils and when present in the finer fractions, it represents an important reserve of nutrients, especially when it comes from soils with a sandy texture and low CTC.

Mica is a mineral that occurs in the clay fraction of all the horizons of the studied *Neossolos Regolíticos* (Psamments) profiles. In most cases, it is inherited from the source material it self, and is a precursor to 2:1 clay minerals. Micas have the potential to be an important source of K for plants, releasing it during their weathering (RESENDE *et al.*, 2011).

Despite the low degree of development of the studied soils, the presence of minerals such as feldspar and mica can represent an important reserve of nutrients for the soil and for plants. Such nutrients will be released as the weathering reactions are processed. Techniques adoption promote the maintenance of soil moisture, such as mulch and shading offered by larger plant species, may promote the acceleration of chemical reactions and release of these nutrients.

## 2.5 Soil taxonomy considerations

The studied soils represent a core concept of the *Neossolos Regolíticos* (Psamments) and, in thesecond categorial level, they are framed in the suborder of the SiBCS *Neossolos Regolíticos* (Neosols) (SANTOS *et al.*, 2018), as they do not present a diagnostic B horizon, nor fragmentary lithic or lithic contact within 50 cm from the surface, nor do they meet the requirements of the other *Neossolos Regolíticos* (Neosols) suborders in SiBCS. Because they are soils with a predominance of sandy texture within 150 cm surface, they are all included in the same large group of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) in the third SiBCS categorial level.

From the fourth categorial level (subgroups), soils start to differentiate among themselves according to the percentage of sodium exchange (PST), types of surface horizon (weak, moderate and prominent), differences in texture classes (from sandy in the dry zone to fullsandy in the sub-humid zone) and also due to small differences in the mineralogy of the clay fraction (increase in the proportion of kaolinite from the dry to sub-humid zone). In the fourth SiBCS categorial level, the last level to be considered in this study, the P1 and P3 profiles were classified as solids psolitic *Neossolos Regolíticos* (Psamments) for presenting sodium saturation larger than or

equal to 6 % and less than 15 % within 150 cm in the surface of the ground; and P2 was classified as a typical psammitic *Neossolos Regolíticos* (Psamments). Such differences in sodium saturation are mainly due to variations in the mineralogical composition of the soil source material and according to local drainage conditions.

#### 4. CONCLUSIONS

The physical and mineralogical attributes of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) were influenced by the pluviometric gradient, since the clay contents increased gradually as well as there was a visible change in the soil proportion of kaolinite/mica from the very dry to the sub-humid zone.

The natural fertility of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) was also influenced by the precipitation indices, which was mainly reflected in the higher levels of CO, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> and CTC in *Neossolos Regolíticos* (Psamments) of sub-humid condition in relation to the other *Neossolos Regolíticos* (Psamments).

Three soil profiles studied could be classified adequately in SiBCS up to the fourth categorical level in the following classes: P1 and P3 - Soluble *Neossolos Regolíticos* (Psamments); and P2 - Typical *Neossolos Regolíticos* (Psamments). Kaolinite, quartz, feldspars and mica are the most common minerals present in the clay fraction of all horizons of *Neossolos Regolíticos* (Psamments) evaluated in this work. The last two minerals are highly important in sandy texture soils, as they represent a potential source of nutrients.

## REFERENCES

- AESA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba – PERH-PB**. João Pessoa: SECTMA, 2007.
- ALMEIDA, A. V. D. L. *et al.* Atributos físicos, macro e micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39 (5):1235-1246, 2015.
- CAVALCANTE, F. de S. *et al.* Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, IV (8): 1-10, 2005.
- DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: SSSA, 1989.
- FERNANDES, L. S. C. *et al.* Caracterização e classificação de solos de litotopos sequência do Projeto Xingó-SE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 5 (2): 191-201, 2010.
- GALVÃO, S. R. da S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 43 (1): 99-105, 2008.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis: advanced course**. 2. ed. Madison, 1975.
- JACOMINE, P. K. T. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/Sudene, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15; Série Pedologia, 14).
- JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas – Características e usos agrícolas. In: ALVARES, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds). **O Solo nos grandes domínios morfo pluviométricos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, 1996. p. 95-155.
- MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, 11 (4): p. 361-367, 2007.
- MOORE, D.M.; REYNOLDS, R.C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals**. Oxford: University Press, 1989.
- OLIVEIRA, L. B. de. *et al.* Micromorfologia e Gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32 (6): 2407-2423, 2008.
- OLIVEIRA, L. B. *et al.* Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos planossólicos do Sertão do Araripe, estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28 (4): 665-678, 2004.

- RESENDE, M. *et al.* **Mineralogia de Solos Brasileiros: Interpretações e Aplicações**. 2. ed. rev. ampl. Lavras: UFLA, 2011.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF:Embrapa, 2018. 356p.
- SANTOS, J. C. B. dos *et al.* Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36 (3): 683-695, 2012.
- SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 7.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 2015.
- SILVA, M. L. do N. *et al.* Topossequência de Neossolos na zona rural de Florânia, Rio Grande do Norte. **Revista Agropecuária Científica do Semiárido** 10 (1): 22-32, 2014.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. Washington, DC. 1999. 869 p. (USDA. Agriculture Handbook 436).
- TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análises de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p. il.
- TOLEDO, C. M.; OLIVEIRA, M. B. de; MELFI, A. J. Intemperismo e Formação do Solo. In.: TEIXEIRA, W. *et al.* **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.
- WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. In: BLACK, C.A., (Ed.). **Methods of soil analysis**. 4. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1976. p. 671-698.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. *Comm Soil Scienc Plant Anal.* 1988; 19: 1467-1476.

# CAPÍTULO 08

## O QUE É O CAVALO? COMO A LITERATURA DE FICÇÃO CONTRIBUI PARA A RESPOSTA

### João Paulo Novelletto Pisa

Médico Veterinário, Mestre

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rod. Admar Gonzaga, 1346. Itacorubi, Florianópolis/SC, Brasil

E-mail: joaopisamdv@gmail.com

### Denise Pereira Leme

Médica Veterinária, Doutora

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Rod. Admar Gonzaga, 1346. Itacorubi, Florianópolis/SC, Brasil

E-mail: denise.leme@ufsc.br

**RESUMO:** Cavalos são seres muito especiais, que afetam a imaginação humana, depois se transformam em arte. Uma dessas formas de arte é a literatura. Atualmente, há um novo campo de estudos que usa obras de ficção com animais não-humanos, equinos e outros, para estudarem a animalidade inclusive em pessoas e a relação destes sujeitos. No mundo real, o equino é um ser biológico extraído da natureza para ser algo no mundo humano, com riscos de danos ao seu bem-estar. Nisto cabe uma dúvida: o que é o cavalo? Portanto, o objetivo deste capítulo é usar da literatura para responder esta pergunta. Os livros utilizados para este texto são de diferentes temáticas; de autobiografias de cavalos foram interpretadas as obras inglesas de "Beleza Negra" (SEWELL, 2015) e "Cavalo de Guerra" (MORPURGO, 2012). Das obras latinas foram analisadas "O Gaúcho" (ALENCAR, 1997), "Dom Segundo Sombra" (GUIRALDES, 1997) e "Vidas Secas" (RAMOS, 2002). Os livros onde os equinos representam os humanos de um modo satírico foram as "Viagens de Gulliver" (SWIFT, 2012) e "A Revolução dos Bichos" (ORWELL, 2006). Por fim, foi analisado "O Seco Estudo de cavalos" da Clarice Lispector (1999). Em resumo, as obras refletem que os equinos são seres com subjetividade, mas que seu significado é a função social que ele desempenha com o ser humano, que está incluso na memória afetiva e na identidade do humano, em que cada pessoa em determinada cultura e sociedade, pode diferir da outra.

**PALAVRAS-CHAVE:** Animalidade; Bem-estar Animal; Equinocultura; Zooliteratura

### WHAT IS THE HORSE?

How fiction literature contributes to the answer

**ABSTRAT:** Horses are very special animals, which affect the human imagination, then become an art. One of these art forms is literature. Currently, there is a new field of studies that uses works of fiction with non-human animals, horses and others, to study animality, including in people, and the relationship of these subjects. In the real world, the horse is a biological being that was extracted from nature to be something in the human world, with risks of damage to its well-being. There is a question in this: what is the horse? Therefore, the purpose of this chapter is to use the literature to answer this question. The books that were used for this text are of different themes; from

autobiographies of horses, the English works of “Beleza Negra” (SEWELL, 2015) and “Cavalo de Guerra” (MORPURGO, 2012) were interpreted. From the Latin works, “O Gaúcho” (ALENCAR, 1997), “Dom Segundo Sombra” (GUIRALDES, 1997) and “Vidas Secas” (RAMOS, 2002) were analyzed. The books in which horses represent humans in a satirical way were “Viagens de Gulliver” (SWIFT, 2012) and “A Revolução dos Bichos” (ORWELL, 2006). Finally, “Seco Estudo de Cavalos” by Clarice Lispector (1999) was analyzed. In Summary, the works reflect that horses are beings with subjectivity, but that their meaning is the social function they play with the human being, which is included in the affective memory and in the human identity, in which each person in a given culture and society, may be different from the other.

**KEYWORDS:** Animality; Animal Welfare; Equinoculture; Zooliterature



## 1. INTRODUÇÃO

A abordagem infantil traz muitas vezes a figura do animal não-humano, seja em contos, poesias, músicas, histórias contadas, quadrinhos, livros ou desenhos animados. Recentemente, foi proposta uma nova ciência que estuda os animais na literatura, a zooliteratura, que se amplia para todas as artes que têm como foco central o animal não-humano. Neste novo saber, há oportunidade de se pensar o que é o animal, a alteridade com os humanos e o animal humano entre os outros, em um ponto de vista interdisciplinar que também se torna importante para a formação de profissionais da ciência animal, com o foco no bem-estar animal e na saúde integral (PISA; TACITO; LEME, 2019). Ainda, por meio da imaginação e da criatividade exercitada pela zooliteratura podemos desenvolver mais nossa empatia pela perspectiva do animal, e assim nos colocarmos no lugar deles nas mais diversas situações, reais ou fictícias (PISA; ZANTUT; LEME, 2020). Neste capítulo, o animal de reflexão é o equino.

O equino em si, não é somente uma espécie; o *Equus ferus caballus* que pertence ao reino animal, no caso um mamífero da família *Equidae* do gênero *Equus* (WIKIPEDIA, 2021), é um ser com várias raças e com isto de diversas formas, como o Puro Sangue Inglês na Europa ou o Crioulo no sul do Brasil (LAROSSE, 2006). Estas transformações são úteis para que os cavalos, como outros equídeos, sejam usados pelos seres humanos de várias formas; desde alimento, meio de transporte, lazer, esporte, terapias assistidas com outros animais até para companhia, e com valor cultural, identitário e afetivo com o humano (CINTRA, 2012). Porém, nem sempre sua natureza (ou animalidade) se encontra presente no manejo que o ser humano oferece para eles, o que pode acarretar problemas de bem-estar e saúde integral (FRASER, 1992). Por isto, o cavalo, além de ser um ser biológico, ele também é um ser social, construído a partir das singularidades de cada sociedade, assim como os bovinos (PISA; ZANTUT; LEME, 2021). Como descrevem Birke e Thompson em seu “(Un) Stable Relations: Horses, humans and social agency” (2018), os cavalos servem basicamente como “trabalhadores, performances e terapeutas (tradução livre)”, em relações sociais conosco.

Os equinos são animais e, em simultâneo, representações das sociedades humanas. Sendo assim, um ser múltiplo e líquido (PISA; LEME, 2020). Portanto, o objetivo deste capítulo é usar obras literárias de diversos países do ocidente, com

diferentes enfoques e com diferentes escritores e escritoras para entender o que é o cavalo. Este ser, que tanto usamos a milênios, precisa ser entendido para que com isto, possamos construir um modelo de vida que ofereça o bem-estar animal, como também, mantendo uma provocação ética constante para se refletir sobre a nossa relação com eles e elas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Descrição Geral

Este artigo consiste num estudo feito a partir da interpretação de obras literárias selecionadas (QUADRO 1), que norteiam discussões e provocam reflexões a partir do objetivo central deste trabalho, que é tentar explicar o que seria este animal não humano que os animais humanos denominam de equino. A partir dos conteúdos analisados do que os textos trouxeram de mensagem sobre o objeto de estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica, de livros a artigos, para verificar se este conhecimento intermediado pela literatura de ficção faz algum sentido no meio acadêmico científico, consolidando ou não o que os escritores se propuseram a fazer em suas obras. Salienta-se que neste artigo houve a necessidade de incluir não somente as ciências agrárias e veterinárias, mas também a filosofia, sociologia e psicanálise, não para trazer uma verdade ou para contribuir numa visão mais ampla e profunda do objetivo, tendo assim, o intuito de uma pesquisa multidisciplinar, mas que continua como uma pesquisa na medicina veterinária.

### 2.3 Obras interpretadas

Para a realização deste trabalho foram escolhidas oito obras literárias; entre eles sete livros de ficção e um conjunto de crônicas. Sendo selecionados a partir dos gostos pessoais e do conhecimento dos autores do presente artigo e devido às informações que eles nos trazem. Neles há autores nacionais, latino e internacionais, homens e mulheres e podem estar relacionados com um foco mais para o infantil ou mais para o adulto, o que pode trazer várias ideias, com várias culturas e entendimento de mundos, o que se acredita que pode enriquecer o artigo e melhorar

a busca pela resolução do objetivo. Enfim, elas e seus resumos estão contidas no quadro a seguir:

**Quadro 1-** Obras utilizadas neste trabalho

<b>Obra (ano)</b>	<b>Autor</b>	<b>Resumo</b>
Beleza Negra (2015)	Anne Sewell	Conta a história de vida do equino Beleza Negra, desde o nascimento até sua aposentadoria, com seus altos e baixos. A partir da narração do próprio protagonista.
Cavalo de Guerra (2012)	Michael Morpurgo	Joey é um cavalo de trabalho no campo, mas é vendido para ir à guerra. Ele conta sua transformação, amizade com seu humano e a busca para se encontrarem novamente.
O Gaúcho (1997)	José de Alencar	Manual Canho é o protagonista desta obra que é situada nos pampas gaúchos do Rio Grande do Sul, no Brasil. Mostra sua relação com os equinos, um romance e a busca pela vingança da morte de seu pai.
Dom Segundo Sombra (1997)	Ricardo Guirildes	Ambientada nos pampas gaúchos, mas na Argentina, esta obra conta a história de um órfão que aprendeu a lidar com o trabalho rural com o Dom Segundo Sombra, e vive na cultura local.
Vidas secas (2002)	Graciliano Ramos	A célebre história brasileira que descreve a vida de retirantes; com seus sofrimentos e relações familiares, com a terra e pobreza.
Revolução dos Bichos (2006)	George Orwell	Os animais se rebelam com os seus humanos e tomam a fazenda para si.
Viagens de Gulliver (2012)	Jonathan Swift	Gulliver é um médico inglês que viaja para diversos mundos onde ele é diferente, tendo a percepção de que são semelhantes ao seu mundo. Refletindo eticamente sobre isso.
Seco estudo de cavalos (1999)	Clarice Lispector	Este conjunto de crônicas da Clarice Lispector é sobre sua relação com os equinos e sua visão sobre eles, além de histórias.

Fonte: Dos autores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Autobiografias de cavalos

No mundo da ficção os cavalos podem ter sua própria narrativa, em que falam de suas emoções e percepções do mundo a sua volta e sua relação com os humanos, como no caso das obras de Beleza Negra da Anna Sewell e do Cavalo de Guerra de Michael Morpurgo. Ambas as obras foram interpretadas na dissertação apresentada pelos autores do capítulo (PISA, 2020).

Beleza Negra é o protagonista equino "traduzido" pela escritora inglesa Anna Sewell no século XIX. Este cavalo tem uma origem nobre, mas no decorrer de sua vida ele perde valor e tem funções cada vez menos dignas; levando-nos a frequentes exercícios de empatia, pois quem lê, tem a percepção de um personagem que escuta outros equinos que não tiveram a mesma sorte do que ele; como no caso da personagem Ginger, uma égua traumatizada pela ignorância e maldade humana (PISA; LEME, 2020), e no fim, uma grande mensagem, de que só realmente sabemos o que o outro sente ou pelo que passa, quando estivermos na mesma situação: *“Posso também mencionar aqui o que sofri dessa vez por outro motivo. Ouvi cavalos falando sobre isso, mas nunca experimentei o mau por mim mesmo.”* (SEWELL, 2015). Sendo uma obra escrita como se fosse narrada pelo próprio equino, há a ideia de emoções e sentimentos reais em cada etapa da vida e da alteridade com animais humanos e não humanos, muitos desses sentimentos são compatíveis com equinos de "carne e osso" (PISA, 2020).

Na obra Cavalo de Guerra (MORPURGO, 2012), o protagonista Joey passou por poucas transformações em comparação com o Beleza Negra, mas também não teve tanta sorte. Joey foi de um cavalo de fazenda a um cavalo de guerra (PISA, 2020):

*“Não foi uma transformação fácil, pois eu detestava a disciplina rigorosa da escola de adestramento e as horas que passava na planície, realizando manobras. Na fazenda, com Albert, eu tinha me deleitado com longas cavalgadas pelos caminhos e pelos campos, e o calor e as moscas não tinham sido um problema; eu tinha amado a dolorida tarefa de puxar o arado e a grade ao lado de Zoey, mas isso porque houvera um elo de confiança e de devoção entre nós dois. Agora, havia apenas tédio das intermináveis horas passadas descrevendo círculos no picadeiro”.* (MORPURGO, 2012).

Os protagonistas Beleza Negra e Joey apresentam suas trajetórias de vida para os leitores, muitas vezes relacionadas com o ser humano, desde os seus usos ou como são manejados, ou refletindo sobre o que sentem, nos transmitindo a valência emocional, como positiva ou negativa, conforme o que recebem do meio (PISA; TACITO; LEME, 2020). Portanto, as duas obras nos dão a ideia de que cavalos são seres que tendem a ter um repertório de funções em função dos humanos. Todavia, por terem as suas emoções como base das obras, esses seres ganham subjetividade própria de um ser senciente (BROOM: FRASER, 2010).

Os animais que narram suas histórias são importantes para estimular o conhecimento mais profundo sobre sua mente e um tratamento mais ético para com eles (MIDDELHOFF, 2017).

### 3.2 Equinos em obras latinas

Três obras escritas por autores nascidos na América Latina foram escolhidas para pensar a ideia do cavalo; duas obras dos pampas gaúchos e uma do nordeste brasileiro. A primeira obra que mostra a cultura gaúcha é do escritor brasileiro José de Alencar, “O Gaúcho” (1998) e do argentino Ricardo Güiraldes, “Dom Segundo Sombra” (1997). A obra ambientada no Nordeste é uma obra clássica nacional, Vidas Secas de Graciliano Ramos (2006). No primeiro, há uma relação harmoniosa e fraterna entre o protagonista e seus cavalos. No segundo, a alteridade equina-humana se atravessa e se forja na cultura local, numa relação equino-humano, compreendida como violenta na percepção ética atual. Por fim, na obra de Ramos, uma égua foi domada e considerada como um troféu para seu domador. Estes livros já foram utilizados por nós em outros trabalhos (PISA; TACITO; LEME, 2019; 2020)

A imagem que José de Alencar (1998) quis dar ao seu personagem gaúcho, Manuel Canho, é de centauro. Aquele ser mitológico metade pessoa metade cavalo. Sua relação com os cavalos se baseia na memória afetiva de seu pai, que aprendeu a arte da doma. Mas além do cavalo ser um meio de conexão com o pai assassinado, eles representam como um membro da família, ou ainda, um bom amigo. O protagonista se baseia no comportamento equino para sua doma, tendo muito conhecimento sobre o assunto e por isso há uma relação de afeto e respeito com eles. Contudo, há uma estranheza dos demais (PISA; TACITO; LEME, 2019) que estão numa filosofia mais parecida com a história de Güiraldes (1997), onde o protagonista

também não possui o pai, mas é criado pelo domador Dom Segundo Sombra, seu padrinho, que aprendeu a sobreviver neste ambiente em que as pessoas lidam com o gado e outros animais para terem seu sustento. O livro mostra uma situação de agressividade e machismo, diferente da doma racional de Manuel Canho. A dissertação de Lima (2015) tem uma visão antropológica da relação humano-equino na fase de doma, feita na região no pampa. O pesquisador mostrou que os domadores veem o equino como um ser individual, com sua personalidade e comportamento, e eles aprendem com cada animal para conseguir fazer com que o cavalo aprenda suas tarefas que satisfazem as necessidades humanas. Embora, há a doma tradicional ainda, que pode não estar de acordo com as práticas consideradas para o bem-estar animal (MAPA, 2017); nela, é usada a força, não uma construção de confiança entre o humano e o equino (LEAL, 1996). Porém, segundo entrevistas, há quem faça uma mescla com racional ou ainda usa alguma prática dela para sua forma de domar (LIMA, 2015).

Esta doma racional também é vista em *Vidas Secas* (2006). Nesta história se destaca outro ponto: o especismo, a personagem canina Baleia é considerada um membro da família, enquanto os personagens equídeos são objetos de trabalho, semelhante ao de Guiraldes. Na obra nacionalista de Alencar, o protagonista tem outra atitude, que se baseia em sua memória afetiva (ALVES, 2016) do pai, não da sociedade, que se reflete na relação com o cavalo (PISA; TACITO; LEME, 2020). Nestas três importantes obras do cenário latino-americano, temos a questão da violência animal (e com outros humanos também, principalmente pelo machismo), como se fosse algo normal, onde se reforça a ideia da cultura como formadora da relação. Pisa e Leme (2021) colocaram as ideias de banalidade do mal e da educação pela frieza, teorizadas pela Hannah Arendt e Adorno, respectivamente, como possíveis respostas para esta questão. Portanto, o cavalo nestas obras teve uma representação cultural e de memórias afetivas, mas ainda um objeto de trabalho e ao mesmo tempo que de afeto familiar e/ou amigo. Por fim, salienta-se por essas obras a necessidade de entendermos o bem-estar animal com uma visão mais complexa; e a arte pode ser um meio para isto, já que representa a sociedade e as pessoas em toda suas diversidades (PISA; TACITO; LEME, 2019).

### 3.4 Em obras de sátiras

A sátira na literatura, segundo o dicionário, tem como definição uma obra feita a partir de um tom irônico, para que com isto, seja feita uma crítica em algum ponto da sociedade; sendo assim, é uma forma humorada para pensar um assunto polêmico (DICIO, 2021). As duas obras escolhidas para este capítulo foram os textos célebres e com relevância mundial: a obra *“Revolução dos Bichos”* (ORWELL, 2001), em que há uma antropomorfização dos animais não-humanos como forma política (MOHAMMAD, 2016) e depois a obra *“Viagens de Gulliver”* (SWIFT, 2006), onde o protagonista é levado a pensar sobre si mesmo e sua sociedade, inclusive ao ser colocado em frente a cavalos racionais (ROSSIGALI, 2018).

Em ambas, os cavalos são refletidos em seus papéis na sociedade, o que nos leva a uma reflexão bioética, pois nelas há o conceito de exploração animal. Mesmo que elas sejam para refletir a sociedade humana, elas podem ser interpretadas a partir do ponto de vista dos seus autores sobre o que é o cavalo. Por exemplo, no artigo que aborda a obra de Orwell como base para uma crítica dialética sobre os animais não-humanos e seus direitos, há uma interpretação possivelmente alinhada à escola ética abolicionista (SILVA; SEIDEL, 2016) e, em outro trabalho; que reflete sobre a subjetividade dos animais não-humanos, apresenta-se uma perspectiva de direito e ética com animais (DIVINO; MARTINS, 2021).

No primeiro livro a ser discutido neste tópico, George Orwell recorre aos animais da fazenda como metáfora para os comportamentos humanos em uma revolução fracassada. Os personagens equinos eram a Quitéria e o Sansão, que *“era um bicho enorme, de quase um metro e noventa de altura, forte como dois cavalos (...) não tinha lá uma inteligência de primeira ordem, embora fosse grandemente respeitado pela retidão de caráter e pela tremenda capacidade de trabalho”* (ORWELL, 2007). Pela descrição, já dá para saber que eles seriam os que trabalhavam sem ter um senso crítico, aceitando todas as ordens dos líderes; no trecho a seguir tem-se esta ideia:

*“Os discípulos mais fiéis eram os dois cavalos de tração, Sansão e Quitéria. Ambos tinham enorme dificuldade em pensar qualquer coisa por si próprios todavia, aceitando os porcos como professores, absorviam tudo quanto lhes era dito e passavam adiante para os outros animais, por simples repetição.”* (ORWELL, 2007)

No resto da obra, foi colocado que não conseguiram aprender o alfabeto, nem conseguiram formar uma frase em um debate. Mas em compensação tinham a força

do trabalho, sem sofrer desânimo; Sansão tinha “*Seus dois lemas “Trabalharei mais ainda” e “Napoleão tem sempre razão”*”. Porém, está dignidade do trabalho o adoeceu e era o que mantinha o poder dos porcos interesseiros. Seu fim, foi ficar doente e ser mandado para um abatedouro, enquanto os demais pensavam que ele iria para o hospital. Já a Quitéria ficou para se aposentar na fazenda (ORWELL, 2007). De volta à realidade, pode-se interpretar a questão da doma e do adestramento, que tira do cavalo sua autonomia e com isto o ser humano pode usá-lo como bem entender. Além da questão da força do trabalho. Mesmo sendo uma distopia feita a partir de uma metáfora para a sociedade humana, pode-se entender que os equinos são mesmo oprimidos pelo ser humano, ainda, um modo de anular sua subjetividade e se aproveitando desta anulação para geração de força de trabalho e dos demais interesses das pessoas.

Todavia, não somente a interpretação dos personagens fazendo um paralelo da realidade dos animais da fazenda contribuem para refletir o que é o cavalo, mas outra frase ajuda termos um maior entendimento: “*Todos os animais são iguais, mas alguns animais são mais iguais do que os outros*” (ORWELL, 2007). Para quem usa o cavalo, a personalidade dele é subjugada em favor da sua aptidão, pois assim pode ser que nem todos os cavalos sejam iguais por conta do melhoramento zootécnico, não do individualismo, e que aquilo fez com que alguns sejam mais para uma determinada função equestre que outros. Há também uma questão cultural para cada construção do cavalo em determinada sociedade. Por fim, ainda uma questão socioeconômica, já que nem todos os equinos têm o mesmo acesso à saúde, bem-estar e qualidade de vida. Como visto na história da obra *Beleza Negra* da Anne Sewell, vista anteriormente, e na vida ordinária de grande parte dos cavalos de trabalho.

Em *Viagens de Gulliver*, Swift inventa uma realidade na qual os seres humanos são os animais irracionais e os cavalos são seres intelectuais e com uma certa *finesse*. Numa conversa entre o personagem Gulliver e um equino, mostrou que mesmo os seres humanos em sua forma racional possuem atitudes com moralidade duvidosa, principalmente no trato com os animais não-humanos, o que pode ser uma forma de protesto para como os cavalos já eram tratados na época em que a obra foi publicada (PISA; LEME, 2018).

É na 4ª parte do livro que se concentra a história desta sociedade equestre racional, e os trechos importantes para a construção de uma reflexão sobre os equinos



se encontra principalmente no 4º capítulo; nele, há uma conversa entre o Gulliver e o líder dos *Houyhnhnms* sobre como cavalos eram tratados no mundo humano. No primeiro momento, há ideia de mansidão dos cavalos e que os humanos cuidam deles, há também adjetivos positivos descritos pelo Gulliver: “são os animais mais generosos e graciosos que temos. Superam os outros em força e velocidade” (SWIFT, 2006). Contudo, logo após, o manejo destes animais se mostra não tão ético, e por fim, coloca-se os equinos de trabalho como os seres menos bem tratados:

*“Uns são tratados com muita bondade e atenção. Quando morrem, suas peles são arrancadas e vendidas, e seus corpos abandonados, para que cães e aves de rapina os devorem. Mas a raça comum dos cavalos não tem tanta sorte, nas mãos de lavradores e carroceiros que lhes dão maiores trabalhos e pior comida.”* (SWIFT, 2006).

Em seguida, o cavalo racional fica indignado devido aos humanos que montam cavalos, mas o Gulliver pontuou haver um treinamento para isto, explicando:

*“Se alguns deles se mostram intoleravelmente rebeldes, são empregados em carruagens. São duramente golpeados, quando jovens, a cada birra manhosa. Os machos destinados a serem cavalgados são castrados cerca de dois anos depois de seu nascimento, para torná-los mais mansos. Não têm o menor verniz de razão, exatamente como os Yahoos em seu país.”* (SWIFT, 2006)

O líder dos *Houyhnhnms* continua indignado ao saber como seus iguais lá irracionais são tratados, e coloca em xeque a racionalidade do povo do protagonista, assim como questiona a ética dos humanos, não só com os outros animais, mas com os outros humanos, principalmente pela riqueza como motivação para uma alteridade baseada em mentiras e exploração. (SWIFT, 2006).

Pensar nestas duas obras para pensar a pergunta “O que é um Cavalo?” é ter como resposta “é um ser explorado, mas nem todos”. Os escritores ingleses que analisamos colocam o cavalo como um sujeito que possui uma força de trabalho usada pelos seres humanos, para isto, deixam de ter sua liberdade. Embora haja o uso equino, há também a opção do ser humano em tratá-lo melhor; que é a busca da ciência do bem-estar animal ou o abolicionismo. Portanto, há a percepção de que há cavalos que viverão melhores do que outros. Enfim, entendemos que a literatura pode estimular a discussão sobre ética animal (LIBANORI, 2018).

### 3.4 Equinos na visão da Clarice Lispector

Em “Seco estudo de cavalos”, da Clarice Lispector, a escritora projeta a ideia do que é o cavalo e sua animalidade no que ela é; transferindo o cavalo para a condição humana. Pode ser visualizado em dois textos, um intitulado de “Falsa domesticação”, onde ela descreve o cavalo como um ser livre:

O que é cavalo? É liberdade tão indomável que se torna inútil aprisioná-lo para que sirva ao homem: deixa-se domesticar mas com um simples movimento de safanão rebelde de cabeça – sacudindo a crina como a uma solta cabeleira – mostra que sua íntima natureza é sempre bravia e límpida e livre (LISPECTOR, 1999).

E no texto “Ele e Eu” quando já muda de ideia, pois percebe que esta ideia de liberdade pode não pertencer de verdade aos equinos, então prefere ser uma pessoa mesmo:

Tentando pôr em frases a minha mais oculta e sutil sensação – e desobedecendo à minha necessidade exigente de veracidade – eu diria: se pudesse ter escolhido queria ter nascido cavalo. Mas – quem sabe – talvez o cavalo ele-mesmo não sinta o grande símbolo da vida livre que nós sentimos nele. Devo então concluir que o cavalo seria sobretudo para ser sentido por mim? O cavalo representa a animalidade bela e solta do ser humano? O melhor do cavalo o ente humano já tem? Então abduco de ser um cavalo e com glória passo para a minha humanidade. O cavalo me indica o que sou (LISPECTOR, 1999).

Para conseguir interpretar o que esta importante autora brasileira traz à tona sobre o que representa o animal equino, se faz necessário uma busca multidisciplinar com a psicanálise. Ao pensar por este viés, o cavalo não é apenas uma projeção; ele também assume uma forma espelhada da autora, isto é, o cavalo é o espelho da Clarice. Este assunto é elaborado na psicanálise, onde o outro, não é apenas o outro, mas nós mesmos (BRAUER, 1994); então precisamos deste outro para que a gente se identifique quem a gente é (MOREIRA, 2009). Em uma entrevista para o programa panorama disponível no canal do *Youtube* da TV Cultura gravado em 1977 (<https://www.youtube.com/watch?v=ohHP1I2EVnU>), ela demonstra ser uma mulher forte e que anseia por liberdade e ama ser livre, até para escrever. "Quero ainda ser considerada uma amadora para poder escrever de acordo com sua vontade e tempo", como ela declara também: *Eu faço uma questão de não ser uma profissional, para manter minha liberdade*. Outro trecho, que salienta esta interpretação do sujeito

cavalo, é quando ela responde que “ (...) Quando me comunico com adulto, na verdade estou me comunicando com o mais secreto de mim mesma, aí é difícil né?”. Portanto, o sujeito cavalo é realmente a Clarice Lispector, em sua devir-animal e em seu espelho. Ela usa a ideia de cavalo como um ser livre, para pensar nela mesma. Contudo, ela faz de forma crítica, como visto no segundo trecho apresentado, ela mesma percebe que este sujeito cavalo seja livre na prática.

Há três trabalhos que corroboram com esta ideia. No artigo de Cherpinski, Andrade e Libanori (2020), os autores colocam as representações do sujeito e da ideia cavalo na obra de Clarice e sua construção como ser humano, em que também há esta percepção de transformação da autora para a animalidade. Um segundo trabalho a sugerir esta interpretação é de Adelman (2020), que buscou nesta liberdade da Clarice Lispector para abordar o tema mulheres e o meio equestre, colocando um trecho em cada tópico de seu trabalho. A tese de Maria Homem (2011), busca uma psicanálise da autora a partir de sua obra, tendo seus personagens vistos como uma representação dela.

Com a obra “Seco estudo de cavalos”, talvez, pode-se sugerir que a resposta do que é o cavalo seja apenas a palavra “eu”, que todos podem ter seu ideal de cavalo e sua identificação a partir dele, como visto os exemplos até o momento.

### 3.5 O que é o cavalo?

De forma geral, em todas as obras apresentadas há possibilidade de refletir o que é o cavalo em si, que não apenas sua biologia, mas também sua construção social e o que se faz dele, ou ainda, a ideia que se tem desta espécie a partir da cultura literária de costumes. Com o que foi discutido até o momento sugere-se que os equinos possuem diversos significados para com o ser humano, tornando-se assim uma continuação do corpo das pessoas. Então, há a sensação de que a resposta está basicamente no ser humano.

Logo, a pergunta “o que é o cavalo?” deve ser respondida com outro questionamento, “O que fazemos com o cavalo?”. Nesse sentido, podemos citar um artigo com o tema de psicanálise veterinária na qual foi usada uma personagem equina, a Ginger, do livro Beleza Negra (SEWELL, 1877) para a análise; ela é uma animal que sofreu abusos de violência física na mão dos seres humanos desde potra, o que fez que ela carregasse um trauma psicológico, que ela expressava por meio da

agressividade contra humanos e outros cavalos. Porém, os outros (humanos e cavalos) só enxergam a violência que ela desenvolveu como resultado do trauma que sofreu, sem considerar ou por desconhecerem seu histórico (PISA; LEME, 2020). Assim, por meio das obras descritas, acredita-se na construção dinâmica da relação humano-cavalo, a partir de uma perspectiva coletiva (o papel que este ser desempenha culturalmente na sociedade) ou numa visão individualizada da função do cavalo para uma determinada pessoa.

Outro ponto para pensar o que é o cavalo, é entender as raças de cavalo. Muitas delas, além de uma construção biológica feita pelos seres humanos ou naturalmente, são parte de uma construção cultural e histórico, como o Crioulo estar relacionado com a cultura gaúcha, o brasileiro de hipismo estar em provas de salto e o Quarto de milha em esportes que são diferentes dos outros dois exemplos citados. Ou ainda no livro de Birke e Thompson (2018) mostra-se a nobreza do cavalo espanhol que é utilizado em uma performance artística em comparação a um equino de rodeio, que há a ideia de brutalidade. O cavalo é apenas um planeta no universo equestre; há moda, costumes e memórias afetivas que fazem parte do contexto humano. De certa forma, o intuito do livro das pesquisadoras é de colocar este animal como um ser social e faz parte da sociedade humana. O que pode ser sugerido que o cavalo, em sua plasticidade de forma, é uma construção social e histórica de um determinado local, assim como pensamento de indivíduo para o filósofo Adorno (DIAS, 2019). Pensando desta forma, o cavalo é apenas um mero objeto social adaptado às necessidades humanas.

Ao que parece, esta questão é apenas um caminho, uma forma de reflexão, que gera outro o pensamento: *O que vamos fazer com toda a informação que temos sobre os equinos?*

Todavia, o caminho em resumo pode ser uma busca com o entendimento da complexidade do tema para cada pessoa, seu universo, sua formação social e política, e como isto tudo vai refletir no sujeito equino. Esta questão foi exposta no livro “HolyCow - Uma fábula animal” (DUCHOVNY, 2016) onde a Vaca Elsie dá uma volta ao mundo para se descobrir, pois não se contentava com o conceito de vaca do ser humano; sendo apenas uma máquina de fazer leite (PISA; ZANTUT; LEME, 2020). Portanto, o cavalo só pode ser compreendido como um ser líquido (PISA; LEME, 2021) à espera do molde, desde que se considere a visão científica e crítica para isto, para que não haja nem uma antropomorfização ou uma antroponegação, que anula a

possibilidade do ser humano de perceber certas emoções nos animais sem uma pesquisa prévia com uma visão questionadora (BEKOFF, 2008; KOHLER, 2015; SOUTO, 2005). Por isto, não importa o que é o cavalo para você, pois sim, é uma questão pessoal, mas sim como cuidados e vemos eles.

#### **4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através da literatura podemos ter diversas visões sobre a ideia do cavalo, já que elas foram escritas por diferentes pessoas; no caso deste capítulo houve homens e mulheres, do mundo ocidental, seja europeu ou latino, de diferentes culturas e visões de mundo. Isto é necessário, pois todos os cavalos são líquidos, mas há cavalos que são mais líquidos do que os outros; parafraseando George Orwell. A liquidez e definição de cavalo, se dá pelas diferenças humanas e para cada um será de um jeito. Sendo assim, entender a animalidade dos animais é um dos objetivos deste novo estudo. Ainda, se extrai das obras uma reflexão ética, do cavalo, pelo cavalo, da empatia pelo outro, seja lá qual for o outro, além da provocação para o pensamento livre. Já que o objetivo deste conhecimento é a busca pelo bem-estar equino, humano e ambiental, no contexto da saúde única, nas suas mais diversas formas e situações que os humanos se colocam, sendo necessários muitos estudos e discussões inter, trans, multidisciplinares.

#### **CONFLITOS DE INTERESSE**

Os autores deste capítulo declaram que não há conflitos de interesse.

#### **AGRADECIMENTOS**

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa nível doutorado. Também, expressamos a nossa gratidão as estimuladoras para realização deste artigo, Ester Liberato Pereira e Miriam Adelman. Principalmente, agradecemos os equinos por nos inspirarem e nos ajudarem com nosso autoconhecimento.

## REFERÊNCIAS

- ADELMAN, Miriam. **Mulheres, cavalos, vidas cruzadas**: domadxs, domesticadxs, selvagens? Wenetz, Ileana et al. Gênero e sexualidade no esporte e na educação física (Ciências do esporte, educação física e produção do conhecimento em 40 anos de CBCE - v. 6).pdf pp. 123- 138.
- ALENCAR, J. **O gaúcho**. São Paulo: Ática, 1998.
- ALVES, Míriam Coutinho de Faria. A memória afetiva e a infância digna na literatura de Clarice Lispector. **Anamorphosis** - Revista Internacional de Direito e Literatura, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 169, 24 ago. 2016. Rede Brasileira Direito e Literatura (RDL). <http://dx.doi.org/10.21119/anamps.21.169-181>.
- BEKOFF, Marc. **A vida emocional dos animais**: alegria, tristeza e empatia dos animais: um estudo científico capaz de transformar a maneira como os vemos e os tratamos. São Paulo: Cultrix, 2010. 208 p.
- BIRKE, Lynda; Thompson, KIRRILLY Rebecca. **(Un)Stable Relations**: Horses, humans and social agency. Londres: Taylor & Francis Ltd (Routledge), 2018.
- BRAUER, J. F. O outro em Lacan: conseqüências clínicas. **Psicol. Usp**, v.5, n.1/2, 309-333, 1994
- BROOM, Donald. M.; FRASER, Andrew. F. (2010). **Comportamento e bem-estar de animais domésticos**. Baueri, Brasil: Editora Manole.
- CHERPINSKI, Adriane; ANDRADE, Adriana Gomes Cardozo de; LIBANORI, Evely Vânia. A indomável liberdade imaginativa na literatura clariceana: :se pudesse ter escolhido queria ter nascido cavalo. **Rile – Revista Interdisciplinar de Literatura e Ecocrítica**, S/l, v. 4, n. 1, p. 73-85, jan. 2020.
- CINTRA, A. G. de C. **O Cavalo**: Características, Manejo e Alimentação. São Paulo: Roca, 2011.
- DIAS, Michel Aires de Souza. O conceito de indivíduo em Theodor W. Adorno. **Sociologias Plurais**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 171-193, 30 dez. 2019. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/scplpr.v5i2.71034>.
- DICIO (2021). **Sátira**. Disponível em <<https://www.dicio.com.br/satira/>> Acessado em 30 de junho de 2021, às 10h.
- DIVINO, Sthéfano Bruno Santos; MARTINS, Yasmin Silveira. Subjetividade dos animais não-humanos em A Revolução dos Bichos, de George Orwell. **Revista de Bioética y Derecho**, [S.L.], n. 51, p. 193-207, 17 fev. 2021. Edicions de la Universitat de Barcelona. <http://dx.doi.org/10.1344/rbd2021.51.31206>.
- FRASER, A. **The Behaviour of the Horse**. Wallingford: Cab Internacional, 1992.
- GUIRALDES, R. **Dom Segundo Sombra**. Porto Alegre: L&PM Editores, 1997.

HOMEM, Maria Lucia. **No limiar do silêncio e da letra**: traços da autoria em claricelispector. 2011. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Teoria Literária e Literatura Comparada, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KOHLER, F. Antropologia e etologia: uma abordagem conceitual. **Revista Antropologia da UFSCAR**, v.7, n.1, p. 170-192, 2015.

LAROUSSE. **Larousse dos cavalos**. São Paulo: Larousse, 2006.

LEAL, Tales Cunha. **Doma Racional**-Manual do Participante. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária LTDA, 1996.

LIBANORI, Evely Vânia. Literatura e ética animal no Brasil. **RILE- Revista Interdisciplinar de Literatura e Ecocrítica**, S/I, v. 1, n. 1, p. 116-135, nov. 2018.

LIMA, Daniel Vaz. **Cada doma é um livro**: a relação entre humanos e cavalos no pampa sul-rio-grandense. 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado em Antropologia) - Programa de Pós-Graduação em Antropologia. Instituto de Ciências Humanas. Universidade Federal de Pelotas, 2015.

LISPECTOR, Clarice. **Seco Estudo de Cavalos**. In: Lispector, C. *Onde estivestes de noite*. Rio de Janeiro: Rocco, 1999.

MIDDELHOFF, Frederike. Literary Autozoographies: contextualizing species life in german animal autobiography. **Humanities**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 23, 13 abr. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/h6020023>.

MOHAMMAD, Dlnya. Anthropomorphism in George Orwell's Animal Farm and Mark Twain's A Dog's Tale. **Arcadia** - International Journal For Literary Studies, S/I, v. 4, n. 5, p. 68-72, jan. 2016.

MOREIRA, J. de O. Revisitando o conceito de eu em Freud: da identidade à alteridade: da identidade à alteridade. **Estudos e Pesquisas em Psicologia**, v.9, n.1, p.233-247, 2009.

ORWELL, G. **A Revolução dos Bichos**. São Paulo: Editora Globo, 2001.

ORWELL, George. **A Revolução dos Bichos**. Editora Companhia das letras: Rio de Janeiro, 2007.

Pisa, João Paulo Novelletto. (2020). **A Relação Humano-Cavalo**: Análise Científica e Literária das Emoções dos Equinos em dois Clássicos da Literatura. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis.

PISA, João Paulo Novelletto; JANSEN, Sharon Muriel Zantut; LEME, Denise Pereira. A bovinidade e as suas consequências para a humanidade- Análise crítica do livro de ficção "Holy Cow" (Duchovny, 2016). **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1-19, 18 jul. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5887>.

PISA, João Paulo Novelletto; LEME, Denise Pereira. “O cavalo líquido”: como a filosofia contribui para a medicina veterinária. **Multidisciplinary Reviews**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-4, 8 dez. 2020. Even3. <http://dx.doi.org/10.29327/multi.2021001>.

PISA, João Paulo Novelletto; LEME, Denise Pereira. Psicanálise veterinária: caso da personagem ginger do livro beleza negra (sewell, 1877). **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1-19, 6 set. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7898>.

PISA, João Paulo Novelletto; TACITO, Jorge Luiz Conte; LEME, Denise Pereira. A arte como instrumento de ensino de bem-estar animal. **Pubvet**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 1-8, jul. 2019. Editora MV Valero. <http://dx.doi.org/10.31533/pubvet.v13n7a378.1-8>.

PISA, João Paulo Novelletto; TACITO, Jorge Luiz Conte; LEME, Denise Pereira. Afetividade e emoções de personagens-cavalos em dois livros da literatura mundial. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 8, p. 1-22, 1 ago. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6528>.

RAMOS, G. **Vidas Secas**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

SILVA, Charlies Uilian de Campos; SEIDEL, Verônica Franciele. A revolução dos bichos não humanos: uma análise animalesca e abolicionista. **Revista Estação Literária**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 40-61, jul. 2016.

SOUTO, Antonio. **Etologia: Princípios e Reflexões**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

SWIFT, J. **Viagens de Gulliver**. São Paulo: Editora Scapione, 2012.

SWIFT, Jonathan. **Viagens de Gulliver**. Editora Sol: São Paulo, 2006.

WIKIPEDIA (2021). **Cavalo**. Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cavalo>> Acessado em 1 de Julho de 2021, às 11h.



# CAPÍTULO 09

## INSECTOS ASOCIADOS A PLANTACIONES DE CAFÉ EN EL MUNICIPIO DE SIMOJOVEL, CHIAPAS, MÉXICO

### **Eduardo Aguilar-Astudillo**

Doctorado en Entomología-Acarología, Posgrado en Fitosanidad, por el Colegio de Postgraduados, México

Centro de trabajo: Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas

Dirección: Carretera Tuxtla Gutiérrez-Villaflores, Km 78, CP. 30470

Correo electrónico: eduardo.aguilar@unach.mx

### **Carlos Joaquín Morales-Morales**

Maestro en Ciencias en producción Agropecuaria Tropical, por la Universidad Autónoma de Chiapas México

Centro de trabajo: Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas

Dirección: Carretera Tuxtla Gutiérrez-Villaflores, Km 78, CP. 30470

Correo electrónico: carlos.mmorales@unach.mx

### **Reynerio A. Alonso-Bran**

Doctorado en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de la Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, CUBA

Centro de trabajo: Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas

Dirección: Carretera Tuxtla Gutiérrez-Villaflores, Km 78, CP. 30470

Correo electrónico: bran@unach.mx

### **Víctor Manuel Aguilar-Castillo**

Maestro en Ciencias en producción Agropecuaria Tropical, por la Universidad Autónoma de Chiapas, México

Centro de trabajo: Coordinación de Caficultura, Universidad Autónoma de Chiapas

Dirección: Carretera Jaltenango a Francisco I. Madero, Km 2.6. CP. 30370

Correo electrónico: manuel.castillo@unach.mx

### **Jorge Alejandro Espinosa-Moreno**

Doctorante en Fruticultura, Posgrado en Fruticultura, por el Colegio de Postgraduados, México

Centro de trabajo: Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas

Dirección: Carretera Tuxtla Gutiérrez-Villaflores, Km 78, CP. 30470

Correo electrónico: moreno@unach.mx

**RESUMEN:** En los cafetales de Guadalupe Victoria 1, Simojovel, Chiapas, México; se encuentra gran diversidad de insectos fitófagos y entomófagos, estos cultivos se encuentran en forma natural, sin la aplicación de productos químicos sintéticos, pero son pocos los estudios de la entomo fauna asociada a los cafetales, por esta razón se realizó este trabajo para conocer los insectos asociados a plantaciones de café de tres edades, 4, 10 y 20 años. Los muestreos se realizaron cada 15 días de 8:00 a 2:00

pm, con una red entomológica de golpeo, considerando cuatro plantas por punto de muestreo. Los insectos colectados se conservaron en alcohol 70 % y se determinaron a nivel familia utilizando claves dicotómicas y por comparación con los ejemplares de la Colección Entomológica de la Facultad. Se colectaron 134 familias de 12 órdenes de insectos. Los más abundantes y con mayor diversidad corresponden a los Ordenes Hymenoptera, Diptera, Coleoptera y Heteroptera, que representan el 81.3 % de familias y 94.4 % de individuos colectados, el 46.4 % corresponden al orden Coleoptera; además, se capturaron 23 ejemplares de 9 familias del orden Lepidoptera. De los siete Ordenes restantes se determinaron 16 familias, encontrando mayor cantidad de individuos en la plantación joven de cuatro años de edad.

**PALABRAS-CLAVE:** Entomofauna; Plantación; Ecología.

**ABSTRACT:** In the coffee plantations of Guadalupe Victoria 1, Simojovel, Chiapas, Mexico; There is a great diversity of phytophagous and entomophagous insects, these crops are found naturally, without the application of synthetic chemicals, but there are few studies of the entomofauna associated with coffee plantations, for this reason this work was done to know the insects associated with coffee plantations of three ages, 4, 10 and 20 years. Samples were taken every 15 days from 8:00 a.m. to 2:00 p.m., with an entomological striking network, considering four plants per sampling point. The insects collected were preserved in 70 % alcohol and were determined at family level using dichotomous keys and by comparison with the Entomological Collection of the Faculty. 134 families of 12 orders of insects were collected. The most abundant and with greater diversity correspond to the Orders Hymenoptera, Diptera, Coleoptera and Heteroptera, which represent 81.3 % of families and 94.4 % of individuals collected, 46.4 % correspond to the order Coleoptera; In addition, 23 specimens of 9 families of the order Lepidoptera were captured. Of the seven remaining orders, 16 families were determined, finding a greater number of individuals in the four-year-old young plantation.

**KEYWORDS:** Entomofauna; Plantation; Ecology

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de café en Chiapas, crecen bajo sombra, en zonas boscosas, húmedas y frescas de las montañas entre 500 y 1300 m de altitud, entre su vegetación se encuentran hierbas, arbustos y árboles que favorecen la formación de lugares con condiciones de luz, humedad y temperatura exclusiva de cada lugar y ambiente, donde propician el hábitat de gran variedad de organismos ayudando a conservar la biodiversidad. En Chiapas se encuentran cuatro tipos de sistemas de producción de café: rústico, tradicionales, de sombra especializada y las plantaciones de café sin sombra llamados “a pleno sol”. En la producción de café orgánico, México es el principal productor y exportador con 20.5 % del consumo mundial, y como pionera la finca Irlanda, en el Soconusco, Chiapas. En los últimos años, el crecimiento de los cafetales de especialidad de alta calidad y sustentable, ha demostrado que el mercado mundial tiene una inclinación a ser cada vez más demandante, es por ello que la orientación en el manejo de los sistemas de producción de café, origina ciertas denominaciones como café orgánico donde no utilizan productos químicos organosintéticos, actividades de conservación del suelo y manejo de la sombra; otros certificados por el comercio justo, con buenas relaciones entre los productores y transformadores. Existen productores que buscan nuevos mercados, que agreguen calidad y valor al café, entre ellos se consideran los productores de café de conservación que hacen buen manejo de la sombra y café sustentable, buscan la relación entre el café orgánico, de conservación y comercio justo (SOTO, 2018). En el municipio de Chilón, Chiapas, se cultiva café rústico y tradicional con poco efecto del manejo de la sombra en la producción de café (SOTO-PINTO *et al.*, 2000), sin embargo la mayoría de los productores prefieren tener árboles de sombra endémicos (SOTO-PINTO *et al.*, 2007). En la Reserva de la Biosfera de la Sepultura, Chiapas, para aumentar y conservar los sistemas agroforestales de café es importante promover la cultura de tolerancia de los agricultores a las especies arbóreas (VALENCIA *et al.*, 2016).

En Chiapas, en los noventa se reconocían 1418 localidades en 69 municipios que involucraban 28,620 productores con una superficie de 211,950 ha con producción de 2'318,014 quintales (Moguel y Toledo s/f). En el 2004, la superficie sembrada y cosechada incrementó 15 % y en el 2018 se cultivaron 252,531 ha, con producción de 1'007,540,348 quintales, logrando producir 32,522 kintales.ha<sup>-1</sup>, siendo el segundo Estado con mayor producción de café cereza por unidad de superficie

(SIAP, 2019). A pesar de la importancia del cultivo de café para Chiapas, solo se han realizado estudios de los principales insectos que se comportan como plagas, que dañan seriamente la producción de café cereza, afectando la económica de los productores y trabajadores; por esta razón es necesario realizar estudios en este cultivo para el conocimiento de los insectos asociados, ya que se tienen pocos trabajos realizados en este rubro, especialmente de aquellos insectos que ejercen control biológico natural sobre los insectos plagas, que nos permitan tomar decisiones acertadas en el manejo de las principales plagas; por esta razón, se llevó a cabo el presente trabajo para conocer o determinar las familias de insectos fitófagos y entomófagos (depredadores y parasitoides) asociados a las plantaciones de café en el ejido Guadalupe Victoria 1, municipio de Simojovel, Chiapas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

El trabajo de campo se realizó en el Ejido Guadalupe Victoria 1, Simojovel, Chiapas, es una comunidad con 724 habitantes donde el 50.3 % son hombres y la mayoría de los pobladores hablan "Tzotzil" y pocos español. Esta comunidad se localiza en la región V Norte, a una altitud de 878 msnm, con clima cálido sub húmedo con lluvias en verano; el municipio se encuentra a los 17°08'24" de latitud norte y 92°42'54" de longitud oeste y se ubica a 473 msnm, (INEGI, 2018), con extensión de 446.99 Km<sup>2</sup>, de terreno montañoso con vegetación de selva mediana que lo hace apto para las plantaciones de café.

La producción de café se considera de dos tipos rusticano y tradicional, ya que tienen superficies sembradas de forma natural con poco manejo de sombra y sin aplicación de productos químicos, y el sistema tradicional donde hacen manejo de sombra más intensivo, sin aplicar productos químicos. Las plantaciones de café fluctúan de dos a 30 años de edad, considerándose para este estudio, tres edades de plantaciones: la primera plantación de la variedad Catimor de 4 años de edad con altura de 1.20 m y se consideró como una plantación joven, la segunda de la variedad mundo Novo de 10 años de edad con altura promedio de 2 m y se consideró como una plantación de edad intermedia y la tercera de la variedad Bourbon de 20 años de edad con altura de 3 m aproximadamente y se consideró como plantación de edad avanzada. Estas plantaciones de café se localizan entre 17°05'04" y 17°05'07" de latitud norte; 92°44'59" y 92°45'38" longitud oeste, con alturas entre 857.5 a 1,977.5

msnm.

El muestreo de insectos asociados al café se realizó cada 15 días de 8:00 am a 2:00 pm, con una red entomológica de golpeo, considerando en cada punto de muestreo cuatro plantas de café. Los insectos colectados fueron introducidos en frascos con alcohol al 70 %, separado y etiquetado debidamente por cada parcela. La separación y clasificación de los insectos fue de acuerdo a las características morfológicas conspicuas y se llevaron al laboratorio de entomología de la Facultad, para su separación a familia, se utilizaron claves dicotómicas y literatura especializada. Además, se determinaron por comparación, con los especímenes resguardados en la Colección Entomológica de la Facultad y de acuerdo a la literatura consultada se separaron en función a sus hábitos alimenticios en fitófagos y entomófagos (parasitoides y depredadores).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las plantaciones de café se colectaron 134 familias en 12 órdenes de insectos. Los más abundantes corresponden a los Ordenes Hymenoptera, Diptera, Coleoptera y Heteroptera, que representan el 81.3 % del total de familias y 94.4 % de individuos colectados, de estos el 46.4 % corresponden a ejemplares del orden Coleoptera (Cuadro 1). En este sentido, las colectas realizadas por Morón y López-Méndez (1985) en los cafetales de Cacaohatán, Chiapas, encontraron 78 familias, con mayor abundancia los Ordenes Diptera, Coleoptera, Hymenoptera y Collembola, con 93 % del total de los individuos. Sin embargo, Ibarra-Núñez (1990) encontró 298 familias en un cafetal bajo sombra de la Finca La Victoria, Soconusco, Chiapas; donde 80 % de las familias se encuentran en los Ordenes Diptera, Hymenoptera, Coleoptera y Homoptera. En el sureste mexicano se colectaron 241 especies de insectos y 48 familias, de estos 118 especies se colectaron en cafetales con manejo tradicional, con una reducción del 59 % en plantaciones con manejo de sombra moderada (PERFECTO *et al.*, 1997). En las plantaciones de café de cuatro años de edad, se encuentra mayor cantidad de insectos, en comparación a las plantaciones de café de 10 y 20 años de edad; esto se debe a la mayor circulación del aire, mayor penetración de los rayos solares y humedad relativa moderada, que lo hacen apropiado para la presencia y vida de los insectos; por otro lado, en las plantaciones de café de mayor edad presentan menor cantidad de hojas.

**Cuadro 1** – Abundancia de Ordenes de insectos en el cultivo de café en el ejido Guadalupe Victoria 1, municipio de Simojovel, Chiapas.

ORDEN	Familia	% Familia	No. individuos	Plantación de café		
				Joven	Intermedia	Avanzado
Coleoptera	26	19.4	1169	445	332	392
Diptera	32	23.9	456	205	132	116
Hymenoptera	36	26.9	566	275	178	113
Heteroptera	15	11.2	191	86	64	41
Lepidoptera	9	6.7	23	8	10	5
Neuroptera	4	3.0	42	15	12	15
Orthoptera	4	3.0	39	17	16	6
Blattodea	2	1.5	20	8	9	3
Thysanoptera	2	1.5	5	3	2	0
Odonata	2	1.5	4	1	3	0
Mantodea	1	0.7	2	1	1	0
Dermaptera	1	0.7	4	1	2	1
Total = 12	134	100	2521	1065	761	692

Se encontraron 26 familias del Orden Coleoptera, con mayor abundancia las Familias Chrysomelidae, Curculionidae, Coccinellidae, Lampyridae, Sthaphylinidae y Tenebrionidae con 36.8, 10.9, 10.3, 6.3, 4.8 y 4.2% de individuos (Cuadro 2); estas familias tuvieron mayor presencia en los meses de abril, junio y agosto, cuando las plantaciones de café se encontraban en floración y fructificación. Las 20 familias restantes del Orden Coleoptera representan el 26.9 % de individuos totales. Además, se determinaron nueve familias con hábitos depredadores. Por otro lado, la mayor abundancia de especímenes se colectaron en la plantación joven, esto se debe a la presencia de mayor cantidad de materia orgánica en descomposición, de acuerdo a las fechas de colectas; sin embargo, las familias Chrysomelidae, Bruchidae y Curculionidae, se encontraron con mayor abundancia en la plantación de 20 años de edad, tomando en cuenta sus hábitos alimenticios se considera esta abundancia en estos ambientes por la presencia de mayor cantidad de cerezas de café sin cosechar, con disponibilidad de alimento. En los trabajos realizados en el municipio de Cacahoatan, Chiapas, Morón y López-Méndez (1985) y en cafetales de la Sierra Norte de Hidalgo, en cafetales de 50 y 20 años de edad, encontraron 13 y 20 familias del Orden Coleoptera (MORÓN y TERRÓN, 1988).

**Cuadro 2** – Número total de insectos y familias del Orden Coleoptera

Coleoptera	Plantación de café			individuos	
	Joven	Intermedia	Avanzado	Total	%
Chrysomelidae	140	113	177	430	36.8
Curculionidae	42	38	47	127	10.9
Coccinellidae	39	51	30	120	10.3
Lampyridae	47	17	9	73	6.2
Staphylinidae	29	10	17	56	4.8
Tenebrionidae	19	13	17	49	4.2
Carabidae	17	13	8	38	3.3
Melolontidae	8	7	20	35	3.0
Buprestidae	18	9	7	34	2.9
Elateridae	20	10	3	33	2.8
Bruchidae	1	2	28	31	2.7
Cantharidae	17	8	4	29	2.5
Lycidae	17	7	5	29	2.5
Meloidae	22	4	1	27	2.3
Mordellidae	4	13	4	21	1.8
Anthribidae	0	8	0	8	0.7
Endomichyidae	2	3	2	7	0.6
Cerambycidae	0	2	4	6	0.5
Scarabaeidae	0	0	5	5	0.4
Histeridae	0	3	1	4	0.3
Ptilodactylidae	2	0	0	2	0.2
Geotrupidae	0	0	1	1	0.1
Passalidae	1	0	0	1	0.1
Psephenidae	0	0	1	1	0.1
Clambidae	0	1	0	1	0.1
Nitidulidae	0	0	1	1	0.1
Total 26	445	332	392	1169	100

Del Orden Diptera se colectaron 456 individuos incluidos en 32 familias, con mayor abundancia las familias Chamaemyiidae, Dolichopodidae, Culicidae, Simuliidae, Empididae, Muscidae, Lauxaniidae, Phoridae y Tachinidae (Figura 3); que representan 14.3, 10.1, 8.8, 7.9, 7.0, 7.0, 5.9, 4.4 y 4.2 % de individuos respectivamente (Cuadro 3). Las 23 familias restantes conforman el 30.5 % de especímenes de dípteros colectados en los cafetales de Guadalupe Victoria 1. Las familias más abundantes se colectaron en los meses de enero y febrero, cuando las plantaciones de café se encuentran en floración y fructificación (Cosecha). De este orden se determinaron dos familias depredadores y tres familias con hábitos parasíticos. Sin embargo, Ibarra-Núñez (1990) reporta 51 familias de dípteros para los cafetales mixtos del Estado de Chiapas, México.

En la mayoría de las familias del Orden Diptera se colectaron con mayor abundancia en los cafetales jóvenes, es decir en cafetales de cuatro años de edad,

esto se debe por el estado de desarrollo de las plantas de café con mayor cantidad de follaje, ya que existe mayor ventilación y mayor penetración de los rayos solares, además que se encuentra mayor cantidad de residuos orgánicos en descomposición.

**Cuadro 3** – Número total de insectos y familias del Orden Díptera

Diptera	Plantación de café			individuos	
	Joven	Intermedio	Avanzada	Total	%
Chamaemyidae	33	17	15	65	14.3
Dolichopodidae	21	3	22	46	10.1
Culicidae	20	12	8	40	8.8
Simuliidae	9	16	11	36	7.9
Muscidae	14	7	11	32	7.0
Empididae	17	5	10	32	7.0
Lauxaniidae	6	10	1	27	5.9
Tephritidae	12	8	7	27	5.9
Phoridae	11	6	3	20	4.4
Tachinidae	9	13	7	19	4.2
Otitidae	8	5	3	16	3.5
Bibionidae	5	2	3	10	2.2
Ceratopogonidae	7	2	1	10	2.2
Richardidae	4	5	0	9	2.0
Stratiomyidae	4	5	0	9	2.0
Syrphidae	3	2	3	8	1.8
Asilidae	5	2	1	8	1.8
Mycetophilidae	3	2	0	5	1.1
Ephydriidae	1	3	1	5	1.1
Tipulidae	3	2	0	5	1.1
Sciaridae	2	0	2	4	0.9
Lonchaeidae	2	0	1	3	0.7
Chloropidae	0	1	2	3	0.7
Micropezidae	0	0	3	3	0.7
Piophilidae	2	0	0	2	0.4
Neriidae	2	0	0	2	0.4
Psychodidae	0	0	2	2	0.4
Anthomyiidae	0	2	0	2	0.4
Tabanidae	0	2	0	2	0.4
Milichiidae	0	0	2	2	0.4
Mydidae	1	0	0	1	0.2
Gasterophilidae	1	0	0	1	0.2
Total: 32	205	132	116	456	100.0

Del orden Hymenoptera es abundante (Cuadro 4), el cual indica que en estos agroecosistemas se mantienen ecológicamente en equilibrio dinámico, es decir, están menos perturbados que otros sistemas agrícolas de la región, de tal manera que se mantiene una relación de equilibrio dinámico entre los fitófagos y entomófagos; se determinaron 36 familias de Hymenoptera, las cuales Formicidae, Braconidae, Ichneumonidae, Proctotrupidae, Pteromalidae y Vespidae, con abundancia de 28.4, 19.1, 7.1, 4.6, 4.1 y 4.1 % respectivamente, las 30 familias restantes representan el



32.6 % de los insectos colectados (Figura 4). Las familias Formicidae y Braconidae, están mejor representadas y la mayor cantidad de insectos se encontró en los cafetales jóvenes de cuatro años, esto se debe a la mayor cantidad de área foliar del cultivo, mayor penetración de la radiación solar y ventilación.

**Cuadro 4** – Número total de insectos y familias del Orden Hymenoptera

Hymenoptera	Plantación de café			Individuos	
	Joven	Intermedia	Avanzado	Total	%
Formicidae	91	41	29	161	28.4
Braconidae	53	37	18	108	19.1
Ichneumonidae	21	9	10	40	7.1
Proctotrupidae	14	7	5	26	4.6
Pteromalidae	4	13	6	23	4.1
Vespidae	11	9	3	23	4.1
Eupelmidae	14	3	5	22	3.9
Eulophidae	9	8	3	20	3.5
Cynipidae	9	3	5	17	3.0
Encyrtidae	8	3	6	17	3.0
Eucharitidae	4	3	6	13	2.3
Signiphoridae	5	4	3	12	2.1
Mymaridae	4	7	0	11	1.9
Eucoilidae	7	4	0	11	1.9
Platygastridae	2	5	3	10	1.8
Scelionidae	3	2	3	8	1.4
Tiphidae	4	2	1	7	1.2
Torymidae	0	4	0	4	0.7
Halictidae	3	1	0	4	0.7
Eurytomidae	1	2	0	3	0.5
Chalcididae	1	2	0	3	0.5
Tetracampidae	0	1	2	3	0.5
Trichogrammatidae	1	1	0	2	0.4
Aulacidae	0	0	2	2	0.4
Scoliidae	0	0	2	2	0.4
Sphecidae	2	0	0	2	0.4
Aphelinidae	0	2	0	2	0.4
Perilampidae	0	2	0	2	0.4
Agaonidae	0	1	0	1	0.2
Pelecniidae	0	1	0	1	0.2
Heloridae	0	1	0	1	0.2
Megaspilidae	1	0	0	1	0.2
Gasteruptiidae	1	0	0	1	0.2
Diapriidae	0	0	1	1	0.2
Apidae	1	0	0	1	0.2
Chrysididae	1	0	0	1	0.2
Total: 36	275	178	113	566	100

Del Orden Heteroptera se determinaron 15 familias, con mayor abundancia las familias Cicadellidae, Reduviidae, Flatidae, Scutelleridae, con 45.5, 12.0, 10.5 y 8.4 %; respectivamente. Además, el 23.6 % de los insectos colectados están incluidos las 11 familias restantes (Cuadro 5). Estos especímenes se colectaron en mayor cantidad en las plantaciones de café jóvenes y la Familia Cicadellidae representan 87 % del total de insectos colectados, se considera alto porcentaje de captura en los cafetales; es importante continuar con el monitoreo de esta familia, ya que en un momento dado estos individuos se pueden escapar de la regulación biológica natural y romper el equilibrio dinámico de las especies insectiles. Según Rojas *et al.* (2001), en cafetales con sombra de la zona Atlántica de Costa Rica, encontraron 130 especies de saltahojas (Heteroptera: Auchenorrhyncha), en diez familias. Por otro lado, la población de individuos de la familia Reduviidae, es relativamente alta, con 23 % del total de insectos colectados de este orden, con mayor cantidad en los cafetales jóvenes en los periodos de floración y fructificación.

**Cuadro 5** – Número total de insectos y familias del Orden Heteroptera

Heteroptera	Plantación de café			Individuos	
	Joven	Intermedio	Avanzado	Total	%
Cicadellidae	35	28	24	87	45.5
Reduviidae	10	8	5	23	12.0
Flatidae	12	5	3	20	10.5
Scutelleridae	8	5	3	16	8.4
Pentatomidae	9	3	1	13	6.8
Pyrrhocoridae	4	3	1	8	4.2
Membracidae	3	4	0	7	3.7
Coreidae	1	3	1	5	2.6
Cydnidae	1	2	0	3	1.6
Rhopalidae	1	0	2	3	1.6
Tingidae	0	2	0	2	1.0
Rhyparochromidae	0	0	1	1	0.5
Cixiidae	1	0	0	1	0.5
Mesoveliidae	1	0	0	1	0.5
Miridae	0	1	0	1	0.5
Total: 15	86	64	41	191	100

La entomofauna asociada al cultivo de café *Coffea arabica* (L.) en el ejido Guadalupe Victoria 1, municipio de Simojovel, Chiapas, se encontraron 2 521 especímenes de insectos incluidos en 134 familias y 12 órdenes. Los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera y Heteroptera, representan el 81.3 % de la entomofauna asociada a los cafetales de este ejido, con 42.2 % del total de insectos

que se colectaron en la plantación de cuatro años de edad (Joven), esto se debe a la mayor cantidad de alimento disponible y las condiciones de ambiente más favorable para el desarrollo de los insectos, por la abundancia del follaje y la altura de las plantas se tiene mayor penetración de radiación solar con mayor ventilación, en comparación a los cafetales de diez y veinte años, en donde se encontraron 30.2 y 27.4 % del total de insectos colectados. De acuerdo a la revisión de las familias de insectos de los doce órdenes encontrados en los cafetales se distinguen 88 familias de insectos fitófagos, 27 familias de parasitoides y 19 familias de depredadores.

#### **4. CONCLUSIONES**

En los cafetales del ejido Guadalupe Victoria 1, del municipio de Simojovel, Chiapas, se encuentra gran diversidad de insectos, tanto fitófagos como entomófagos (depredadores y parasitoides), que ejercen control biológico natural, de tal manera que no es necesario aplicar otras medidas de control de insectos asociados al cultivo; en las plantaciones de las tres edades de café la diversidad de insectos fitófagos y entomófagos es abundante y contrastante de tal manera, que el agroecosistema se encuentra en equilibrio dinámico de las especies y las cantidades por individuos que se consideran fitófagos es relativamente bajo en comparación a las cantidades de individuos de las familias entomófagas (depredadoras y parasitoides).

## REFERENCIAS

- Ibarra-Núñez, G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, México. I. variedad y abundancia. *Folia Entomológica Mexicana*, 79:207-231.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. *Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades*. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>. Fecha de consulta: 20-VIII-2018.
- Moguel, P. y V. M. Toledo (s/f). El café en México: ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *El Jarocho Verde*, p. 3-12
- Morón M. A., J.A. López-Méndez. 1985. Análisis de la entomofauna necrófila de un cafetal en el Soconusco, Chiapas, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 63:47-59.
- Morón, M. A. y R. Terrón. 1988. *Entomología Práctica*. Publicación No. 22. Instituto de Ecología. México, D. F. 504 p.
- Perfecto I., J. Vandermeer, P. Hanson, V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 6:935-945.
- Rojas L., C. Godoy, P. Hanson, C. Kleinn, L. Hilje. 2001. Hopper (Homoptera: Auchenorrhyncha) diversity in shaded systems of Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 53:171-177.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. *Avance de Siembras y Cosechas, resumen Nacional por Estado*. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do). Fecha de consulta: 10-I- 2019.
- Soto P., L. 2018. Diversidad y otros servicios ambientales de los cafetales. Sistema de Producción Alternativos. *De Nuestro Pozo*, p. 1-5.
- Soto-Pinto L., I. Perfecto, J. Castillo-Hernández, J. Caballero-Nieto. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80:61-69.
- Soto-Pinto L., V. Villalvazo-López, G. Jiménez-Ferrer, N. Ramírez-Marcial, G. Montoya, F. L. Sinclair. 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffeesystems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 16:419-436.
- Valencia V., S. Naeem, L. García-Barrios, P. West, E. J. Sterling. 2016. Conservation of tree species of late succession and conservation concern in coffee agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219:32-41.

# CAPÍTULO 10

## CRESCIMENTO INICIAL E ÍNDICES FISIOLÓGICOS DE ACESSOS DE MAMOEIRO INOCULADOS COM *PAPAYA RINGSPOT VÍRUS*

### **Ana Maria Pereira Bispo de Castro**

Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: anamariapbs@hotmail.com

### **Josimare Queiroz da Conceição**

Mestranda em Recursos Genéticos Vegetais pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: josimareqc@gmail.com

### **Ademir Trindade Almeida**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ademirtrindade777@gmail.com

### **Gisele da Silva Machado**

Doutora em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Local de trabalho: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: gsmac03@gmail.com

### **Ellen Rayssa Oliveira**

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ellen.rayoli@gmail.com

### **Jamile Maria da Silva dos Santos**

Doutora em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: jmariasantos7@gmail.com

### **Clovis Pereira Peixoto**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: cppeixot@ufrb.edu.br

### **Valfredo da Silva Pereira**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: valfredopereira@ufrb.edu.br

**RESUMO:** Objetivou-se quantificar o crescimento vegetal e avaliar os índices fisiológicos de diferentes acessos de mamoeiro inoculados com o vírus PRSV-P e assim identificar acessos superiores frente a mancha anelar. O experimento foi realizado na Casa de Vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas - BA, em blocos inteiramente casualizados. Foram testados 24 acessos e uma cultivar, com três repetições e dois controles de cada acesso. Três plantas foram inoculadas com PRSV-P e duas deixadas como controles negativos. As avaliações de crescimento foram feitas aos 15, 30 e 60 dias após inoculação. Foram mensurados a altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar e os índices fisiológicos Taxa de crescimento absoluto (TCAP), Taxa de crescimento relativo da planta (TCRP), Taxa de crescimento absoluto foliar (TCAF) e Taxa de crescimento relativo foliar (TCRF). Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. As médias das cultivares foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade e as médias dos tratamentos (controle x inoculados) foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. A análise quantitativa de crescimento e os índices fisiológicos mostraram ser ferramentas eficientes para identificar diferenças no crescimento de diferentes materiais. O acesso CMF026 demonstrou maior estabilidade para as características número de folhas e área foliar ao longo das avaliações, sendo menos afetada para essas características pelo vírus da mancha anelar.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Carica papaya* L.; Mancha anelar; Viroses do mamoeiro.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to quantify plant growth and evaluate the physiological indexes of different papaya accessions inoculated with the PRSV-P virus and thus identify superior accessions against ring spot. The experiment was carried out in the Vegetation House of Embrapa Cassava e Fruticultura, located in Cruz das Almas - BA, in completely randomized blocks. Twenty-four accessions and one cultivar were tested, with three replications and two controls of each accession. Three plants were inoculated with PRSV-P and two left as negative controls. Growth assessments were made at 15, 30 and 60 days after inoculation. Plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area and physiological indices were measured. Absolute Growth Rate (TCAP), Relative Plant Growth Rate (TCRP), Absolute Leaf Growth Rate (TCAF) and relative leaf growth (TCRF). Data were submitted to the F test for analysis of variance. Cultivar means were grouped by Scott- Knott test at 5 % probability and treatment means (control x inoculated) were compared by Tukey's test at 5 % probability. Quantitative growth analysis and physiological indices proved to be efficient tools to identify differences in the growth of different materials. Accession CMF026 showed greater stability for the characteristics number of leaves and leaf area throughout the evaluations, being lessaffected for these characteristics by the ring spot virus.

**KEYWORDS:** *Carica papaya* L.; Ring spot; Papaya virus.

## 1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) pertence à família Caricaceae, é uma árvore frutífera cultivada em regiões tropicais e subtropicais (RAMASWAMY *et al.*, 2010). Adaptada ao Nordeste brasileiro, com grande expressão na economia da região, contribui expressivamente nos aspectos econômicos e sociais, proporcionando emprego e renda (SÁ *et al.*, 2013). Além disso, a fruta é conhecida por seus benefícios nutricionais e aplicações medicinais (MALABADI *et al.*, 2011).

A produção mundial de mamão é de 13735086 toneladas. O Brasil destaca-se como segundo maior produtor mundial de mamão, com uma produção de 1.161.808 toneladas, que corresponde a 8,13 % da produção mundial e está entre os principais países exportadores, principalmente para o mercado europeu (FAO, 2019).

Os locais de produção mais importantes no Brasil são os estados do Espírito Santo, Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Minas Gerais. A Bahia é o segundo maior estado produtor de mamão do país, com uma produção de 390.075 toneladas (IBGE, 2019).

Um dos principais problemas no cultivo comercial do mamoeiro é a incidência de uma doença denominada mosaico do mamoeiro, causado pelo vírus *Papaya ringspot virus* (PRSV-P) (DAMASCENO JR. *et al.*, 2015). Pode provocar perdas na produção que oscilam entre 5 % e 100%, dependendo da idade na qual o pomar é infectado (PURCIFULL *et al.*, 1984).

A doença manifesta-se inicialmente, com o amarelecimento das folhas mais novas, posteriormente ocorre mosaico (áreas verdes misturadas com amarelas), distorção foliar, anéis oleosos nos frutos e manchas oleosas no caule que constituem a principal característica sintomatológica da doença. Estes sintomas resultam em diminuição da taxa de crescimento das plantas e em consequente redução da produtividade. Plantas que são infectadas em estágios jovens de desenvolvimento permanecem atrofiadas e não chegam a ser economicamente produtivas (PURCIFULL *et al.*, 1984; GONSALVES *et al.*, 2010).

A propagação da cultura do mamoeiro no Brasil é realizada por mudas (LIMA *et al.*, 2007). Desta forma, a etapa de produção de mudas é fundamental para o sucesso do pomar, pois a qualidade da muda está relacionada com o potencial produtivo das plantas adultas, o que pode garantir rápida formação do pomar, homogeneidade da cultura e precocidade da colheita (FRANCO e PRADO, 2008;

COSTA *et al.*, 2010). Além disso, a necessidade de constante renovação dos pomares de mamoeiro faz com que a busca por novas tecnologias de produção de mudas, com variedades mais resistentes a problemas fitossanitários e pesquisas nessa área se torne imprescindível (LIMA *et al.*, 2007).

A análise quantitativa de crescimento constitui uma parte da fisiologia vegetal em que se faz uso de fórmulas e modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas, sendo muito deles relacionados com a atividade fotossintética (BENINCASA, 2004). Tem sido usada por pesquisadores de plantas, na tentativa de explicar diferenças no crescimento, de ordem genética ou resultante de modificações no ambiente (PEIXOTO, *et al.*, 2011; PEIXOTO, 2020).

A presença da mancha anelar no mamoeiro acarreta sérios danos na formação da planta, principalmente nas folhas, reduzindo a fotossíntese e conseqüentemente o seu crescimento e produtividade. Desta forma a análise de crescimento torna-se uma importante aliada para detectar diferenças no crescimento dos diferentes acessos, submetidos a mesma doença, sendo uma importante ferramenta para seleção de plantas superiores.

Logo, objetivou-se com esse trabalho quantificar o crescimento e índices fisiológicos de diferentes acessos inoculados e não inoculados com o vírus PRSV-P, visando selecionar acessos superiores frente a mancha anelar.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Foram testados nove acessos de mamoeiro do grupo Formosa, 15 acessos e a cultivar Aliança do grupo Solo (Tabela 1).



**Tabela 1** – Identificação do nome comum dos acessos estudados. Cruz das Almas-BA, 2021.

<b>Grupo Formosa</b>	<b>Grupo solo</b>	
<b>Nome comum</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Nome comum</b>
CMF004: DCG424-4	Aliança	CMF050: S7
CMF011: DCG440-3	CMF005: Linha IX	CMF051: S14
CMF018: DCG424-6	CMF006: Solmar	CMF052: S1
CMF031: DCG441	CMF021: Solsun	CMF056: 7212xMaradol
CMF035: FRF	CMF22: DCG590-3- Sunrise	CMF230: Ouro Mel
CMF054: PR-I0-65 x Tailândia	CMF026: DCG422-4	CMF232: M5
CMF172: FRF1442-mamão comum	CMF027: DCG432	CMF234: BS
CMF175: FRF1445-mamão comum	CMF036: Guin. GolxSel.Mex.	
CMF177: FRF1447	CMF037: Helena x Redsolo	

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 24 acessos e uma cultivar, com três repetições e dois controles de cada acesso, totalizando 125 unidades experimentais. Três plantas foram inoculadas com PRSV-P e duas deixadas como controles negativos.

As sementes foram obtidas do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Foram semeadas três sementes de cada acesso em copos plásticos, com capacidade de 500 mL, contendo substrato composto por uma proporção de 1:2 de solo e casca de coco. Um mês após a semeadura foi feito o desbaste.

Após dois meses da semeadura, quando as plantas apresentavam 3-4 folhas, três plantas de cada acesso foram inoculadas mecanicamente, duas vezes com um intervalo de 15 dias, com um isolado de PRSV-P, coletado na região que mostrava sintomas severos de mosaico e distorção foliar, assim como manchas de aspecto oleoso em pecíolos e frutos, usando-se tampão fosfato de sódio a 0,02 M, pH 7,0, contendo 0,02 M de sulfito de sódio. Como abrasivo foi utilizado o celite, sendo adicionados 0,2 g ao macerado. As amostras foram maceradas na diluição 1/10 (p/v) e as plantas foram inoculadas mecanicamente com o pistilo, sendo em seguida lavadas (STEVENS, 1997). Duas plantas de cada acesso foram deixadas como controle negativo.

As avaliações de crescimento foram iniciadas quinze dias após a primeira inoculação (DAI), sendo feitas aos (15, 30 e 60 DAI). Foram mensurados a altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, estimada pelo método comprimento por largura (CxL). Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância. As médias dos acessos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5 % de

probabilidade e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2018).

Estimaram-se também as características de crescimento por meio das medidas em cada intervalo de tempo, determinando os seguintes índices fisiológicos:

Taxa de crescimento absoluto da planta (TCAP)

$$TCAP = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm dia}^{-1}) \quad (1)$$

Taxa de crescimento relativo da planta (TCRP)

$$TCRP = \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}) \quad (2)$$

No qual,  $L_1$  é a medida da altura da planta, no tempo  $t_1$  e  $L_2$  a medida da altura no tempo  $t_2$ .

Taxa de crescimento absoluto foliar (TCAF)

$$TCAF = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm}^2 \text{ dia}^{-1}) \quad (3)$$

Taxa de crescimento relativo foliar (TCRF)

$$TCRF = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}) \quad (4)$$

No qual,  $A_1$  é a área foliar por planta no tempo  $t_1$  e  $A_2$  a área foliar no tempo  $t_2$ .

Os índices fisiológicos não foram submetidos à ANOVA, pois, os dados não atendem às pressuposições da análise de variância (BANZATTO e KRONKA, 1989). Os dados médios adquiridos para as diferentes variáveis foram transformados em polinômios exponenciais por homogeneizarem as variâncias dos dados, proporcionais à média das plantas e órgãos em crescimento, através da transformação logarítmica, recomendada por Causton e Venus (1981) e Pereira e Machado (1987).

A equação polinomial de segundo grau, representou a progressão do

crescimento ao longo do ciclo, em que (y) são os índices em função do tempo, sendo a, b, e c os coeficientes empíricos determinados matematicamente e x a variável tempo em dias após a inoculação, com o uso do programa Excel.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise quantitativa de crescimento

De acordo com a análise de variância aos 15 dias, o tipo de inoculação foi significativo para característica área foliar (AF), e altamente significativa para acessos nas características altura de planta (AP), número de folhas (NF) e AF. A interação, tipo de inoculação x acesso, foi significativa apenas para característica diâmetro do caule (DC), Tabela 4.

Em relação à altura de planta Tabela 2, o acesso CMF172 apresentou a maior altura, sendo superior aos demais com um valor médio de 19,40 cm, seguido pelos acessos CMF027 (16,88), CMF230 (16,42), CMF036 (16,02), CMF054 (15,68) e CMF026 (15,57) cm, que não diferiram entre si. Já os acessos CMF011 e CMF037 apresentaram as menores alturas com um valor médio de 8,46 e 8,87 cm respectivamente.

Para característica número de folhas (NF), os acessos CMF026 e CMF177 apresentaram os maiores valores médios, sem diferirem entre si com 13,70 e 13,20 respectivamente. Os acessos CMF054 (11,70), CMF027 (10,70), CMF175 (10,70), CMF050 (10,95) e CMF036 (10,70), pertenceram ao mesmo grupo de Scott-Knott, apresentando segundo melhor desempenho para esta variável.

Observou-se para área foliar que o acesso CMF026, foi superior aos demais com o valor 1,27 dm<sup>2</sup>, e os acessos CMF011 e CMF037 apresentaram a menor área foliar, correspondente a 0,14 e 0,23 dm<sup>2</sup> respectivamente. Os demais acessos pertenceram ao mesmo grupo do teste estatístico.

**Tabela 2** – Valores médios de altura de planta (AP), número de folhas (NF) e Área foliar (AF) de plantas de mamoeiro inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 15 dias após a inoculação (DAI). Cruz das almas-BA, 2021.

<b>Acesso</b>	<b>AP(cm)</b>	<b>NF</b>	<b>AF (dm<sup>2</sup>)</b>
Aliança	13,11 c	8,40 c	0,54 b
CMF004	12,64 c	8,35 c	0,54 b
CMF005	13,88 c	9,60 c	0,66 b
CMF006	12,02 c	9,65 c	0,55 b
CMF011	8,46 e	8,60 c	0,14 c
CMF018	13,68 c	9,85 c	0,44 b
CMF021	11,04 d	8,90 c	0,49 b
CMF022	13,61 c	8,95 c	0,62 b
CMF026	15,57 b	13,70 a	1,27 a
CMF027	16,88 b	10,70 b	0,57 b
CMF031	13,41 c	9,15 c	0,58 b
CMF035	13,85 c	9,30 c	0,55 b
CMF036	16,02 b	10,70 b	0,59 b
CMF037	8,87 e	9,10 c	0,23 c
CMF050	11,72 c	10,95 b	0,47 b
CMF051	12,73 c	8,10 c	0,48 b
CMF052	13,01 c	9,50 c	0,55 b
CMF054	15,68 b	11,70 b	0,46 b
CMF056	12,92 c	8,45 c	0,63 b
CMF172	19,40 a	9,10 c	0,69 b
CMF175	14,23 c	10,70 b	0,60 b
CMF177	15,39 b	13,20 a	0,77 b
CMF230	16,42 b	9,65 c	0,62 b
CMF232	14,28 c	9,20 c	0,60 b
CMF234	12,63 c	8,30 c	0,41 b

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de e Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 3, pode-se observar que houve diferença significativa para o tipo de inoculação aos 15 DAI. As plantas não inoculadas (controle), apresentaram maior AF (0,61 dm<sup>2</sup>) que as plantas inoculadas (0,52 dm<sup>2</sup>). O que pode estar relacionado ao aparecimento dos primeiros sintomas da doença da mancha anelar nas plantas infectadas pelo vírus, que acometem inicialmente as folhas. Os sintomas foliares observados, iniciaram com clorose das nervuras, mosqueado e bolhas de cor verde (mosaico), o que está de acordo com Purcifull *et al.* (1984).

**Tabela 3** – Valores médios de área foliar (AF) de mudas de mamoeiro em relação ao tipo de inoculação (controle x inoculadas), 15 dias após a inoculação (DAI). Cruz das Almas-BA, 2021.

Tipo de Inoculação	AF(dm <sup>2</sup> )
Controle	0,61 a
Inoculado	0,52 b

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 4, para o desdobramento controle x inoculado, os controles CMF026, CMF031, CMF172, CMF177 e CMF232 foram superiores aos inoculados obtendo maiores valores médios de diâmetro do caule, os demais não diferiram. Dentro dos acessos não inoculados (controle), os acessos CMF026, CMF172, CMF177 e CMF232 não diferiram e apresentaram os maiores diâmetros.

Os inoculados CMF026, CMF177, CMF230 e CMF232 foram superiores aos demais acessos inoculados com o vírus. É importante ressaltar que os acessos, CMF026, CMF177 e CMF232 foram superiores tanto dentro do grupo de plantas não inoculadas como também no das plantas inoculadas, demonstrando uma constância dos mesmos em relação a característica estudada, o que evidencia que foram menos afetados pela doença, aos 15 DAI.

**Tabela 4** – Valores médios de diâmetro do caule (DC) de plantas de mamoeiro inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 15 dias após a inoculação (DAI). Cruz das Almas-BA, 2021

Acessos	DC (cm)	
	Tipo de Inoculação	
	Controle	Inoculado
Aliança	0,50 cA	0,60 aA
CMF004	0,5 cA	0,49 bA
CMF005	0,52 cA	0,52 aA
CMF006	0,42 cA	0,47 bA
CMF011	0,38 cA	0,37 bA
CMF018	0,50 cA	0,49 bA
CMF021	0,45 cA	0,46 bA
CMF022	0,63 bA	0,52 aA
CMF026	0,85aA	0,65 aB
CMF027	0,52 cA	0,60 aA
CMF031	0,68 bA	0,51 bB
CMF035	0,63 bA	0,53 aA
CMF036	0,58 cA	0,55 aA
CMF037	0,45 cA	0,37 bA
CMF050	0,45 cA	0,49 bA
CMF051	0,45 cA	0,47 bA

CMF052	0,55 cA	0,49 bA
CMF054	0,55 cA	0,56 aA
CMF056	0,55 cA	0,43 bA
CMF172	0,72 aA	0,51 bA
CMF175	0,40 cA	0,45 bA
CMF177	0,80 aA	0,56 aB
CMF230	0,50 cA	0,53 aA
CMF232	0,80 aA	0,56 aB
CMF234	0,45 cA	0,47 bA

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de e Scott-Knott a 5 % de probabilidade e as medias seguidas por letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Aos 30 dias após a inoculação, observou-se na análise de variância, diferença altamente significativa para acessos em todas as características estudadas, e significância para o tipo de inoculação nas características AP, DC e AF. No entanto a característica AF, foi a única a apresentar significância na interação tipo de inoculação x acesso.

Os controles foram superiores, tanto para característica AP como para característica DC, com valores médios de altura de planta 18,9 e 17,52 cm para o controle e inoculadas respectivamente e valores médios de diâmetro de caule de 0,75 (controle) e 0,67 cm (inoculadas) (Tabela 5). Estes resultados evidenciam que o crescimento das plantas infectadas com a mancha anelar é claramente afetado, reduzindo o seu crescimento em altura e espessura.

Os controles foram superiores, tanto para característica AP como para característica DC, com valores médios de altura de planta 18,9 e 17,52 cm para o controle e inoculadas respectivamente e valores médios de diâmetro de caule de 0,75 cm (controle) e 0,67 cm (inoculadas) Tabela 5. Estes resultados evidenciam que o crescimento das plantas infectadas com a mancha anelar é claramente afetado, reduzindo o seu crescimento em altura e espessura quando são infectadas em estágio jovem de seu desenvolvimento, o que foi descrito por Purcifull *et al.* (1984) e também por Gonsalves, *et al.* (2010).

**Tabela 5** – Valores médios de altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) de mudas de mamoeiro em relação ao tipo de inoculação (controle x inoculadas), 30 dias após a inoculação (DAI). Cruz das Almas-BA, 2021.

Tipo de Inoculação	AP (cm)	DC (cm)
Controle	18,9 a	0,75 a
Inoculado	17,52 b	0,67 b

Medias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Observou-se na tabela 6, que o CMF172 aos 30 DAI, manteve-se superior aos demais em relação à altura de planta, com valor médio de 24,0 cm. Para característica diâmetro do caule, a cultivar Aliança e os acessos CMF026, CMF031, CMF035 CMF050, CMF172, CMF177 e CMF232 pertenceram ao segundo grupo, os demais apresentaram os menores valores para esta variável.

Os acessos CMF026, CMF037, CMF175 e CMF177 apresentaram o maior número de folhas, com 14,30, 13,15, 11,20 e 13,50 respectivamente. Os demais acessos não diferiram entre si.

**Tabela 6** – Valores médios de altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) de plantas de mamoeiro inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 30 dias após a inoculação (DAI). Cruz das Almas-BA, 2021.

Acesso	AP (cm)	DC (cm)	NF
Aliança	17,68 c	0,83 a	8,25 b
CMF004	15,88 c	0,71 b	6,95 b
CMF005	17,70 c	0,71 b	8,30 b
CMF006	16,07 c	0,61 b	8,05 b
CMF011	14,14 c	0,50 b	10,0 b
CMF018	19,38 b	0,68 b	7,65 b
CMF021	15,78 c	0,62 b	8,85 b
CMF022	17,19 c	0,66 b	7,40 b
CMF026	19,92 b	0,93 a	14,30a
CMF027	20,23 b	0,72 b	8,30 b
CMF031	17,75 c	0,75 a	7,40 b
CMF035	16,85 c	0,79 a	7,70 b
CMF036	20,49 b	0,72 b	8,15 b
CMF037	17,38 c	0,52 b	13,15a
CMF050	16,35 c	0,75 a	10,25b
CMF051	17,75 c	0,66 b	8,20 b
CMF052	15,73 c	0,66 b	7,95 b
CMF054	19,73 b	0,64 b	8,60 b
CMF056	18,40 c	0,65 b	6,15 b

CMF172	24,00 a	0,80 a	6,45 b
CMF175	20,76 b	0,65 b	11,20a
CMF177	18,14 c	0,88 a	13,50a
CMF230	20,38 b	0,64 b	7,25 b
CMF232	17,38 c	0,89 a	7,80 b
CMF234	16,88 c	0,66 b	7,55 b

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de e Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 7, observou-se para o desdobramento (controle x inoculado), os controles CMF018, CMF026, CMF027, CMF031, CMF037, CMF177, CMF230 e CMF232 apresentaram maior área foliar do que as plantas inoculadas, os demais não apresentaram diferença pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Considerando-se os controles e inoculados separadamente, o acesso CMF026 apresentou a maior AF nos dois tipos de inoculação, com 1,89 e 1,49 (dm) para controle e inoculado respectivamente.

**Tabela 7** – Valores médios de área foliar (AF) de plantas de mamoeiro não inoculadas (controle) e inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 30 dias após a primeira inoculação (DAI). Cruz das Almas-BA, 2021.

Acessos	AF(dm <sup>2</sup> )	
	Tipo de Inoculação	
	Controle	Inoculado
Aliança	0,73 cA	1,03 bA
CMF004	0,90 cA	0,69 cA
CMF005	1,06 bA	0,85 cA
CMF006	0,77 cA	0,66 cA
CMF011	0,41 cA	0,44 cA
CMF018	1,25 bA	0,60 cB
CMF021	0,89 cA	0,80 cA
CMF022	1,02 bA	0,96 bA
CMF026	1,89 aA	1,49 aB
CMF027	1,23 bA	0,85 cB
CMF031	1,22 bA	0,66 cB
CMF035	0,80 cA	0,69 cA
CMF036	1,11 bA	0,97 bA
CMF037	1,09 bA	0,60 cB
CMF050	0,61 cA	0,71 cA
CMF051	0,92 cA	0,72 cA
CMF052	0,77 cA	0,65 cA
CMF054	0,81 cA	0,62 cA
CMF056	0,96 cA	0,93 bA
CMF172	1,31 bA	1,02 bA
CMF175	0,94 cA	0,81cA



CMF177	1,34 bA	0,55 cB
CMF230	1,08 bA	0,59 cB
CMF232	1,14 bA	0,67 cB
CMF234	0,80 cA	0,58 cA

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade e as medias seguidas por letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Na Tabela 8, observou-se aos 60 dias para o desdobramento (tipo de inoculação x acessos) significância para todas as características estudadas. Com relação à altura de planta (AP) nos acessos não inoculados houve a formação de três grupos distintos, sendo que o acesso CMF175 apresentou maior valor (38,65 cm). Já nas plantas inoculadas com PRSV apresentaram maior altura de plantas, os acessos (CMF005, CMF018, CMF026, CMF036, CMF037, CMF172, CMF175 e CMF230), com valores médios de (27,46, 26,42, 30,50, 28,59, 27,83, 31,60, 30,11, e 27,75 cm) respectivamente.

Para a mesma característica considerando-se a interação (controle x inoculado), os acessos que apresentaram maior altura foram os controles, (CMF011, CMF018, CMF027, CMF031, CMF056, 175 e CMF177). No entanto um número considerável de acessos inoculados não diferiram dos controles, demonstrando que as plantas inoculadas não tiveram seu desenvolvimento totalmente comprometido pelo vírus 60 dias após a inoculação.

Para a característica diâmetro do caule (DC) houve formação de dois grupos pelo teste de Scott-Knott nas plantas utilizadas como controle, a cultivar Aliança e os acessos CMF004, CMF026, CMF027, CMF031, CMF037, CMF056, CMF177 e CMF232), apresentaram os maiores diâmetros (Tabela 8). Já os acessos inoculados não diferiram entre si.

As plantas utilizadas como controle, apresentaram diâmetro semelhante ou superiores àquelas inoculadas com o PRSV, destacando-se a cultivar Aliança e os acessos CMF004, CMF011, CMF026, CMF027, CMF031, CMF037, CMF056, CMF177, CMF232.

**Tabela 8** – Valores médios de altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) de plantas de mamoeiro não inoculadas (controle) e inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 60 dias após a primeira inoculação. Cruz das Almas-BA,2021.

AP (cm)		DC (cm)		
Acessos	Tipo de Inoculação		Tipo de Inoculação	
	Controle	Inoculado	Controle	Inoculado
Aliança	28,00 cA	25,25 bA	1,45 aA	1,06 aB
CMF004	24,63 cA	21,02 bA	1,30 aA	0,78 aB
CMF005	31,40 bA	27,46 aA	1,25 bA	1,00 aA
CMF006	25,75 cA	24,28 bA	1,00 bA	0,85 aA
CMF011	27,00 cA	21,21 bB	1,10 bA	0,82 aB
CMF018	31,00 bA	26,42 aB	1,07 bA	1,00 aA
CMF021	26,50 cA	24,84 bA	1,05 bA	1,00 aA
CMF022	24,97 cA	24,38 bA	0,85 bA	0,90 aA
CMF026	28,50 cA	30,50 aA	1,60 aA	1,14 aB
CMF027	33,75 bA	24,75 bB	1,40 aA	1,02 aB
CMF031	26,25 cA	21,88 bB	1,27 aA	0,81 aB
CMF035	23,62 cA	23,59 bA	1,10 bA	0,91 aA
CMF036	30,62 bA	28,59 aA	1,12 bA	1,07 aA
CMF037	28,50 cA	27,83 aA	1,45 aA	1,10 aB
CMF050	24,83 cA	23,25 bA	1,00 bA	0,93 aA
CMF051	25,75 cA	24,56 bA	0,92 bA	0,91 aA
CMF052	21,12 cA	22,24 bA	1,07 bA	0,92 aA
CMF054	26,87 cA	26,09 bA	1,12 bA	0,98 aA
CMF056	31,00 bA	25,71 bB	1,55 aA	1,00 aB
CMF172	28,87 cA	31,60 aA	1,12 bA	0,97 aA
CMF175	38,65 aA	30,11 aB	1,10 bA	0,98 aA
CMF177	32,25 bA	24,00 bB	1,65 aA	1,04 aB
CMF230	31,25 bA	27,75 aA	1,10 bA	0,90 aA
CMF232	26,62 cA	22,80 bA	1,45 aA	0,98 aB
CMF234	23,62 cA	24,71 bA	1,10 bA	0,86 aA

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade e as medias seguidas por letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em relação ao número de folhas (NF), considerando-se os controles, foram superiores Aliança, CMF004, CMF005, CMF011, CMF026, CMF027, CMF035, CMF0037, CMF054 e CMF177. Nas plantas inoculadas, houve a formação de três grupos, com destaque para a CMF177 que apresentou número médio de 6,66 folhas. Para o desdobramento (controle x inoculado), os acessos CMF050, CMF052, CMF177 e CMF230) inoculadas foram superiores aos controles com os valores de número médio de folhas de 7,50, 7,45, 9,66 e 7,25 respectivamente (Tabela 9).

**Tabela 9** – Valores médios de número de folha (NF) e área foliar (AF) de plantas de mamoeiro não inoculadas (controle) e inoculadas com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), 60 dias após a primeira inoculação. Cruz das Almas-BA, 2021.

Acessos	NF		AF(dm <sup>2</sup> )	
	Tipo de Inoculação		Tipo de Inoculação	
	Controle	Inoculado	Controle	Inoculado
Aliança	7,50 aA	5,66 cA	1,05 cA	0,96 bA
CMF004	6,25 aA	5,42 cA	1,31 cA	0,57 bB
CMF005	6,50 aA	5,83 cA	2,22 aA	1,29 aB
CMF006	4,50 bA	5,00 cA	1,29 cA	0,68 bB
CMF011	6,50 aA	6,00 cA	0,92 dA	0,70 bA
CMF018	5,00 bA	6,50cA	1,21 cA	0,60 bB
CMF021	5,75 bA	6,41cA	0,78 dA	1,04 bA
CMF022	5,75 bA	7,16 bA	1,60 cA	1,31 aA
CMF026	8,00 aA	6,83 bA	2,60 aA	1,45 aB
CMF027	8,50 aA	7,16 bA	1,16 cA	1,00 bA
CMF031	5,75 bA	5,08 cA	1,67 bA	0,75 bB
CMF035	6,75 aA	7,33 bA	1,39 cA	0,78 bB
CMF036	5,50 bA	5,83 cA	1,49 cA	0,71 bB
CMF037	8,00 aA	6,50 cA	1,53 cA	0,87 bB
CMF050	5,00 bB	7,50 bA	0,34 dA	0,83 bA
CMF051	5,00 bA	4,92 cA	1,15 cB	1,74 aA
CMF052	4,75 bB	7,45 bA	1,39 cA	0,68 bB
CMF054	6,50 aA	7,58 bA	1,20 cA	0,85 bA
CMF056	4,50 bA	4,91 cA	1,86 bA	1,15 aB
CMF172	5,50 bA	6,08 cA	1,47 cA	1,01 bA
CMF175	5,50 bA	6,17 cA	1,83 bA	1,46 aA
CMF177	6,50 aB	9,66 aA	1,38 cA	1,43 aA
CMF230	4,50 bB	7,25 bA	1,25 cA	0,69 bB
CMF232	5,25 bA	6,83 bA	1,44 cA	0,63 bB
CMF234	6,08 bA	6,00 cA	1,09 cA	0,75 bA

Medias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade e as medias seguidas por letras maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Dentre as plantas inoculadas, o maior NF foi observado no acesso CMF177 e para o desdobramento (controle x inoculado), quatro acessos inoculadas foram superiores ao controle. Este fato não era esperado, uma vez que a doença se manifesta inicialmente, com o amarelecimento das folhas mais novas, posteriormente ocorre mosaico, distorção foliar, queda das folhas e conseqüent diminuição na taxa de crescimento (GONSALVES, *et al.*, 2010). Pode estar atrelado ao período de avaliação (60 DAI), que pode não ser o período de maior severidade da doença ou a uma provável tolerância destes aos sintomas causados pelo vírus, requerendo maior

atenção em estudos posteriores.

Para característica AF, considerando-se o desdobramento (controle x inoculado), foi observado que o acesso CMF051 foi superior ao controle com um valor médio de 1,74 contra 1,15dm<sup>2</sup>. Os controles de 13 acessos foram superiores aos inoculados, sendo eles CMF004, CMF005, CMF006, CMF018, CMF026, CMF031, CMF035, CMF036, CMF037, CMF052, CMF056, CMF230 e CMF232, os demais não diferiram.

Os acessos inoculados CMF005, CMF022, CMF026, CMF051, CMF056 CMF175 e CMF177, apresentaram os maiores valores de área foliar.

### 3.2 Índices fisiológicos

Foram apresentadas as curvas obtidas para observação da sua tendência com relação aos dados alcançados para os acessos inoculados e não inoculados que demonstraram melhor desempenho em relação as variáveis estudadas na análise de crescimento, nas figuras correspondentes a cada variável estudada nos respectivos tempos de avaliação.

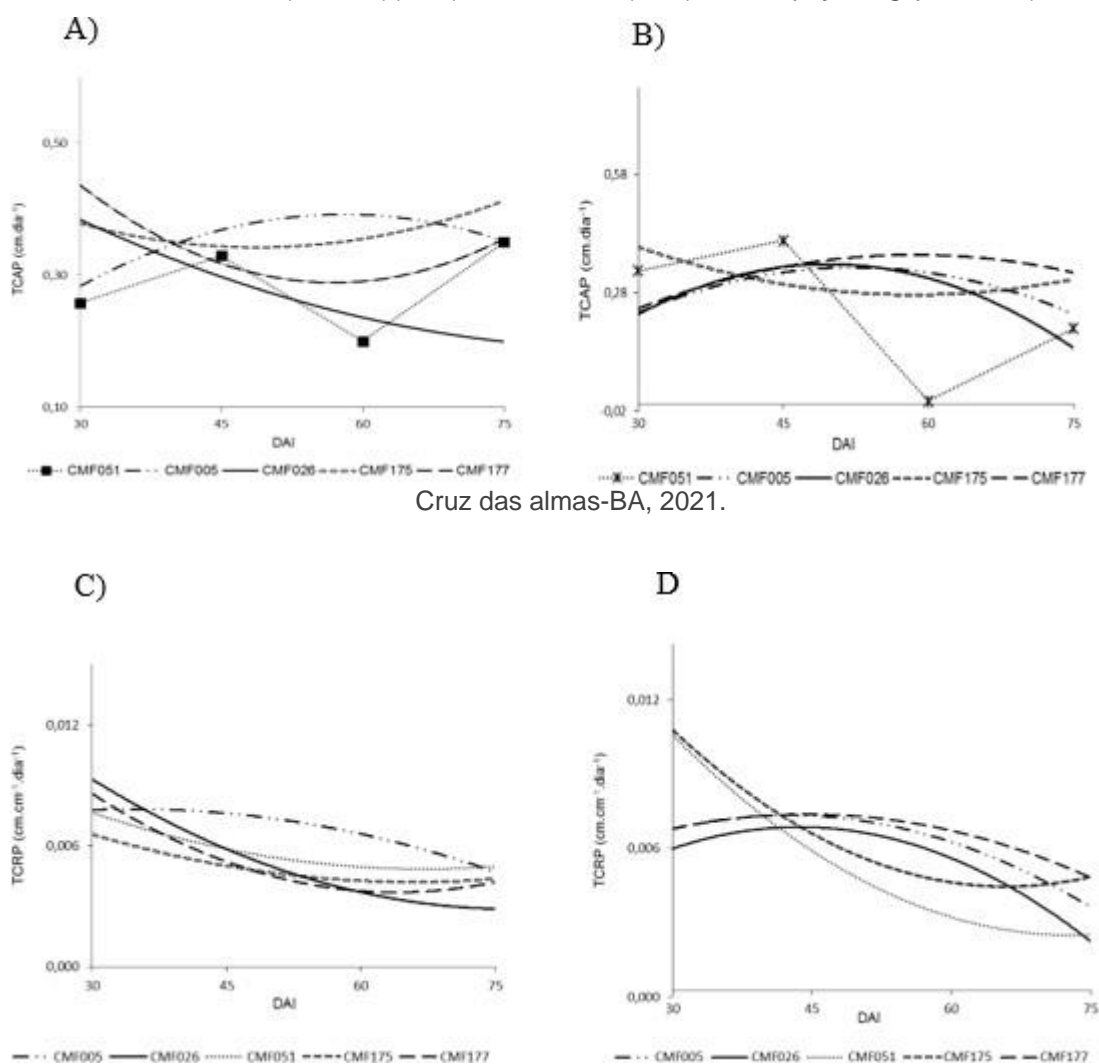
Para as variáveis que não foi possível obter uma equação que se ajustasse aos dados obtidos, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) adequados, optou-se pela ligação dos pontos, sem apresentação de equação e coeficiente de determinação pelo fato de que, nesses casos, há a impossibilidade de uma explicação biológica para a variação obtida. No entanto, ao se determinar uma equação de regressão, o ideal é que apresente seu  $R^2$  em porcentagem quando a variação pode ser explicada pela regressão escolhida (BANZATTO e KRONKA, 2006).

Por levar em consideração os valores preexistentes de altura da planta, a TCRP em relação à TCAP, é um parâmetro mais adequado para a avaliação do crescimento vegetal, mostrando-se ser uma importante ferramenta para a determinação do ritmo de crescimento. Assim, por não consideramos valores pré-existent, a TCAP funcionaria apenas como um indicador da velocidade de crescimento (CAIRO *et al.*, 2008).

De acordo com a Figura 1, os acessos não inoculados (A) apresentaram maiores valores de Taxa de crescimento absoluto de planta, que os acessos inoculados (B), sendo que para os controles (A) CMF026, CMF175 e CMF177 os maiores valores de TCAP podem ser observados aos 30 DAI, com uma redução no crescimento a partir dos 45 DAI, e retomada do crescimento a partir dos 60 aos 75

DAI, com exceção do acesso CMF026 que manteve o declínio. Para TCAP dos acessos inoculados (B), observa-se que o acesso CMF175 apresentou os maiores valores com tendência a crescimento aos 75 DAI, e teve a mesma tendência de crescimento que o seu controle.

**Figura 1** –Taxa de crescimento absoluto da planta (TCAP) e taxa de crescimento relativo da planta (TCRP) dias após inoculação (DAI) dos acessos de mamoeiro CMF005, CMF026, CMF051, CMF175, CMF177 não inoculados (controle)(A, C) e inoculados (B, D) com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P),

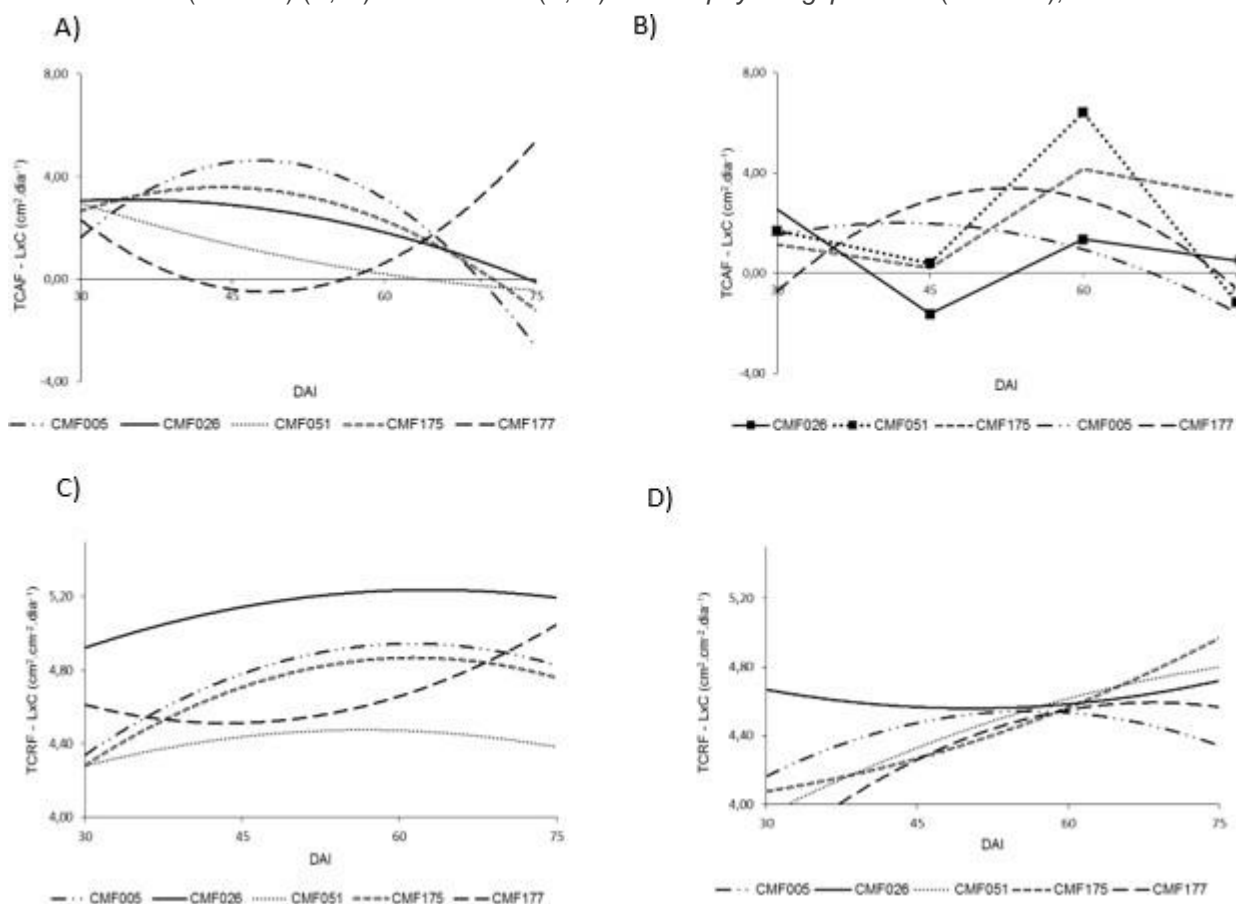


Em relação a taxa de crescimento relativo (C, D), observa-se que os controles (C) apresentaram em sua maioria maiores valores aos 30 DAI com queda aos 45 DAI e retomada aos 75 DAI, com exceção do CMF005 que apresentou maior valor aos 45 DAI com posterior declínio no crescimento. Vale ressaltar, que os controles apresentaram valores iniciais de TCR muito próximos, o que não ocorreu com os acessos inoculados (D), dos quais os acessos CMF051 e CMF175 apresentaram os

maiores valores, superaram os seus controles e ao contrário dos demais acessos inoculados, demonstraram tendência a crescimento aos 75 DAI.

Os acessos inoculados CMF005, CMF026 e CMF177 (D) apresentaram diminuição na TCR aos 75DAI. Esta diminuição está de acordo com o que foi observado por Lima *et al.* (2007), ao avaliarem índices fisiológicos em dois genótipos de mamoeiro, no qual a TCR para ambos os materiais apresenta valores máximos aos e 15DAE e diminuíram continuamente até os 95 DAE, período final de avaliação. Essa variação está de acordo com o esperado, uma vez que qualquer incremento em peso, altura ou área foliar ao longo de um determinado período está diretamente relacionado ao tamanho alcançado no período anterior (LIMA *et al.*, 2007).

**Figura 2** – Taxa de crescimento absoluto foliar (TCAF) e taxa de crescimento relativo foliar (TCRF) dias após a inoculação (DAI) dos acessos de mamoeiro CMF005, CMF026, CMF051, CMF175, CMF177 não inoculados (controle) (A, C) e inoculados (B, D) com *Papaya ringspot virus* (PRSV-P), Cruz das Almas-



BA, 2021.

Observa-se que os valores da taxa de crescimento absoluto foliar (TCAF) dos acessos não inoculados (A) foram maiores do que os acessos inoculados (B). A TCAF mensura a velocidade decrescimento, que estima o aumento da área foliar por cm<sup>2</sup>

dia, nos intervalos estudados.

O acesso CMF026 não inoculado apresentou maior velocidade de crescimento que os demais acessos estudados aos 30 DAI, mas teve uma redução a partir dos 45 DAI, já os acessos CMF005 e CMF175 obtiveram um aumento aos 45 DAI e reduziram a velocidade de crescimento foliar mais tardiamente aos 60 DAI. O acesso CMF177 ao contrário dos outros apresentou menores valores de TCAF aos 45 DAI, com uma retomada da velocidade de crescimento foliar aos 60 a 75 DAI.

Em relação aos acessos inoculados (B), observa-se que o CMF026, CMF051 e CMF175 não apresentaram equações que se ajustassem aos dados obtidos, isto provavelmente ocorreu devido à queda abrupta nos valores de TCAF aos 45 DAI com posterior retomada no crescimento aos 60 DAI, o que pode ser atribuído a redução da área foliar devido as deformações foliares (sintoma causado pelo vírus PRSV-P), com retomada de crescimento resultante das frequentes adubações conduzidas nos tratos culturais durante o experimento. É importante ressaltar que estes acessos, apresentaram os maiores valores de TCAF entre os acessos inoculados, sendo que o CMF051 foi superior ao seu controle, aos 60 DAI.

Para a taxa de crescimento relativo da área foliar (TCRAF), que mensura o acréscimo diário de área foliar por unidade de área, já existente ( $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), o incremento também foi maior para os acessos não inoculados (C), dos quais o acesso CMF026 apresentou o maior incremento. A maioria dos acessos apresentaram a mesma tendência com aumento gradativo no incremento, com queda aos 75 DAI, com exceção do CMF177, que demonstrou tendência a crescimento aos 75 DAI, como ocorreu com o TCAF.

Os acessos inoculados (D) apresentaram tendências diferentes, o acesso CMF026 teve maior incremento de área foliar aos 30 DAI, com queda aos 45 DAI e retomada a partir dos 60 DAI, já os acessos CMF051 e CMF175 tiveram baixos valores de incremento inicial, com tendência a crescimento no final do período de avaliação superando os demais acessos.

Os acessos CMF005 e CMF177 apresentaram tendência a queda aos 75 DAI, tendo o CMF177 apresentado desempenho contrário ao seu controle (C), que demonstrou tendência a crescimento no final do período de avaliação. O aumento da área foliar significa expansão do aparelho sustentação e manutenção da planta, por se tratar de um órgão assimilatório. A área foliar relaciona-se ao potencial fotossintético, proporcionando melhor interceptação e utilização da radiação solar,

resultando em aumento de matéria seca em folhas e raízes (SATTAR *et al.*, 2011).

#### **4. CONCLUSÕES**

A análise quantitativa de crescimento e os índices fisiológicos mostraram ser ferramentas eficientes para identificar e comparar diferentes materiais genéticos, durante o crescimento inicial de plantas de mamoeiro.

O acesso CMF026 demonstrou maior estabilidade para as características número de folhas e área foliar ao longo das avaliações, sendo menos afetada para essas características pelo vírus da mancha anelar.



## REFERÊNCIAS

- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1989. BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.
- CAIRO, P. A. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; MESQUITA, A. C. **Análise de Crescimento de Plantas**. Vitoria da Conquista: Edições UESB, 2008. 72p.
- CAUSTON, D. R.; VENUS, J. C. **The biometry of plant growth**. London, Edward Arnold, 1981. 307 p.
- COSTA, E. *et al.* Crescimento de mudas de mamoeiro conduzidas em diferentes ambientes protegidos, recipientes e substratos na região de Aquidauana, Estado do Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 463-470, 2010.
- DAMASCENO JUNIOR, P. C., *et al.* Diversidade genética em duas espécies de Caricáceas e suas relações genéticas com *Carica papaya* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 733-739, out-dez, 2015.
- FAO. **FAOSTAT. Production**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, v. 1, n. 1, p. 1-9. 2011.
- FRANCO, C. F.; PRADO, R. M. Nutrição de micronutrientes em mudas de goiabeira em resposta ao uso de soluções nutritivas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 403-408, 2008.
- GONSALVES, D., S. TRIPATHI, J. B. CARR, SUZUKI, J. Y. Papaya Ringspot virus. The Plant Health Instructor. 2010. Disponível em: <[https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/viral/pdlessons/Pages/PapayaRingspot\\_virus.aspx](https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/viral/pdlessons/Pages/PapayaRingspot_virus.aspx)>. Acesso em: 18 de jun. de 2021.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, 2007.
- PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 33p.
- MALABADI, R.B.; KUMAR, S.V.; MULGUND, G.S.; NATARAJA, K. Induction of somatic embryogenesis in Papaya (*Carica papaya*). **Research in Biotechnology**, v. 2, n. 5, p. 40-55, 2011.

PEIXOTO, C. P., CRUZ, T. V. da; PEIXOTO, M. de F. da S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.13, 2011.

PEIXOTO, C. P. **Princípios de Fisiologia Vegetal: teoria e prática**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Pod, p.125-136, 2020.

PURCIFULL, D. E.; EDWARDSON, J. R.; HIEBERT, E.; GONSALVES, D., *Papaya ringspot virus*. CMI/AAB. *Description of plant viruses*, 292, 8p. 1984.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 18 de jun. de 2021.

RAMASWAMY, A.; PHAP, P.D.; SOORIANATHASUNDARAM, K.; KUMAR, N. Somatic Embryogenesis in *Carica papaya* through Zygotic Embryo Derived Callus Culture, p. 201-208, 2010.

SÁ, F. V. da S.; MARCOS, E. B. B.; MELO, A. S. de; NETO; P. A.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, I. B Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina, **R. Bras. Eng. Agríc.Ambiental**, v.17, n.10, p.1047–1054, 2013.

SATTAR, A.; CHEEMA, M. A.; WAHID, M. A.; SALEEM; HASSAN, M. F. M. Interactive effect of sulphur and nitrogen on growth, yield and quality of canola. *Crop & Environment*, v. 2, n. 1, p. 32-37, 2011.

STEVENS, W.A. *Virology of flowering plants*. Glasgow. Blackie & Son, 1983. 192

# CAPÍTULO 11

## SINDROME RESPIRATÓRIA AGUDA: EXARCEBAÇÃO IMUNOLÓGICA E RESPOSTA CLÍNICA AO COVID-19

### **Valfredo da Silva Pereira**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: valfredopereira@ufrb.edu.br

### **Clovis Pereira Peixoto**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: cppeixot@ufrb.edu.br

### **Ademir Trindade Almeida**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ademirtrindade777@gmail.com

### **Elvis Lima Vieira**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: elvieira@ufrb.edu.br

### **Ellen Rayssa Oliveira**

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ellen.rayoli@gmail.com

### **Denio de Oliveira**

Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IF BAIANO)  
Endereço: Rua Luíz Viana, 92, Catu - BA, Brasil  
E-mail: oliveiradenio@gmail.com

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar a ação do GA3 no crescimento inicial de plantas de pinhão manso, via pré-embebição de sementes e em pulverizações foliares. O delineamento experimental utilizado no primeiro experimento foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos (concentrações de GA3) e quatro repetições. No segundo ensaio o delineamento foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 6 (seis concentrações de GA3 x seis avaliações no tempo) com quatro repetições. As sementes foram pré-embebidas por oito horas, submetidas aos seguintes tratamentos: controle em água destilada (0,0) e as concentrações de giberelina líquida 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 mL do produto L-1 de solução, as quais correspondem a 32,0;

64,0; 96,0; 128,0 e 160 mg de GA3 L-1 de solução, respectivamente. Após isso, as sementes foram semeadas em sacos de polietileno preto, previamente preenchidos com substratos distintos para cada experimento, os quais foram mantidos em casa de vegetação a temperatura ambiente para germinação das sementes. No primeiro experimento, além dos tratamentos com as sementes foram realizadas pulverizações das plantas de pinhão manso, com as mesmas concentrações de GA3 utilizadas na embebição das sementes. Aos 40 dias após a semeadura foram avaliadas as características agrônomicas em cinco plantas uniformes. No segundo experimento, as plantas foram avaliadas em seis fases de crescimento: 21, 31, 41, 51, 61 e 71 dias após a semeadura. De posse dos dados de massa da matéria seca total da planta e da área foliar foi possível calcular os índices fisiológicos taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de regressão, as quais foram ajustados a equações de regressão polinomial. O GA3 favorece a obtenção de plantas de pinhão manso mais altas, com maior número de folhas, menor diâmetro do caule, menor acúmulo de massa de matéria seca de raízes e folhas, além de antecipar as máximas taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida, acelerando o crescimento e desenvolvimento de mudas de pinhão manso.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Jatropha curcas* L.; Giberelina; GA3; Desenvolvimento.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the GA3 action on initial growth of jatropha plants, by pre-imbibing seeds and leaf sprays. The experimental design used in the first experiment was completely randomized, with six treatments (concentrations of GA3) and four replicates. In the second trial the design was randomized blocks in a 6 x 6 factorial scheme (six concentrations of GA3 x six time evaluations) with four replications. The seeds were pre-soaked for eight hours and the following treatments were used: control indistilled water (0,0) and concentrations of liquid gibberellin 0.8, 1.6, 2.4, 3.2 and 4.0 mL product L-1 of solution, which correspond to 32.0; 64.0; 96.0; 128.0 and 160 mg GA3 L-1 of solution, respectively. After that the seeds were sown in black polyethylene bags, previously filled with different substrates for each experiment, which were kept in a greenhouse at room temperature for seed germination. In the first experiment, in addition to the treatments with the seeds sprays of the jatropha plants were carried out, with the same concentrations of GA3 used in the imbibition of the seeds. At 40 days after sowing the agronomic characteristics of five uniform plants were evaluated. In the second experiment, the plants were evaluated in six stages of growth: 21, 31, 41, 51, 61 and 71 days after sowing. With the data of mass of the total dry matter of the plant and the leaf area it was possible to calculate the physiological indexes relative growth rate and net assimilation rate. The data were submitted to analysis of variance and the means compared by the regression test, which were adjusted to polynomial regression equations. GA3 favors obtaining higher jatropha plants with more height, higher leaf number, lower stem diameter, lower mass accumulation of root and leaf dry matter, as well as to anticipate the relative growth rate and net assimilation rate maximum, accelerating the growth and development of jatropha saplings.

**KEYWORDS:** *Jatropha curcas* L. Gibberellin; GA3; Liquid gibberellin; Development.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por novas alternativas de recursos energéticos, oriundas de métodos não poluentes em substituição à exploração do petróleo, está cada vez mais em evidência na tentativa de diminuir a poluição do meio ambiente. Os recursos renováveis parecem ser a melhor saída para essa problemática, uma vez que muitas espécies apresentam características favoráveis para produção de óleo biocombustível (DRUMOND *et al.*, 2016).

Dentre as espécies promissoras está o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), a qual tem despertado o interesse de pesquisadores, sobretudo no que se refere aos aspectos genéticos, agrônômicos e fisiológicos, com o objetivo de torná-la uma cultura competitiva e economicamente viável para os produtores (FRANCIS *et al.*, 2013). A planta apresenta característica arbustiva, perene, de crescimento rápido e potencial capacidade de produzir grãos, de onde pode ser extraído óleo com características propícias para produção de biodiesel (LAVIOLA *et al.*, 2014; VIRGENS *et al.*, 2017).

A propagação do pinhão manso pode ser realizada via sexuada ou assexuada, no entanto, para a produção de mudas, o sistema mais recomendado é por meio de sementes, o que confere maior resistência à planta, com raízes mais vigorosas, uma vez que é essencial o uso de mudas para plantio em boas condições morfofisiológicas e de qualidade assegurada (ARRUDA *et al.*, 2004; COROMOTO *et al.*, 2010; PAULINO *et al.*, 2011).

As culturas podem passar por alterações no seu crescimento e desenvolvimento, com reflexos na produção, influenciadas pela ação do balanço hormonal endógeno das plantas (ALMEIDA e VIEIRA, 2009). Pesquisas sobre a aplicação exógena de fitoreguladores ou biorreguladores vegetais de crescimento via pré-embebição de sementes ou por meio de pulverização das plantas, podem auxiliar no processo de produção de mudas de várias espécies por esses produtos apresentarem ações similares aos fitohormônios de produção endógena (CASTRO e VIEIRA, 2001).

Os efeitos da giberelina podem ser observados no crescimento e desenvolvimento de mudas, em especial no alongamento caulinar, expansão da área foliar e consequente acúmulo de massa da matéria seca (STEFANINI *et al.*, 2002). Desempenho parecido pode ser alcançado com a aplicação exógena da giberelina líquida (GA<sub>3</sub>), uma vez que, nesse caso, pode ocorrer um excesso no alongamento

do caule e conseqüente diminuição do diâmetro (WAGNER JÚNIOR et al., 2008).

A quantificação do incremento da massa da matéria seca e da área foliar, em função do tempo, são pré-requisitos utilizados para estimar alguns índices fisiológicos relacionados às diferenças de desempenho entre cultivares ou diferentes materiais da mesma espécie e das comunidades vegetais, nos diversos estudos ecofisiológicos (LIMA *et al.*, 2007). Os índices fisiológicos fornecem subsídios para o entendimento das adaptações experimentadas pelas plantas sob diferentes condições do meio, tais como: luz, temperatura, umidade e fertilidade do solo (PEIXOTO *et al.*, 2012). Esses índices podem ser utilizados como ferramentas adicionais no acompanhamento do crescimento vegetal (SOUZA *et al.*, 2013).

Para o plantio definitivo no campo, é necessário que a muda apresente condições morfofisiológicas adequadas para enfrentar as adversidades edafoclimáticas, o que pode ser consolidado por meio do uso de reguladores de crescimento, os quais possibilitam a formação de mudas de boa qualidade em menor espaço de tempo. Assim, objetivou-se avaliar a ação do GA3 no crescimento inicial de plantas de pinhão manso, via pré- embebição de sementes e em pulverizações foliares.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação do campus do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas, Bahia.

Foram utilizadas sementes de pinhão manso obtidas na Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A. (EBDA), município de Alagoinhas-BA. O regulador vegetal utilizado no tratamento das sementes e nas pulverizações foi a giberelina líquida (GA3), composta de 4 % de GA3 e 96 % de ingredientes inertes.

As sementes passaram por uma assepsia, imersas em solução de hipoclorito de sódio a 2,0 %, por dois minutos e posteriormente lavadas em água corrente. Em seguida as sementes foram embebidas por oito horas, submetidas aos seguintes tratamentos: controle em água destilada (0,0) e as concentrações de giberelina líquida (0,8; 1,6; 2,4; 3,2 e 4,0 mL do produto L<sup>-1</sup> de solução). Na Tabela 1 é possível observar a quantidade de ácido giberélico (mg L<sup>-1</sup>) presente nas soluções utilizadas (tratamentos).

**Tabela 1** – Soluções (tratamentos) de giberelina líquida ( $\text{mL L}^{-1}$  de solução) e suas respectivas concentrações de ácido giberélico ( $\text{mg L}^{-1}$ ) utilizadas e controle. Cruz das Almas, BA, 2021.

Tratamentos	Giberelina Líquida com 4 % de GA <sub>3</sub>	Concentrações de GA <sub>3</sub>
	$\text{mL L}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$
T1	Controle (água destilada)	0
T2	0,8	32
T3	1,6	64
T4	2,4	96
T5	3,2	128
T6	4,0	160

No primeiro momento, foram semeadas três sementes em sacos de polietileno preto, com capacidade de um quilo, previamente preenchidos com areia lavada. Os sacos foram mantidos em casa de vegetação a temperatura ambiente para germinação das sementes. As irrigações foram realizadas diariamente nos períodos da manhã e da tarde para manutenção da umidade em torno de 60 %.

Aos quatorze dias após a semeadura (14 DAS), foi efetuado o desbaste deixando-se apenas uma planta por saco. Foram realizadas cinco pulverizações consecutivas diariamente. A primeira foi realizada aos 21 dias após a semeadura (21 DAS), sempre pela parte da manhã, com as mesmas concentrações de GA<sub>3</sub> utilizadas na embebição das sementes.

De cada tratamento e repetição foram avaliadas cinco plantas aleatórias, excluindo-se as da bordadura, observando-se as características: altura de planta (cm), medida com auxílio de uma régua graduada em milímetros; o diâmetro do caule (mm), medido com o auxílio de um paquímetro e o número de folhas fotossinteticamente ativas contadas numericamente. A massa seca total das plantas (MST) (g) e de suas diversas frações (raízes, caules e folhas) foi obtida após as plantas permanecerem em estufa de ventilação forçada, na temperatura de  $65 \pm 5^\circ\text{C}$ , até atingir massa constante. A área foliar ( $\text{dm}^2$ ) foi determinada com uso de um extrator de área conhecida (1,1 centímetros de diâmetro), em que foram extraídos 10 discos foliares para posterior relação entre a massa da matéria seca total da folha e dos discos foliares. Essas avaliações foram realizadas aos 40 dias após a semeadura (DAS).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos (concentrações de GA<sub>3</sub>) e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, foi utilizada a análise de regressão para avaliação das características estudadas, as quais foram ajustados a equações de

regressão polinomial. Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

Paralelo a esse trabalho foi desenvolvido outro experimento para a avaliação dos índices fisiológicos. Os procedimentos de semeadura e desbaste foram os mesmos empregados no primeiro ensaio, porém os sacos utilizados no segundo experimento tinham capacidade de dois quilos, previamente preenchidos com um substrato contendo duas partes de esterco bovino, uma parte de areia lavada e uma parte de terra vermelha (barro), que foram previamente misturados homoganeamente. Nesse experimento, os tratamentos foram realizados somente nas sementes por meio de embebição nas concentrações de GA<sub>3</sub> já apresentadas neste estudo, de forma que não houve tratamento das mudas com pulverizações. As plantas foram avaliadas em seis fases de desenvolvimento: 21, 31, 41, 51, 61 e 71 DAS, com amostragens de cinco plantas para cada tratamento e repetição.

Em cada fase de desenvolvimento foram avaliadas as características: massa da matéria seca total das plantas (g), obtida por meio de suas frações (folhas, hastes e raízes), após permanecer em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65 ± 5°C, até atingir massa constante e a área foliar (AF), determinada por meio da relação entre a massa da matéria seca total das folhas e a massa da matéria seca de dez discos foliares, coletados com o auxílio de um perfurador de área conhecida (CRUZ *et al.*, 2011; PEIXOTO, 2020). De posse dos dados de massa da matéria seca e da área foliar em intervalos regulares de tempo, foi possível calcular os índices fisiológicos taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa assimilatória líquida (TAL) (PEIXOTO, 2020; CRUZ *et al.*, 2011 e SOUZA *et al.*, 2013), utilizando-se as seguintes fórmulas matemáticas:  $TCR = (LnW_2 - LnW_1) / (T_2 - T_1) = g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ; e Taxa Assimilatória Líquida:  $TAL = [(W_2 - W_1) \times (LnL_2 - LnL_1)] / [(L_2 - L_1) \times (T_2 - T_1)] = g\ cm^2\ dia^{-1}$ ; em que, W = massa da matéria seca nos respectivos tempos de avaliação; L = área foliar e T = tempo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 6 (seis concentrações de GA<sub>3</sub> x seis avaliações no tempo) com quatro repetições. Os índices fisiológicos foram apresentados sem serem submetidos à ANAVA por não obedecerem às pressuposições da análise de variância (BANZATTO e KRONKA, 2008), optando-se ajustá-los por meio de funções polinomiais.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fonte de variação devido a tratamentos apresentou efeito significativo pelo teste F da ANAVA ( $p < 0,05$ ), para as características altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e massa da matéria seca de raiz (MSR), conforme pode ser observada na Tabela 2. Foi verificado efeito significativo também para a característica massa da matéria seca de folhas (MSF) (Tabela 3).

**Tabela 2.** Quadrados médios da análise de variância, média e coeficiente de variação das características altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca de raiz (MSR) e massa seca do caule (MSC), em resposta a tratamentos com água destilada e diferentes concentrações de giberelina líquida ( $GA_3$ ). Cruz das Almas, BA, 2021.

FV	GL	QM				
		AP	DC	NF	MSR	MSC
TRAT.	5	23,941667**	0,022987**	0,998667*	0,004373**	0,437037 <sup>ns</sup>
ERRO	18	0,935878	0,002889	0,255556	0,001015	0,245761
MÉDIA		16,60	0,76	5,22	0,26	2,66
CV(%)		5,83	7,04	9,69	12,06	18,67

\*\* e \* significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo a 5 % de probabilidade.

**Tabela 3 –** Quadrados médios da análise de variância, média e coeficiente de variação das características altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca de raiz (MSR) e massa seca do caule (MSC), em resposta a tratamentos com água destilada e diferentes concentrações de giberelina líquida ( $GA_3$ ). Cruz das Almas, BA, 2021.

FV	GL	QM		
		MSF	AF	MST
TRAT.	5	0,013902*	1,085000 <sup>ns</sup>	0,590499 <sup>ns</sup>
ERRO	18	0,004185	0,672886	0,285397
MÉDIA		0,62	7,99	3,54
CV(%)		10,36	10,26	15,08

\*\* e \* significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade.

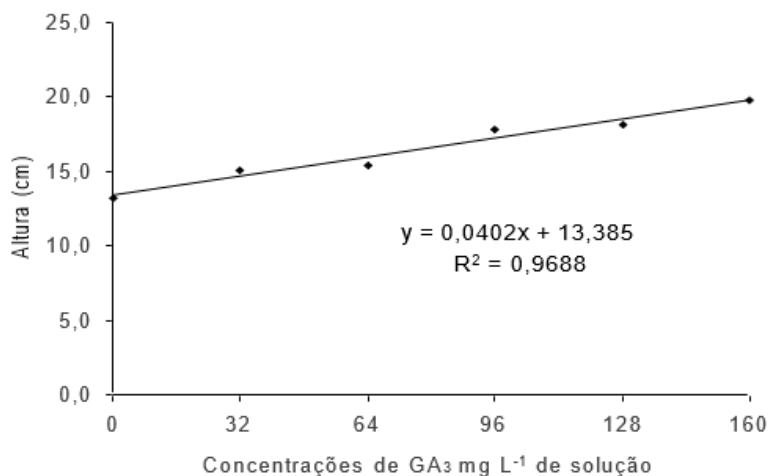
A forma como é instalado e desenvolvido o experimento, assim como é realizada a coleta de dados vão refletir, dentre outros fatores, na precisão dos resultados encontrados. Isso pode ser verificado mediante os valores do coeficiente de variação (CV), conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3, esses valores apresentam-se numa faixa considerada aceitável, uma vez que quanto menores forem os CV mais confiáveis são os resultados adquiridos. Para as características estudadas neste trabalho, os valores encontrados estão menores que os observados por outros autores

que também trabalharam com pinhão manso, avaliando características como altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e massa da matéria seca das plantas e de suas frações (NERY *et al.*, 2009; COROMOTO *et al.*, 2010; DALRI *et al.*, 2012).

Os resultados referentes à altura de plantas (AP) estão apresentados na Figura 1. É possível observar que os dados se ajustaram ao modelo linear ( $\hat{y} = 0,0402x + 13,385$ ), apresentando aumento constante à medida que foi elevada a concentração de GA<sub>3</sub> nas soluções utilizadas na embebição das sementes e posteriores pulverizações das mudas. Nota-se que houve um aumento de 13,39 cm para 19,82 cm entre o tratamento testemunha (água destilada) e a maior concentração de GA<sub>3</sub> utilizada na solução (160 mg L<sup>-1</sup>) respectivamente, o que resulta em um aumento de aproximadamente 32 %. Isso indica que o GA<sub>3</sub> promoveu um efeito positivo na altura de plantas de pinhão manso e pode ser um produto eficiente na produção de mudas da espécie em um menor espaço de tempo.

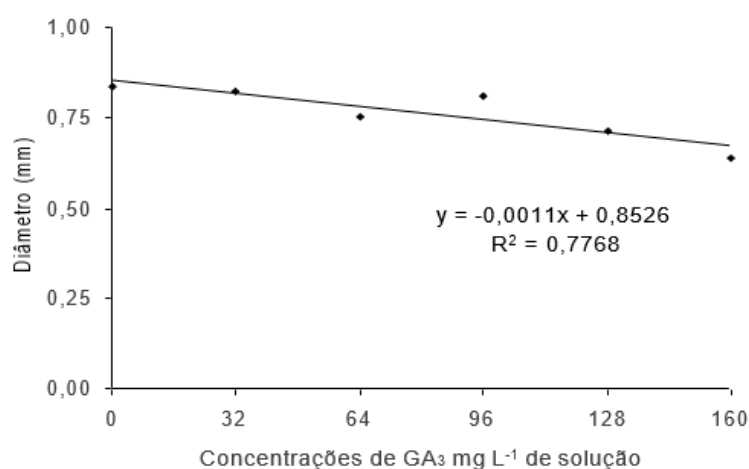
Os resultados verificados nesta pesquisa revelam que a ação do regulador vegetal foi eficiente no crescimento das mudas de pinhão manso, avaliadas aos 40 dias após a semeadura (DAS). Isso pode ser constatado ao se observar os resultados de AP verificados por Dalri *et al.* (2012), quando avaliaram a produção de mudas de pinhão manso em diferentes recipientes, os quais encontraram valores abaixo dos observados nesta pesquisa, referente aos tratamentos em que foi utilizado o GA<sub>3</sub>, cuja avaliações foram realizadas no mesmo período em ambos estudos.

**Figura 1** – Altura de plantas (AP) de pinhão manso, em resposta aos tratamentos com diferentes concentrações de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), aos 40 dias após a semeadura. Cruz das Almas, BA, 2021.



A variação do diâmetro do caule (DC) pode ser observada na Figura 2. O modelo matemático que melhor explicou a variação dos dados de DC também foi o linear ( $\hat{y} = -0,0011x + 0,8526$ ). No entanto, diferente do que ocorreu na AP (Figura 1), o DC apresentou uma tendência decrescente à medida que se aumentou a concentração do GA<sub>3</sub> nas soluções utilizadas como tratamento na embebição de sementes e pulverização das plantas de pinhão manso. O uso da maior concentração de GA<sub>3</sub> neste estudo (160 mg L<sup>-1</sup>) resultou em um DC de 0,67 mm, enquanto que o tratamento com água destilada proporcionou um DC de 0,85 mm. Essa variação detectada entre os tratamentos supracitados expressa uma diminuição de 21 % e demonstra que o uso do GA<sub>3</sub> não promoveu ação favorável ao aumento do DC das plântulas de pinhão manso.

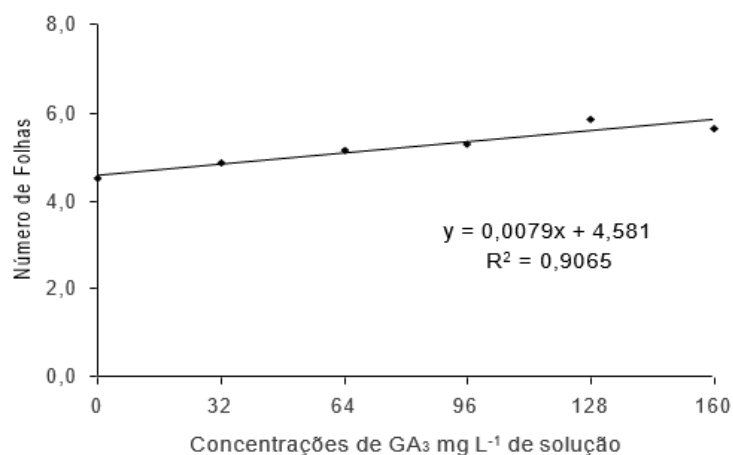
**Figura 2** – Diâmetro do caule (DC) de plantas de pinhão manso, em resposta aos tratamentos com diferentes concentrações de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) aos 40 dias após a semeadura. Cruz das Almas, BA, 2021.



Esse efeito depressivo do DC em resposta ao uso do GA<sub>3</sub> pode ser considerado como um resultado esperado, uma vez que esse regulador vegetal, ao promover o maior alongamento do caule e conseqüente aumento da altura da planta (STEFANINI *et al.*, 2002), pode provocar um efeito contrário em relação ao diâmetro caulinar, resultando em sua diminuição em função do tratamento exógeno com o regulador vegetal. Ao avaliar a ação do GA<sub>3</sub> em mudas de pessegueiro, Wagner Júnior *et al.* (2008) chegaram a conclusão que o regulador vegetal não promoveu efeito no diâmetro do caule das plantas tratadas. Para esses autores, o maior crescimento em altura observado nas mudas foi decorrente do alongamento celular, sem que, no entanto, refletisse em recíproco aumento em diâmetro.

A curva referente ao número de folhas (NF), em função dos tratamentos com diferentes concentrações de GA<sub>3</sub> está apresentada na Figura 3. Assim como foi verificado para AP e DC, o modelo matemático que melhor explicou a variação dos dados foi o linear ( $\hat{y} = 0,0079x + 4,581$ ), em que pode ser observado um desempenho ascendente à medida que se aumentou a concentração do regulador vegetal nas soluções utilizadas como tratamento, podendo apresentar respostas ainda mais significativas caso fossem utilizadas concentrações ainda maiores que as testadas neste estudo (160 mg L<sup>-1</sup> de solução).

**Figura 3** – Número de folhas (NF) de plantas de pinhão manso, em resposta aos tratamentos com diferentes concentrações de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) aos 40 dias após a semeadura. Cruz das Almas, BA, 2021.



O resultado encontrado para NF pode estar relacionado, provavelmente, ao estímulo da produção e desenvolvimento de novas gemas foliares. Além disso, a variação do número de folhas pode ser ocasionada por fatores intrínsecos das plantas, relacionada às características morfofisiológicas, dentre elas a ação hormonal, que está de certa forma envolvida no processo de produção de novas folhas e consequente interceptação luminosa para realização da fotossíntese. No processo de formação de mudas, o uso de reguladores vegetais poderá promover efeitos similares aos hormônios de produção endógena, o que irá retardar o plantio definitivo da muda no campo.

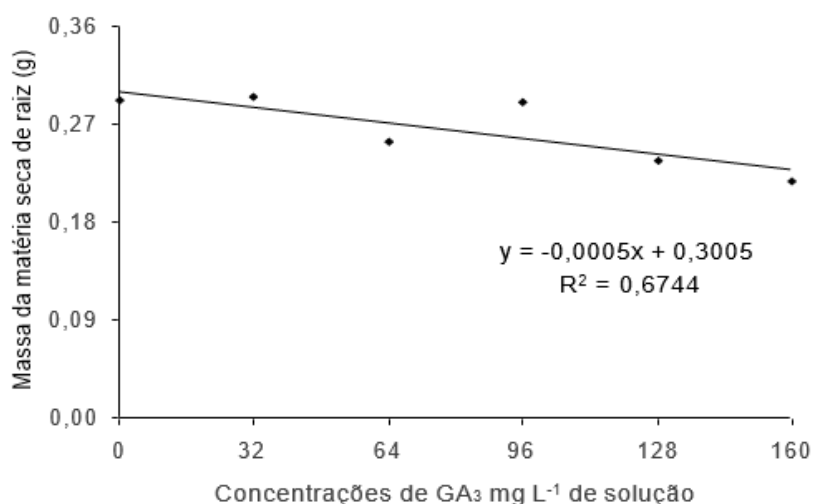
Para Peixoto *et al.* (2015), o maior número de folhas, a depender da sua distribuição, vai refletir na área foliar da planta que pode ser considerada a superfície disponível para interceptação e absorção de luz solar, com consequente acúmulo de foto assimilados.

Os dados adquiridos de massa da matéria seca de raiz (MSR) estão apresentados na Figura 4, os quais se ajustaram ao modelo matemático linear ( $\hat{y} = -0,0005x + 0,3005$ ). Observa-se que ocorreu redução contínua da MSR ao passo em que se elevou a concentração do GA<sub>3</sub> nas soluções utilizadas. Esse desempenho, assim como o verificado na característica DC, indica que o GA<sub>3</sub> não promoveu efeito positivo na MSR, ao contrário do que foi constatado para AP e NF.

O decréscimo encontrado para massa da matéria seca de raiz de pinhão manso neste trabalho pode estar relacionado às características fisiológicas intrínsecas da

própria espécie, assim como das concentrações do GA<sub>3</sub> utilizadas, uma vez que a mesma concentração de um regulador vegetal pode causar efeitos distintos, a depender do órgão da planta em estudo. Para Vendruscolo *et al.* (2016), a ação do GA<sub>3</sub>, que resulta no alongamento celular, pode promover o crescimento da parte aérea da planta e inibir a formação de novas raízes, o que resulta, conseqüentemente, em uma desproporcionalidade no crescimento do vegetal e uma menor massa da matéria seca de raiz.

**Figura 4.** Massa da matéria seca de raiz (MSR) de plantas de pinhão manso, em resposta aos tratamentos com diferentes concentrações de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) aos 40 dias após a semeadura. Cruz das Almas, BA, 2021.

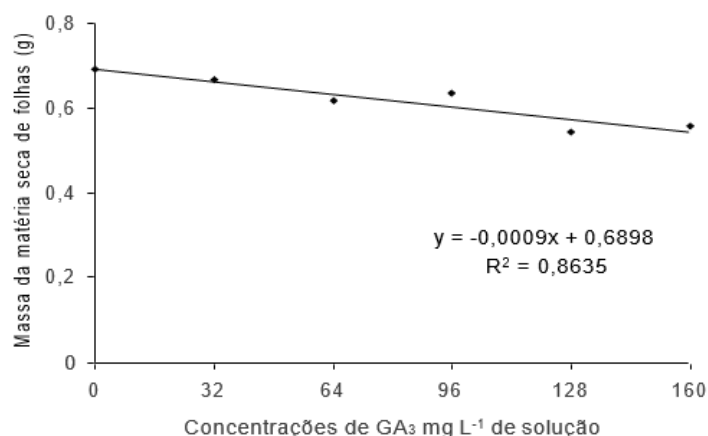


A variação da massa da matéria seca de folhas está apresentada na Figura 5, em que houve um ajuste adequado dos dados ao modelo matemático linear ( $\hat{y} = -0,0009x + 0,6898$ ). Nota-se que à medida que se elevou a concentração de GA<sub>3</sub> na solução dos tratamentos, foi verificada uma recíproca tendência de decréscimo imutável da curva, chegando a uma redução de 21 % entre o tratamento em que foi utilizada somente água destilada (0,70 g) e a solução com concentração de 160 mg de GA<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (0,55 g).

Essa diminuição na MSF pode ser ocasionada pela alongação do caule da planta de pinhão manso, pois, em que pese tenha aumentado o número de folhas (Figura 3), não necessariamente deveria haver incremento em sua massa da matéria seca, uma vez que as folhas podem ser menores e menos densas, não promovendo maior massa comparada às plantas não tratadas. Como observado neste estudo,

Lima *et al.* (2009) também não obtiveram resultado satisfatório de MSF em mudas de jaqueira, ao utilizar GA<sub>3</sub> no tratamento de sementes. Para Moterle *et al.* (2011), a presença da giberelina promove maiores taxas de crescimento em decorrência do aumento na formação de novas células e de maior alongamento celular.

**Figura 5** – Massa da matéria seca de folha (MSF) de plantas de pinhão manso, em resposta aos tratamentos com diferentes concentrações de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) aos 40 dias após a semeadura. Cruz das Almas, BA, 2021.



Alguns dos parâmetros utilizados para aferir o crescimento vegetal são basicamente a massa da matéria seca da planta, também chamada de fitomassa e a dimensão do aparelho fotossintetizante ou área foliar. A partir do pressuposto da análise de crescimento, a qual considera que em média 90 % da matéria orgânica acumulada ao longo do crescimento da planta resultam da atividade fotossintética, a coleta de dados referentes ao acúmulo de massa de matéria seca, assim como o incremento de área foliar, em função do tempo, torna-se imprescindíveis para se estimar alguns índices fisiológicos para diferenciar o desempenho entre cultivares (CRUZ *et al.*, 2011).

Na Tabela 4 encontram-se as equações referentes à variação da taxa de crescimento relativo (TCR) e da taxa assimilatória líquida (TAL), na qual estão apresentados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), de acordo com a análise de regressão que, além de corrigir as oscilações normais, permite avaliar a tendência do crescimento em função dos tratamentos (PEIXOTO *et al.*, 2011) e permite uma melhor expressão do desempenho das plantas durante seu ciclo (LIMA *et al.*, 2007; LESSA *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2013).

**Tabela 4** – Equações polinomiais Taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa assimilatória líquida (TAL) de plantas de pinhão manso submetidas a tratamentos com o ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) mais o controle. Cruz das Almas, BA, 2021.

TCR		TAL	
EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>
$yT1 = -0,0062x^2 + 0,0504x - 0,0241$	0,77	$yT1 = -6E-06x^2 + 0,0007x - 0,0092$	0,82
$yT2 = -0,0092x^2 + 0,0686x - 0,046$	0,89	$yT2 = -1E-05x^2 + 0,0013x - 0,0187$	0,9
$yT3 = -0,0132x^2 + 0,0901x - 0,0636$	0,83	$yT3 = -2E-05x^2 + 0,0018x - 0,0272$	0,93
$yT4 = -0,0102x^2 + 0,0714x - 0,0416$	0,89	$yT4 = -2E-05x^2 + 0,0014x - 0,0215$	0,91
$yT5 = -0,0114x^2 + 0,0807x - 0,0552$	0,92	$yT5 = -1E-05x^2 + 0,0013x - 0,0192$	0,85
$yT6 = -0,0129x^2 + 0,0896x - 0,0699$	0,9	$yT6 = -2E-05x^2 + 0,0016x - 0,0252$	0,84

A taxa de crescimento relativo (TCR) é considerada uma das ferramentas mais apropriadas para avaliar o crescimento vegetal, a qual é dependente da quantidade de material acumulado gradativamente em um período de tempo, levando em consideração a massa da matéria seca que a planta já havia produzido (PEIXOTO *et al.*, 2011).

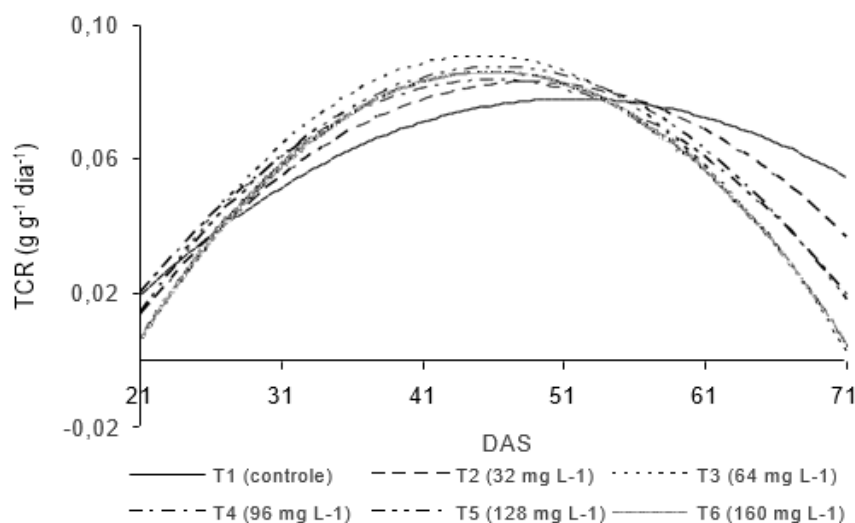
A variação da TCR de mudas de pinhão manso, oriundas de sementes tratadas com diferentes concentrações de GA<sub>3</sub> e controle (água destilada) pode ser observada na Figura 6. Os dados de todos os tratamentos ajustaram-se ao modelo matemático quadrático ( $\hat{y} = ax^2 + bx + c$ ), em que houve um aumento até alcançar um pico, com posterior decréscimo até o último dia de avaliação (71 DAS). Os valores médios máximos foram constatados no período compreendido entre os 41 e 51 DAS, os quais variaram entre 0,08 e 0,09 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. No caso do controle (T1), esse valor máximo foi observado posteriormente, entre os 51 e 61 DAS, uma vez que, a partir desse ponto, a curva do T1 manteve-se superior aos demais tratamentos, chegando a uma maior TCR aos 71 DAS. Isso indica que o uso do GA<sub>3</sub> promoveu efeito incisivo no incremento de massa de matéria seca no período compreendido entre os 31 e 51 DAS sem, no entanto, manter esse maior acúmulo até o final do estudo.

A taxa de crescimento relativo tende a decrescer com aumento da idade da planta, o que está relacionado com o aumento gradual dos tecidos não fotossintéticos e do auto-sombreamento, levando a maior taxa de respiração. No início do desenvolvimento das plantas, a área foliar é composta por folhas jovens, com uma elevada capacidade fotossintética e taxa de crescimento, o que faz as mesmas apresentarem altas taxas de crescimento relativo nesta fase do ciclo (PEDÓ *et al.*, 2015). Entretanto, quando se trata do estudo de mudas é normal ocorrer tendências



distintas, uma vez que o número de folhas no começo da avaliação é bem reduzido, da mesma forma que o crescimento é mais lento, o que pode ocasionar curvas de tendências como as observadas neste estudo.

**Figura 6** – Variação da taxa de crescimento relativo (TCR) ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) e dias após a semeadura (DAS) de plantas de pinhão manso, oriundas de sementes pré-embebidas em água destilada (T1) e cinco concentrações de  $\text{GA}_3$  (T2 a T6) em casa de vegetação. Cruz das Almas, BA, 2021.

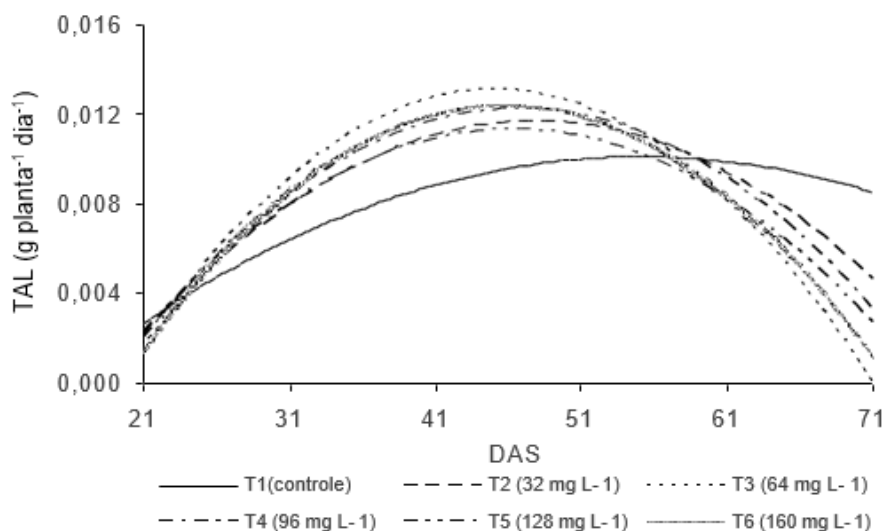


Tendências de TCR similares foram verificadas por Oliveira et al. (2011) ao avaliarem mudas de pinhão manso, submetidas a diferentes tratamentos com produto biorregulador, o qual contém em sua composição 0,005% de ácido geberélico, além de outros reguladores vegetais como cinetina, ácido indolbutírico e ingredientes inertes. No entanto, Lima *et al.* (2007) obtiveram curvas decrescentes com o tempo de desenvolvimento de mudas de mamoeiro.

Na Figura 7 estão apresentadas as curvas da TAL de mudas de pinhão manso, resultantes do tratamento de sementes com concentrações distintas de  $\text{GA}_3$  e com água destilada (controle). É possível notar que as variações da TAL mostraram padrões definidos de curvas entre os tratamentos, em que os dados ajustaram-se ao modelo matemático quadrático ( $\hat{y} = ax^2 + bx + c$ ), com acréscimo da TAL no começo do período de avaliação até chegar a valores médios máximos, com posterior decréscimo até o final do período de observação. Esses valores máximos das concentrações de  $\text{GA}_3$  (T2 a T6) ocorreram no período compreendido entre os 41 e 51 DAS, diferente do tratamento controle (T1) que obteve esse valor máximo entre os 51 e 61 DAS.

A concentração de 64 mg de GA<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> de solução foi a que atingiu o pico da TAL mais elevado dentre todos os tratamentos. Contudo, a partir dos 61 DAS, o tratamento controle (T1) manteve valores médios mais elevados até os 71 DAS, o que pode estar relacionado a diminuição dos níveis de GA<sub>3</sub> nas plantas de pinhão manso após transcorrido esse período.

**Figura 7** – Variação da taxa assimilatória líquida (g dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e dias após a semeadura (DAS) de plantas de pinhão manso, oriundas de sementes pré-embebidas em água destilada (T1) e cinco concentrações de GA<sub>3</sub> (T2 a T6) em casa de vegetação. Cruz das Almas, BA, 2021.



O aumento detectado nas curvas da TAL pode ser explicado pelo reduzido número de folhas, uma vez que se trata de mudas de pinhão manso, espécie arbustiva e perene, características que resultam no crescimento mais lento com menor número de folhas. Isso faz com que a sobreposição das folhas superiores sobre as inferiores seja menor, o que reduz o auto sombreamento e favorece a fotossíntese mais eficiente. A partir do momento em que há um aumento do número de folhas é normal ocorrer um decréscimo da curva, pois a fotossíntese líquida passa a ser cada vez menor à medida que a planta cresce devido tanto ao aumento do autossombreamento como da formação de novos órgãos, o que faz aumentar a taxa respiratória.

No estudo de plantas de manjeriço, submetidas a tratamento com solução contendo 100 mg L<sup>-1</sup> de ácido giberélico, Barreiro *et al.* (2006) também obtiveram curva da TAL com aumento seguido de queda no decorrer do ciclo das plantas. Tendências parecidas foram observadas por Oliveira *et al.* (2011) trabalhando com

plantas de pinhão manso, submetidas a tratamentos com biorregulador vegetal com GA<sup>3</sup> em sua composição. No caso de mudas de mamoeiro, Lima *et al.* (2007) verificaram resultado distinto aos deste estudo, ao chega à curva da TAL que apresentou decréscimo seguido de aumento nos últimos dias de avaliação.

Os resultados obtidos neste estudo revelaram curvas de tendência padronizadas entre os tratamentos, com uma resposta contundente do GA<sup>3</sup> entre o começo e meados do período de observação, o que não ocorreu no final da avaliação quando o tratamento controle apareceu com maiores valores médios em decorrência do menor efeito do GA<sup>3</sup> nesse período. Talvez a aplicação do produto por meio de pulverizações das plantas em torno dos 51 DAS pudesse manter as curvas desses índices em ascensão por mais tempo, inclusive com maior valor médio no final da avaliação, o que pode ser investigado em estudos futuros.

Estudos sobre a ação de reguladores vegetais na cultura do pinhão manso ainda são muito escassos. Esta pesquisa pode ser considerada como uma orientação para novas investigações sobre o assunto na espécie, de forma que seja possível se aprofundar ainda mais sobre os efeitos de reguladores vegetais sintéticos com ação similar à giberelina, assim como também a outros hormônios vegetais como as auxinas e citocininas.

#### **4. CONCLUSÕES**

O GA<sup>3</sup> favorece a obtenção de mudas de pinhão manso mais altas, com maior número de folhas, menor diâmetro do caule, menor acúmulo de massa de matéria seca de raízes e folhas.

O ácido giberélico antecipa as máximas taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida, acelerando o crescimento e desenvolvimento de mudas de pinhão manso.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. Q.; VIEIRA, E. L. Efeito do Stimulante® na Produção de *Nicotiana tabacum* Tipo Brasil-Bahia. *Magistra*, Cruz das Almas, v. 21, n. 1, p. 18-22, 2009.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, 2004.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação agrícola. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2008. 237p.
- BARREIRO, A. P.; ZUCARELI, V.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. *Bragantia*, Campinas, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. Aplicação de reguladores vegetais na agriculturatropical. Guaíba. Livraria e Editora Agropecuária, 2001, 132p.
- COROMOTO, A.; CAMARGO, R.; SANTOS, E. P.; COSTA, T. R.; SILVA, P. A. Produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes substratos e tamanhos de embalagens. *Agropecuária Técnica*, Areia, v. 31, n. 2, p. 119–125, 2010.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; BRUGNERA, A.; LOPES, P. V. L. Índices fisiológicos de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no Oeste da Bahia. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 663-679, 2011.
- DALRI, A. B.; CORBANI, R. Z.; MAZZONETTO, F.; FRANCISCO, J. A. Produção de mudas de pinhão-manso em diferentes recipientes. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, Garça, v. 22, n. 2, p. 1-8, 2012.
- DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, A. R.; SIMÕES, W. L.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANJOS, J. B.; LAVIOLA, B. J. Produção e distribuição da biomassa de *Jatropha curcas* no semiárido brasileiro. *Revista Cerne*, Lavras v. 22, n. 1, p. 35-42, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. Agrotec.* [online], Lavras, v.38, n. 2, p.109-112, 2014.
- FRANCIS, G.; OLIVER, J.; SUJATHA, M. Non-toxic *jatropha* plants as a potential multipurpose multi-use oilseed crop. *Industrial Crops and Products*, v. 42, p. 397-401, 2013.
- HORSCHUTZ, A. C. O.; TEIXEIRA, M. B.; ALVES, J. M.; SILVA, F. G.; SILVA, N. F. Crescimento e produtividade do pinhão-manso em função do espaçamento e irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 10, p.1093–1099, 2012.
- LAVIOLA, B. G.; SILVA, S. D. A.; JUHÁSZ, A. C. P.; ROCHA, R. B.; OLIVEIRA, R.

J. P.; ALBRECHT, J. C.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B. Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhao-manso em três regiões do Brasil. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 49, n. 5, p. 356-363, 2014.

LESSA, L. S.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, M. M. Desempenho fisiológico de mudas de bananeira na fase inicial de Crescimento. *Revista Magistra*, Cruz das Almas, v. 20, n. 3, p. 305-312, 2008.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, 2007.

LIMA, J. F.; FONSECA, V. J. A.; MORAES, J. C. C.; ALMEIDA, J.; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO, C. P. GERMINAÇÃO DE SEMENTES PRÉ-EMBEBIDAS E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE *Artocarpus heterophyllus* Lam. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 10, n. 6, p. 437-441, 2009.

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 651-660, 2011.

NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.5, p.551-558, 2009.

OLIVEIRA, D.; PEIXOTO, C. P.; VIEIRA, E. L.; OLIVEIRA, S. M. R.; MACHADO, G. S.; PEIXOTO, M. F. S. P. Índices fisiológicos de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) provenientes de sementes pré-embebidas em stimulate®. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1833-1846, 2011.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; FLUMIGNAN, D. L.; ZOLIN, C. A.; BARBOZA JÚNIOR, C. R. A.; PIEDADE, S. M. S. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 37-46, 2011.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Plant growth analysis and seed vigor expression: effects of soil waterlogging during rye plant development. *Acta Botanica Brasílica*, Feira de Santana, v. 29, n. 1, p. 01-07, 2015.

PEIXOTO, C. P. *Princípios de Fisiologia Vegetal: teoria e prática*. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Pod, p.125-136, 2020.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

PEIXOTO, C. P.; MACHADO, G. S.; BORGES, V. P.; ALVES, E. C.; LEAL, G. M. F. Índices fisiológicos de soja hortaliça em duas épocas de semeadura no Recôncavo Sul Baiano. *Scientia Agraria Paranaensis*, V. 11, n. 3, p. 56-67, 2012.

PEIXOTO, C. P.; BLOISI, F. M.; POELKING, V. G. C; OLIVEIRA, J. S.; ALMEIDA, A. T.; CRUZ, T. V. Divergência genética e correlação fenotípicas em genótipos de amendoim do grupo Valencia, tipo Vagem Lisa, no Recôncavo Baiano. Revista Magistra, v. 27, n. 1, p. 145-154, 2015.

SOUZA, L. H. B.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S.; SILVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, D.; SANTOS, J. M. S. Índices fisiológicos de girassol em diferentes épocas de semeadura e densidade de plantas no Recôncavo da Bahia. Revista Magistra, Cruz das Almas, v. 25, n. 2, p. 94-108, 2013.

STEFANINI, M. B.; RODRIGUES, S. D.; MING, L. C. Ação de fitorreguladores no crescimento da erva-cidreira-brasileira. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 1, p. 18-23, 2002.

VENDRUSCOLO, E. P.; CAMPOS, L. F. C.; MARTINS, A. P. B.; SELEGUINI, A. GA3 em sementes de tomateiro: efeitos na germinação e no desenvolvimento inicial de mudas. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 19-23, 2016.

VIRGENS, I. O.; CASTRO, R. D.; LOUREIRO, M. B.; FERNANDEZ, L. Z. *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. Revista Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 20, p. 1-11, 2017.

WAGNER JÚNIOR, A.; SILVA, J. O. C.; SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; NEGREIROS, J. R. S.; BRUCKNER, C. H. Ácido giberélico no crescimento inicial de mudas de pessegueiro. Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1035-1039, 2008.

# CAPÍTULO 12

## ANÁLISE DE TRILHA EM CARACTERES AGROMORFOLÓGICOS DE GENÓTIPOS DE AMENDOINZEIRO DO GRUPO BOTÂNICO VALÊNCIA

### **João Albany Costa**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: albany@ufrb.edu.br

### **Clovis Pereira Peixoto**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: cppeixot@ufrb.edu.br

### **Ademir Trindade Almeida**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ademirtrindade777@gmail.com

### **Jamile Maria da Silva dos Santos**

Doutora em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: jmariasantos7@gmail.com

### **Ellen Rayssa Oliveira**

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: ellen.rayoli@gmail.com

### **Joeferson da Silva Santos**

Graduando em Agronomia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: joefersonsnts@gmail.com

### **Elvis Lima Vieira**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: elvieira@ufrb.edu.br

### **Valfredo da Silva Pereira**

Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade de São Paulo  
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Endereço: Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas - BA, Brasil  
E-mail: valfredopereira@ufrb.edu.br

**RESUMO:** A identificação de caracteres que auxiliam na seleção indireta para produtividade torna-se necessária nas etapas iniciais de um programa de melhoramento de amendoim. Principalmente, quando for possível selecionar outra característica, de fácil medição e alta herdabilidade, que apresenta alta correlação com o caráter desejado visando a obtenção de cultivares mais produtivos. Objetivou-se decompor as correlações genóticas por meio de efeitos diretos e indiretos das características morfológicas e agrônomicas sobre a produtividade de sementes de genótipos de amendoimzeiro. Foram avaliados 60 genótipos do grupo 'Valência' no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. A hierarquia e a natureza das associações dos caracteres corroboraram para a submissão da análise de trilha em cadeia dupla, sendo a primeira cadeia constituída pelo número de vagem por planta, número de semente por vagem e peso de cem sementes, a segunda composta por altura da planta, número de haste, comprimento e diâmetro da vagem sobre o rendimento total de sementes. O coeficiente de determinação obtido estimou que 94,74 % das variações registradas nos rendimentos de sementes são explicadas pelas variáveis primárias. Os componentes secundários não apresentaram equivalência e simultaneidade sobre os primários, uma vez que a altura da planta e o número de haste registraram associação positiva com o número de vagem por planta, ortogonalmente, com mesmo sinal de associação o diâmetro e o comprimento da vagem se relacionaram com o peso de cem sementes. Plantas mais altas e com mais hastes sustentam maior quantidade de vagens, sugerindo critério simultâneo para seleção indireta de genótipos mais promissores de rendimento de sementes. Esta decisão pode ser considerada muito relevante uma vez que ambas variáveis são não destrutivas e podem ser avaliadas facilmente antes da colheita.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Arachis hypogaea* L.; Análise em cadeias; Correlação genotípica; Associação de caracteres.

**ABSTRACT:** The identification of characters that assist in the indirect selection for productivity becomes necessary in the initial stages of a peanut breeding program. Especially, when it is possible to select another characteristic, easy to measure and high heritability, which has a high correlation with the desired character in order to obtain more productive cultivars. The objective was to decompose the genotype correlations by means of direct and indirect effects of the morphological and agronomic characteristics of the total yield of seeds of peanut genotypes of the Valencia-type. Sixty genotypes were evaluated in a randomized complete block design with four replicates, consisting of individual lines of 4.0 m in length, spaced 0.50 m between rows and 0.10 m between plants. The data of the variables were submitted to track analysis where the first chain was constituted by the number of pod per plant, number of seed per pod and weight of one hundred seeds, while the second chain was established by plant height, stem number, length of the pod and pod diameter on total seed yield, considered as the main variable. The determination coefficient, it was attributed that 94.74 % of the variations recorded in the secondary components did not act in an equivalent and simultaneous way on all the primary ones, since the height of the plant and the number of stem had positive association with the number of pod per plant orthogonally, but with the same sign of association the diameter and the length of the pod was related to the weight of one hundred seeds. In this context, it was expected that



higher and more dense plants can be used simultaneously in the indirect selection of genotypes promising. This decision can be considered very relevant since both the height and the number of stems are non-destructive variables and can easily be evaluated before harvesting.

**KEYWORDS:** *Arachis hypogaea* L.; Chain analysis; Genotypic correlation; Character association.

## 1. INTRODUÇÃO

O amendoineiro (*Arachis hypogaea* L.) é uma espécie pertencente à família Fabaceae e uma das oleaginosas mais cultivadas no mundo. Possui diferentes usos que variam desde a alimentação humana e animal até a produção de óleos para indústria farmacêutica e de biodiesel (RODRIGUES *et al.*, 2016).

A produção mundial de amendoim em vagem para 2020/21 é estimada em 47,32 milhões de toneladas, com produtividade de 1690 kg ha<sup>-1</sup> (USDA, 2021). O Brasil ocupa a 11<sup>a</sup> posição no ranking de produção mundial de amendoim, sendo o estado de São Paulo o maior produtor nacional. No Sudeste, estima-se uma produção em torno de 541,7 mil toneladas, com produtividade de grão de 3.536 kg ha<sup>-1</sup> para a safra 2020/21. A Bahia, na mesma safra, produziu 1,4 mil toneladas de grãos, representando 0,24 % da produção nacional, com produtividade de 936 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

O melhoramento do amendoineiro no país, principalmente para o Nordeste, tem como objetivo obtenção de cultivares de maior estabilidade produtiva, mais precoce, resistente a pragas e doenças e com adaptação ambiental (SANTOS, 2014).

A produtividade de grãos sofre influência, em tese, de todos os demais caracteres da planta, visto que a maioria dos genes da planta contribui para a expressão da produtividade.

Em estudos genéticos de espécies vegetais é indispensável a quantificação e distinção do grau de associação ambiental e genética entre os caracteres avaliados. Então, a natureza desta correlação pode apresentar coeficientes altos ou baixos sobre efeito de um terceiro caractere ou de um grupo deles, causando equívocos na estratégia de seleção, sendo de interesse o estudo da associação entre os caracteres.

A análise de trilha tem por finalidade o estudo das relações de causa e efeito de caracteres considerados como variáveis explicativas, envolvidos na expressão de um caractere dependente de maior relevância, por meio do desdobramento dos coeficientes de correlação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Ademais, possibilita o processo de seleção no melhoramento vegetal que visa à melhoria de um caractere principal de maior interesse e o aprimoramento ou manutenção da expressão de outros caracteres.

A técnica de análise de trilha tem sido utilizada com sucesso na seleção indireta para o melhoramento vegetal de diversas culturas da família do amendoineiro, assim

como o feijão *Phaseolus* (OLIVEIRA *et al.*, 2017), feijão-caupi (BERTINI *et al.*, 2010), feijão-bravo (SILVA *et al.*, 2009) e a soja (ZUFFO *et al.*, 2018).

A identificação de caracteres que auxiliam na seleção indireta para produtividade torna-se necessária nas etapas iniciais de um programa de melhoramento de amendoim. Principalmente, quando for possível selecionar outra característica, de fácil medição e alta herdabilidade, que apresenta alta correlação com o caráter desejado visando a obtenção de cultivares mais produtivos.

Dessa forma, objetivou-se decompor as correlações genóticas para identificar a natureza e o grau da associação entre as características morfológicas e de produtividades por meio de análise de trilha, visando selecionar genótipos com características mais promissoras em rendimento de grãos de amendoim no Recôncavo da Bahia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos foram avaliados na área Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), na cidade de Cruz das Almas, com coordenadas geográficas de 12°40'12" longitude oeste e 39°06'07" latitude sul, com altitude de 226 metros. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é caracterizado como quente e úmido Am e Aw, precipitação pluviométrica média anual de 1.200 mm, temperatura média anual de 24°C e umidade relativa do ar de 80 % (MENDONÇA *et al.*, 2020). O solo da área experimental apresenta relevo plano, profundo, sendo classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, de textura média, bem drenado (SANTOS, 2013).

Foram utilizados 60 genótipos de amendoim do grupo vegetativo Valência de película vermelha, doados por agricultores durante um levantamento etno-botânico em sete municípios representativos quanto à produção de grãos na Região do Recôncavo da Bahia. A avaliação dos genótipos foi em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de linhas individuais de 4,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m entrelinhas e 0,10 m entre plantas.

Foram avaliadas as seguintes características: altura da planta (AP), medida do colo da planta ao seu ápice, com auxílio de uma régua graduada; número de folhas

(NF), por meio de contagem direta de folhas expandidas e fotossinteticamente ativas; número de hastes (NH), por meio de contagem direta das hastes existentes; comprimento da vagem (CV), com auxílio de uma régua graduada; diâmetro da vagem (DV), com auxílio de um paquímetro; número de vagem por planta (NVPL), pela contagem direta; número de sementes por vagem (NSV), pela contagem do número total de sementes dividido pelo número de vagens; peso de cem sementes (PCS) e rendimento de sementes (RS).

Os dados foram submetidos à análise do gráfico de dispersão por box plot, verificou-se, então, que não houve observação discrepante a ponto de comprometer ao prosseguimento das análises das variáveis. Posteriormente foi verificado a normalidade das variáveis por meio do teste de Shapiro-Wilks ( $p > 0,05$ ). De posse dessas informações foram estimados os coeficientes de correlação linear de Pearson, sendo verificada a significância dos coeficientes por meio do teste t de student, a 5 % de probabilidade. Em seguida foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade conforme o critério de Montgomery; Peck; Vining (2006) e, aplicação da análise de trilha de coeficiente de correlação genotípica.

Inicialmente, realizou-se a análise de trilha considerando um único diagrama causal, a variável principal (RS) em função de três componentes primários (NVPL, NSV e PCS). Posteriormente, realizou-se a análise de trilha considerando dois diagramas causais, a variável principal (RS) em função dos componentes primários (NVPL, NSV e PCS) e estas em função de componentes secundários (AP, NH, CV e DV). As variáveis NVPL, NSV e PCS foram transformadas para a escala logarítmica, devido à existência de interrelação entre elas, uma vez que seus efeitos são multiplicativos sobre o rendimento total de sementes.

A análise estatística foi processada por meio de rotinas desenvolvidas por autores no Software livre R (R CORE, 2016) e por aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2013).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A maioria das associações entre as características apresentou correlações positivas e significativas, evidenciando na Tabela 1 a correlação da AP e NH (0,96\*\*) de maior magnitude, seguida da correlação alta, entre DV e PCS (0,85\*\*).

As correlações do RS com os componentes de produtividades foram média e

positiva com NVPL (0,54\*\*), baixas e positivas para o NSV (0,27\*\*), ambas significativas, e não significativa com o PCS (-0,02).

O rendimento de sementes registrou correlação alta, positiva e significativa com a AP (0,76\*\*) e NH (0,72\*\*). Também correlações positivas e significativas foram observadas entre as variáveis NH e NVPL (0,87\*\*) e moderada entre AP e NVPL (0,57\*\*).

Ressalta-se que o NVPL apresentou correlações significativas e inversas de média magnitude com NSV (-0,54\*\*), PCS (-0,52\*\*) e DV (-0,54\*\*).

**Tabela 1** – Estimativa e significâncias dos coeficientes de correlação genotípica entre características agromorfológicas de genótipos de amendoineiro. Cruz das Almas – BA. 2021.

Variáveis	RS	NVPL	NSV	PCS	AP	NH	CV
NVPL	0,54**						
NSV	0,27**	-0,54**					
PCS	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,52**	0,04 <sup>ns</sup>				
AP	0,76**	0,57**	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>			
NH	0,72**	0,87**	-0,32**	-0,58**	0,96**		
CV	0,13**	-0,29**	0,28**	0,45**	0,39**	0,05 <sup>ns</sup>	
DV	-0,14*	-0,54**	0,12 <sup>ns</sup>	0,85**	-0,26**	-0,36**	0,57**

RS=rendimento de semente; NVPL= número de vagem por planta; NSV= número de sementes por vagem; PCS= peso de cem sementes; AP=altura da planta; NH= número de hastes; CV= comprimento da vagem; NF= número de folhas; DV= diâmetro da vagem; \* = significativo ( $p \geq 0,05$ ); \*\* = significativo ( $p \geq 0,01$ ); ns=não significativo ( $p > 0,05$ )

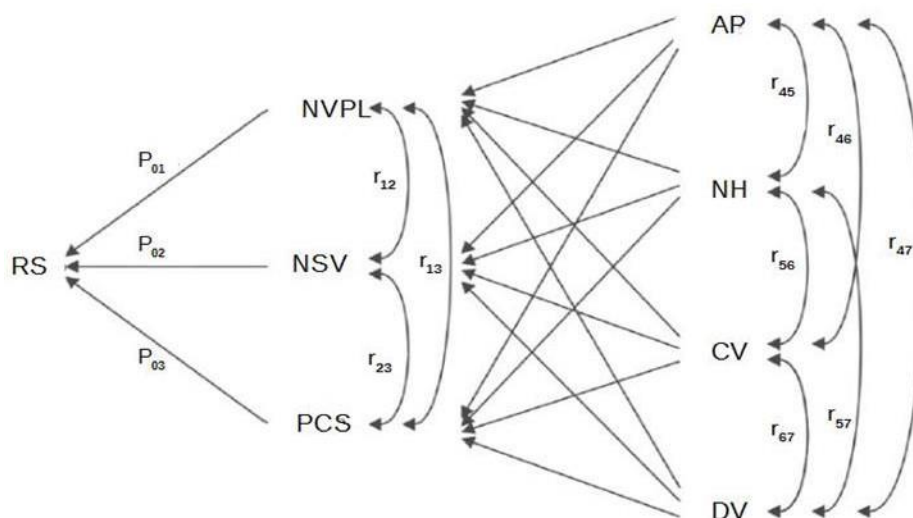
O diagnóstico de multicolinearidade entre as variáveis tidas como independentes (NVPL, NSV, PCS, AP, NH, DC e CL) registrou índice de condição NC=36,48, indicando matriz é considerada de colinearidade fraca, não acarretando sérios problemas para a análise de trilha, de acordo Montgomery; Peck; Vining (2006).

A hierarquia e a natureza das associações dos caracteres corroboraram para a submissão da análise de trilha em cadeia dupla formada por componentes morfológicos e de produtividades sobre o rendimento de sementes, considerado variável principal conforme diagrama da Figura 1. A seta unidirecional nesta figura indica efeito direto da variável, enquanto a seta bidirecional representa a interdependência de duas variáveis explicativas cujas magnitudes são estabelecidas por relações entre as características.

O desdobramento das correlações genotípicas apresentou estimativas expressivas dos efeitos diretos e positivos do NVPL e NSV sobre RS dos genótipos (Tabela 2). O NVPL teve contribuição direta sobre o RS (1,4414) superando os efeitos indiretos negativos via NSV (-0,5637) e PCS (-0,3324) resultando portanto, em

estimativa positiva de moderada magnitude do coeficiente de correlação dessa variável sobre o RS (0,5453).

**Figura 1** – Dinâmica do diagrama causal em duas cadeias dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias: altura da planta (AP), número de hastes (NH), comprimento da vagem (CV) e diâmetro da vagem (DV), vias variáveis primárias: número de vagem por planta (NVPL), número de sementes por vagem (NSV) e peso de cem sementes (PCS) sobre o rendimento de sementes de amendoazeiro (RS).



O NSV apresentou um coeficiente de correlação baixo e positivo (0,2799) que resultou do efeito direto e de sinal positivo sobre RS (1,0349) sendo este, fracionado pelos efeitos indiretos via NVPL (-0,7852) e positivo porém sem expressão via PCS (0,0302).

O efeito direto e positivo do PCS sobre o RS (0,6309) foi superado por efeitos indiretos negativo via NVPL (-0,7595) e positivo via NSV (0,0495), determinando coeficiente de correlação pouco expressivo (-0,0791). Admite-se por tanto que o efeito deste descritor (PCS) sobre o RS seja oriundo via caminamento do NVPL, visualizado na Tabela 2.

Resultados semelhantes foram obtidos por Santos; Carvalho; Santos (2000) que utilizando análise de trilha em 20 genótipos do mesmo grupo Valência, obtiveram efeito relevante para NVPL e também efeito desprezível do PCS sobre o RS, sugerindo então que o melhorista interessado em elevar a produção de semente deveria aumentar a pressão de seleção sobre o NVPL e manter sob controle as demais características.

**Tabela 2** – Decomposição dos coeficientes de correlações genóticas por meio de efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias sobre o rendimento de sementes dos genótipos de amendoineiro. Cruz das Almas –BA. 2021.

Variáveis primárias	Vias de associação	Coefficiente de caminhamento
	Efeito Direto sobre RS	1,4414
NVPL	Efeito Indireto via NSV	-0,5637
	Efeito Indireto via PCS	-0,3324
	Total	0,5453
	Efeito Direto sobre RS	1,0349
NSV	Efeito Indireto via NVPL	-0,7852
	Efeito Indireto via PCS	0,0302
	Total	0,2799
	Efeito Direto sobre RS	0,6309
PCS	Efeito Indireto via NVPL	-0,7595
	Efeito Indireto via NSV	0,0495
	Total	-0,0791
Coeficiente de determinação R <sup>2</sup>		0,9474
Efeito residual		0,2294

RS=rendimento de sementes; NVPL=número de vagem por planta; NSV=número de sementes por vagem; PCS=peso de cem sementes; AP=altura da planta; NH=número de hastes; CV=comprimento da vagem e DV=diâmetro da vagem.

Houve concordância, em parte com Gomes; Lopes (2005) e Luz *et al.* (2017) que, usando da mesma técnica em genótipos de amendoim, concluíram que o RS foi positivamente influenciado pelo NVPL e PCS e negativamente pelo NSV. Nessa assertiva, vários outros autores utilizando também a técnica de análise de trilha sobre genótipos de feijão caupi (ALMEIDA *et al.*, 2014; FREITAS *et al.*, 2016), bem como análise de comportamento de genótipos de feijão *Phaseolus* (CABRAL *et al.*, 2011); e ainda análise de genótipos de soja (ZUFFO *et al.*, 2018), foram unânimes em concluir que o maior efeito direto dos descritores sobre o rendimento de sementes foi proporcionado pelo NVPL.

É oportuno salientar que os coeficientes de trilha 206 dos efeitos indiretos e negativos do NVPL via NSV e vice-versa, representam um processo de comportamento inverso entre estes caracteres o que explica a correlação negativa (-0,5447) entre estas duas variáveis. Para situações dessa natureza, o melhorista deve ficar atento para o sentido da seleção, de modo a evitar que a escolha de um desfaça a manutenção do outro na população e com isto reduza as perspectivas de sucesso no programa (SANTOS, 2000).

Nesse contexto, admitindo que o descritor de maior relevância é o RS, estes resultados anulam a possibilidade de utilizar o NVPL e NSV simultaneamente como critério de indicação para uma forte pressão de plantas desses genótipos que

possibilitasse maior NVPL e estas com maior NSV. Convém ressaltar que este resultado desagradou o agricultor/consumidor do Recôncavo da Bahia que tem interesse dentre as características desejáveis, de genótipos promissores em NVPL e que estas comportem o maior NSV e assim garantir sucesso pleno na comercialização do produto, que prioritariamente será consumido *in natura*, na forma de vagens cozidas.

O coeficiente de determinação presente na Tabela 2 indica que 94,74% das variações registradas no RS são explicadas por estas três variáveis primárias, sendo a maior contribuição atribuída ao NVPL seguida do NSV dos genótipos.

A decomposição dos coeficientes de trilha apresentada na Tabela 3 registra os efeitos das variáveis secundárias sobre o RS. Embora a influência de NH tenha sido anulada, em parte, por efeito indiretos e negativo oriundo da AP (-0,8106) e outros efeitos indiretos, de pouca importância, das vias de associações de CV e DV, denota-se um grau decorrelação alto de NH sobre RS (0,7204).

Paralelamente, o efeito direto da AP sobre o RS de sinal negativo (-0,8441), foi superado por efeito indiretos positivo via NH (1,4147) e complementado por efeitos indiretos, também de sinal positivo, por vias do CV e do DV, o que determinou, por conseguinte também um alto grau de correlação positiva entre estas variáveis (0,7654).

Os somatórios dos efeitos diretos e indiretos da AP e do NH determinaram individualmente, altas correlações significativas e positivas com o RS. Todavia no particular, as decomposições revelam mais coerência e expressividade de NH por apresentar maior efeito direto e positivo sobre o RS (1,4734) do que AP. Este fato, pouco comum, também foi relatado em trabalhos de Pal *et al.* (2004), que atribuem a mudança no sentido da direção do efeito como sendo de natureza varietal da população, uma vez que entre diferentes genótipos, não existe tendência de que os efeitos diretos devam ser sempre semelhantes.

Neste contexto, considerando que os efeitos indiretos de AP via NH e de NH via AP foram altos e recíprocos sobre RS e superaram o efeito residual; os altos graus conferidos pelos coeficientes das correlações tanto da AP quanto do NH, independente, com o RS e o alto grau de correlação entre AP e NH (0,96), pode-se admitir que estes descritores explicam boa parte da variabilidade do RS dos genótipos, sugerindo portanto, resultados positivos na seleção simultânea de caracteres cujos efeitos indiretos sejam expressivos e significativos.



Resultados semelhantes foram obtidos por Cabral *et al.* (2011), que ao analisarem a relação da altura da planta com os componentes primários de produção, verificaram sentido positivo e magnitude significativa com o RS.

A análise individual dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre RS mostra-se relevante e eficiente, ainda que o coeficiente de determinação (0,4876) não confira grande representatividade na explicação destas características sobre a variável básica denotada na Tabela 3.

Em tempo, é importante considerar que esse resultado é do interesse e satisfaz o agricultor do Recôncavo da Bahia que é plantar genótipo de estatura maior, visando sobretudo, facilidade e dinamismo na operação da colheita por ser manual.

A Tabela 4, que descreve os desmembramentos dos coeficientes de trilha dos caracteres secundários sobre os primários, evidencia que AP foi a única variável que determinou efeito direto e positivo de grande relevância sobre o NVPL, reafirmando no geral que os genótipos de maior AP tenham reciprocidade com NVPL (0,5762).

**Tabela 3** – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre o rendimento de sementes (RS) de genótipos de amendoimzeiro. Cruz das Almas – BA. 2021.

Variáveis secundárias	Vias de associação	Coefficiente de caminhamento
AP	Efeito Direto sobre RS	-0,8441
	Efeito Indireto via NH	1,4147
	Efeito Indireto via CV	0,1706
	Efeito Indireto via DV	0,0242
	Total	0,7654
NH	Efeito Direto sobre RS	1,4734
	Efeito Indireto via AP	-0,8106
	Efeito Indireto via CV	0,0252
	Efeito Indireto via DV	0,0328
	Total	0,7204
CV	Efeito Direto sobre RS	0,4342
	Efeito Indireto via NVPL	-0,3317
	Efeito Indireto via NH	0,0854
	Efeito Indireto via DV	-0,0523
	Total	0,1357
DV	Efeito Direto sobre RS	-0,0911
	Efeito Indireto via AP	0,2237
	Efeito Indireto via NH	-0,5307
	Efeito Indireto via CV	0,2490
	Total	-0,1492
Coefficiente de determinação R <sup>2</sup> Efeito residual		0,4876
		0,7158

RS=rendimento de sementes; NVPL=número de vagem por planta; NSV=número de sementes por vagem; PCS=peso de cem sementes; AP=altura da planta; NH=número de hastes; CV=comprimento da vagem e DV=diâmetro da vagem.

O efeito direto do NH sobre NVPL foi negativo sendo compensado pelo efeito indireto positivo via AP e demais vias do CV e DV, resultando em um alto grau de associação entre estas variáveis (0,8747). Interpreta-se então, que a correlação entre estas variáveis seja determinada por efeito indireto da AP.

O grau de correlação entre DV e NVPL foi de magnitude média e negativa (-0,5471), observando-se que este pode ter tido origem da via de associação da AP e não do efeito direto que este descritor determinou sobre o NVPL que foi de sinal positivo (0,5016).

**Tabela 4** – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das características secundárias sobre as características primárias de 60 genótipos de amendoineiro. Cruz das Almas – BA. 2021.

Variáveis secundárias	Vias de associação	Variáveis Primárias		
		NVPL	NSV	PCS
	Efeito Direto	2,3635	-1,8564	-7,089
	Efeito Indireto via NH	-1,0857	1,0586	5,459
AP	Efeito Indireto via CV	-0,5686	0,5464	1,3573
	Efeito Indireto via DV	-0,1329	0,204	0,2521
	Total	0,5762	-0,0473	-0,0206
	Efeito Direto	-1,1305	1,1023	5,6841
	Efeito Indireto via AP	2,2699	-1,7829	-6,8083
NH	Efeito Indireto via CV	-0,0839	0,0806	0,2003
	Efeito Indireto via DV	-0,1807	0,2774	0,3428
	Total	0,8747	-0,3225	-0,581
	Efeito Direto	-1,4469	1,3904	3,4538
	Efeito Indireto via AP	0,9289	-0,7296	-2,786
CV	Efeito Indireto via NH	-0,0656	0,0639	0,3297
	Efeito Indireto via DV	0,2877	-0,4415	-0,5457
	Total	-0,296	0,2833	0,4520
	Efeito Direto	0,5016	-0,7699	-0,9515
	Efeito Indireto via AP	-0,6263	0,4919	1,8786
DV	Efeito Indireto via NH	0,4073	-0,3972	-2,048
	Efeito Indireto via CV	-0,8298	0,7974	1,9807
	Total	-0,5471	0,1222	0,8597
Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> ) Efeito residual		0,5268	0,0321	0,9410
		0,6879	0,9838	0,8715

RS=rendimento de sementes; NVPL=número de vagem por planta; NSV=número de sementes por vagem; PCS=peso de cem sementes; AP=altura da planta; NH=número de hastes; CV=comprimento da vagem e DV=diâmetro da vagem.

Uma vez que o DV teve efeito substantivo via AP e NH no PCS dos genótipos estudados então seria mais sensato eleger a AP, que apresentou associação com NVPL, como condição mais favorável à seleção indireta, considerando que os efeitos das associações entre essas variáveis sugerem que plantas mais altas estão

relacionadas a um maior número de vagens, desde que estas sejam mais espessas para conter grãos mais pesados.

A decomposição dos coeficientes de trilha dos caracteres secundários via primários sobre o RS estão apresentadas na Tabela 5. Entre os componentes secundários houve destaque para AP com efeito direto ou indireto via NH ou via CV, sendo todos de sinal positivo passando pelo NVPL confirmando a superioridade desse componente na contribuição do RS.

Os efeitos direto e positivo de CV vias NSV e PCS traduzem, do ponto de vista físico estrutural, uma relação estreita entre estas características, considerando que um maior número de sementes necessite, para se alojar, de vagem mais comprida. Em complemento, observou-se que o DV tem principalmente relação direta com PCS, deduzindo-se em princípio que um maior diâmetro da vagem comporte semente mais pesadas, embora neste trabalho, este efeito esteja atribuído vias AP e CV, que passando por PCS, contribuíram positivamente no rendimento de sementes.

**Tabela 5** – Dinâmica da decomposição dos coeficientes de correlações genotípicas em efeitos diretos e indiretos das características secundárias via primárias sobre o rendimento de sementes de amendoim de 60 genótipos. Cruz das Almas – BA. 2021.

Variáveis secundárias	Vias de associação	Variáveis primárias			Efeito residual	Total
		NVPL	NSV	PCS		
AP	Efeito Direto	3,4068	-1,9212	-4,4726	2,1429	-0,8441
	Efeito Indireto via NH	-1,565	1,0956	3,4442	-1,5601	1,4147
	Efeito Indireto via CV	-0,8197	0,5655	0,8564	-0,4316	0,1706
	Efeito Indireto via DV	-0,1916	0,2111	0,1591	-0,1545	0,0242
	Total	0,8306	-0,049	-0,013	-0,0032	0,7654
NH	Efeito Direto	-1,6295	1,1407	3,5862	-1,6244	1,4730
	Efeito Indireto via AP	3,2719	-1,8451	-4,2955	2,0581	-0,8106
	Efeito Indireto via CV	-0,121	0,0835	0,1264	-0,0637	0,0252
	Efeito Indireto via DV	-0,2605	0,2871	0,2163	-0,21	0,0328
	Total	1,2608	-0,3338	-0,3666	0,1599	0,7204
CV	Efeito Direto	-2,0856	1,4389	2,1791	-1,0981	0,4342
	Efeito Indireto via AP	1,3389	-0,755	-1,7577	0,8422	-0,3317
	Efeito Indireto via NH	-0,0945	0,0662	0,208	0,0942	0,0854
	Efeito Indireto via DV	0,4147	-0,457	-0,3443	0,3343	-0,0523
	Total	-0,4267	0,2932	0,2852	-0,016	0,1357
DV	Efeito Direto	0,7231	-0,7968	-0,6003	0,5829	-0,0911
	Efeito Indireto via AP	-0,9028	0,5091	1,1853	-0,5679	0,2237

	Efeito Indireto via NH	0,5871	-0,411	-1,2921	0,5853	-0,5307
	Efeito Indireto via CV	-1,1961	0,8252	1,2497	-0,6298	0,249
	Total	-0,7886	0,1265	0,5424	-0,0295	-0,1492

RS=rendimento de sementes; NVPL=número de vagem por planta; NSV=número de sementes por vagem; PCS=peso de cem sementes; AP=altura da planta; NH=número de hastes; CV=comprimento da vagem e DV=diâmetro da vagem.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise de coeficiente de trilha evidencia que o número de vagem por planta e a altura da planta são as características mais importantes sobre o rendimento total desementes dos genótipos de amendoim avaliados.

Têm-se grande expectativa na indicação do NVPL e a AP de modo simultâneo, para uma forte pressão com vista a obter plantas com maior quantidade de vagens, ainda que estas não sejam as de maior número de sementes e nem estas mais pesadas, porém oriundas de populações segregantes de genótipos mais promissores quanto ao RS desta leguminosa.

A aplicação de análise de trilha com duas cadeias é eficiente na discriminação de componentes primários e secundários na variabilidade dos rendimentos de sementes dos genótipos de amendoim estudados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W.S.; FERNANDES, F.R.B.; TEÓFILO, E.M.; BERTINI, C.H.C.M. Correlation and path analysis in components of grain yield of cowpea genotypes. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, n.4, p.726-736, 2014.
- BERTINI, C.H.C.M.; ALMEIDA, W.S.; SILVA, A.P.M.; LIMA E SILVA, J.W.; TEÓFILO, E.M. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.4, p.613-619, 2010.
- CABRAL, P.D.S.; SOARES, T.C.B.; LIMA, A.B.P.; SOARES, Y.J.B.; SILVA, J.A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p. 32-138, 2011.
- CONAB. **Quinto levantamento de acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/21**, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 15 de fev. de 2021.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. Ed. Viçosa: UFV, 2012, 514p.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35 n.3, p.271-276, 2013.
- FREITAS, T. G. G.; LIMA E SILVA, P.S.; DOVALE, J.C.; SILVA, E.M. Green bean yield and path analysis in cowpea landraces. **Revista Caatinga**, v.29, n.4, p.866-877, 2016.
- GOMES, R.L.F.; LOPES, A.C.A. Correlations and path analysis in peanut. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5 n.1, p.105-112, 2005.
- LUZ, L.N.; BERNARDO, A.K.; GADELHA, M.T.; OLIVEIRA, M.L.; RAULINO, J.A.M.; SILVA, C.E.D. Correlação e análise de trilha em acessos de amendoim. **Revista Recursos Genéticos News**, v.3 n.2, p.181, 2017.
- MENDONÇA, A. V. R.; SANTOS, J. P. A.; VERDE, D. dos S. V.; SOUZA, M. O. de.; SOUZA, J. S. Production of seedlings of *Psidium cauliflorum* Landrum & Sobrall. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 433 – 445, 2020.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 2006. 640 p.
- NAKAGAWA, J.; ROSOLÉM, C. A. **O amendoim: tecnologia de produção**. Bauru: Fepaf, 2011.
- OLIVEIRA, M. L.; RAULINO, J. A. M.; SILVA, C. E. D. Correlação e análise de trilha em 347 acessos de amendoim. **Revista Recursos Genéticos News**, v.3 n.2, p.181, 2017.

PAL, A.K.; SINGH, B.; MAURYA, A.N.; KUMAR, S. Correlation and path analysis in cowpea (*Vigna unguiculata* (L). Walp.). **South Indian Horticulture**. v.52, n.1, p.82-88, 2004. R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for 354 Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RODRIGUES, L.G.S.M.; RODRIGUES, F.M.; OLIVEIRA, E.M.; VIERA, V.B.; ARÉVALO, A.M.; VIROLI, S.L.M. Amendoim (*Arachis sp.*) como fonte na matriz energética brasileira. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v.3, n.3, p.178-190, 2016.

SANTOS, R.C.; CARVALHO, L.P.; SANTOS, V.F. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.1, p.13- 16, 2000.

SANTOS, H.G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SANTOS, R.C. **Utilização de recursos genéticos e melhoramento de *Arachis hypogaea* L. No Nordeste Brasileiro**. (2014). Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/amendoim.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2019.

SILVA, M.A.; SILVA, D.S.; ANDRADE, L.A.; LOPES, W.B.; SANTOS, G.R.A. Análise de trilha para caracteres morfológicos do feijão-bravo (*Capparis flexuosa*) no cariri paraibano. **Archivos de Zootecnia**, v.58, n.221, p.121-124, 2009.

USDA, 2021. **United States Department of Agriculture**. Peanut area, yield and production. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/reportHandler.ashx?fileName=BVS&reportId=918&templateId=1&format=html>>. Acesso em: 15 de fev. de 2021.

ZUFFO, A.M.; RIBEIRO, A.B.M.; BRUZI, A.T.; ZAMBIAZZI, E.V.; FONSECA, W.L. Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.1, p.78-90, 2018.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Edilson Antonio Catapan:** Doutor e Mestre em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2005 e 2001), Especialista em Gestão de Concessionárias de Energia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR (1997), Especialista em Engenharia Econômica pela Faculdade de Administração e Economia - FAE (1987) e Graduado em Administração pela Universidade Positivo (1984). Foi Executivo de Finanças por 33 anos (1980 a 2013) da Companhia Paranaense de Energia - COPEL/PR. Atuou como Coordenador do Curso de Administração da Faculdade da Indústria da Federação das Indústrias do Paraná - FIEP e Coordenador de Cursos de Pós-Graduação da FIEP. Foi Professor da UTFPR (CEFET/PR) de 1986 a 1998 e da PUCPR entre 1999 a 2008. Membro do Conselho Editorial da Revista Espaço e Energia, avaliador de Artigos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP e do Congresso Nacional de Excelência em Gestão - CNEG. Também atua como Editor Chefe das seguintes Revistas Acadêmicas: Brazilian Journal of Development, Brazilian Applied Science Review e Brazilian Journal of Health Review.

Agência Brasileira ISBN  
ISBN: 978-65-81028-13-8.