

Alan Mario Zuffo
org.

AVANÇOS
NAS CIÊNCIAS
FLORESTAIS

VOLUME II



2022

Alan Mario Zuffo
Organizador

Avanços nas Ciências Florestais
Volume II



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos

Profa. Msc. Adriana Flávia Neu

Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior

Profa. Msc. Aris Verdecia Peña

Profa. Arisleidis Chapman Verdecia

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva

Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo

Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu

Prof. Dr. Carlos Nick

Prof. Dr. Claudio Silveira Maia

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva

Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos

Prof. Msc. David Chacon Alvarez

Prof. Dr. Denis Silva Nogueira

Profa. Dra. Denise Silva Nogueira

Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão

Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves

Prof. Me. Ernane Rosa Martins

Prof. Dr. Fábio Steiner

Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza

Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez

Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles

Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira

Prof. Msc. Javier Revilla Armesto

Prof. Msc. João Camilo Sevilla

Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales

Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski

Prof. Msc. Lucas R. Oliveira

Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela

Prof. Dr. Leandro Argenteo-Martínez

Profa. Msc. Lidiane Jaqueline de Souza Costa Marchesan

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann

Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior

Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos

Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla

Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira

Profa. Msc. Núbia Flávia Oliveira Mendes

Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira

Profa. Dra. Patrícia Maurer

Profa. Msc. Queila Pahim da Silva

Prof. Dr. Rafael Chapman Auty

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Raphael Reis da Silva

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes

Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)

Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos

Msc. Tayronne de Almeida Rodrigues

Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca

Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira

Profa. Dra. Yilan Fung Boix

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB

Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã

UO (Cuba)

IF SUDESTE MG

Facultad de Medicina (Cuba)

ISCM (Cuba)

UFESSPA

UEA

UNEMAT

UFV

AJES

UFGD

UEMS

IFPA

UNICENTRO

IFMT

UFMG

URCA

ISEPAM-FAETEC

IFG

UEMS

UFF

(Colômbia)

UNAM (Peru)

IFRR

UCG (México)

Mun. Rio de Janeiro

UNMSM (Peru)

UFMT

Mun. de Chap. do Sul

IFPR

Tec-NM (México)

Consultório em Santa Maria

UFJF

UEG

FAQ

UNAM (Peru)

SEDUC/PA

IFB

IFPA

UNIPAMPA

IFB

UO (Cuba)

UFMS

UFPI

UFG

UEMA

IFB

UFPI

FURG

UO (Cuba)

UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A946 Avanços nas Ciências Florestais II [livro eletrônico] / Organizador Alan Mario Zuffo. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 81p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81460-33-4

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460334>

1. Florestas – Administração. 2. Ecologia florestal. I. Zuffo, Alan Mario.
CDD 634.9

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O avanço tecnológico é comum em todas as áreas de conhecimento, na área de Ciência Florestal não é diferente. As tecnologias florestais são fundamentais para o uso sustentável dos recursos naturais e na comercialização dos produtos florestais. A obra, vem a consolidar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano e na sustentabilidade dos recursos naturais.

O primeiro volume do e-book “Avanços nas Ciências Florestais II” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção e conservação dos recursos florestais. Nos capítulos são abordados os seguintes temas: produção de mudas de palmeira *Veitchia merrilli* em função do estágio de maturação do fruto; monitoramento remoto como ferramenta para detecção de incêndios florestais; variabilidade temporal e estimativa da temperatura do solo no interior de uma floresta ombrófila densa. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na Ciência Florestal. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Avanços nas Ciências Florestais II os agradecimentos do organizador e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este ebook possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para a áreas de Ciência Florestal. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

O organizador


Sumário


Apresentação	4
Capítulo 1.....	6
Produção de mudas de palmeira <i>Veitchia merrilli</i> em função do estágio de maturação do fruto	6
Capítulo 2	11
Monitoramento remoto como ferramenta para detecção de incêndios florestais	11
Capítulo 3	29
Variabilidade temporal e estimativa da temperatura do solo no interior de uma floresta ombrófila densa.....	29
Capítulo 4	42
Caracterización morfofisiológica de un bosque natural mixto en “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México.....	42
Capítulo 5	62
Caracterização Morfológica de Frutos, Sementes e Emergência de Plântulas de Guavira [<i>Campomanesia adamantium</i> (Cambess.) O. Berg. – Myrtaceae].....	62
Índice Remissivo.....	80
Sobre o organizador.....	81


Produção de mudas de palmeira *Veitchia merrilli* em função do estágio de maturação do fruto

Recebido em: 05/04/2022

Aceito em: 16/04/2022

 10.46420/9786581460334cap1

Alan Mario Zuffo^{1*} 

Augusto Matias de Oliveira² 

Jorge González Aguilera³ 

Fábio Steiner⁴ 

Leandris ArgenteL-Martínez⁵ 

Ofelda Peñuelas-Rubio⁵ 

INTRODUÇÃO

A palmeira *Veitchia merrilli*, pertencente à família Arecaceae, popularmente conhecida como palma de natal, palma de Manila, muito utilizada no paisagismo. É grande a busca por essa palmeira para ornamentar residências, empresas, e praças públicas (Balqis et al., 2016). O sucesso da germinação das sementes depende de vários fatores, entre eles: qualidade fisiológica, vigor, teor de umidade e viabilidade das sementes (Barroso et al., 2017). A produção de mudas de qualidade é importante para o estabelecimento das plantas em condições de campo.

Para obter sementes de alta qualidade fisiológica, é importante definir o momento ideal de colheita, que as vezes corresponde ao momento em que atinge a maturidade fisiológica (Silva et al., 2019). Assim, conhecer do processo de maturação fisiológica das sementes auxilia na identificação do período em que atingem sua melhor qualidade fisiológica, e o melhor momento de colheita dos frutos (Emmanouilidou et al., 2020; Arena et al., 2021; Ramos et al., 2021). Características físico-químicas como cor, tamanho e peso dos frutos, e teor de sólidos solúveis totais podem indicar o estágio de maturação dos frutos (Barroso et al., 2016; Arena et al., 2021).

Assim, a escolha do estágio de maturação do fruto da palmeira *Veitchia merrilli* pode culminar em mudas com maior qualidade. Estudos sobre o melhor momento de coleta dos frutos palmeira *Veitchia*

¹ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Balsas, Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK, UFVJM, Brasil.

³ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, Chapadão do Sul, MS, Brasil.

⁴ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. MS 306, km 6.4, CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Calle 600, Block 611, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, México. C. P. 85275.

* Autor correspondente: alan_zuffo@hotmail.com

merrilli para extração de suas sementes para produção de mudas são escassos. Portanto, objetivou-se com este estudo determinar o período de maturação ideal de coleta dos frutos para extração das sementes para produção de mudas.






MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

Os frutos foram colhidos em jardins na cidade de Nova Xavantina (14' 40" S; 52° 20' 45" W) e altitude de 271 m, leste do estado de Mato Grosso, Brasil. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação Köppen, com duas estações climáticas bem definidas uma seca que vai geralmente de maio a setembro, e uma chuvosa, de outubro a abril, com temperatura média anual de 24 °C e precipitação média de 1.500 mm (Silva et al., 2008).

Os frutos maduros foram colhidos nas copas de 10 árvores e no chão conforme o estágio de maturação (Tabela 1), em 28/11/2021. Após a colheita, os frutos malformados, predados e chochos, foram retirados e rapidamente lavados. Em seguida, parte dos frutos foram separados para realização dos atributos biométricos dos frutos e a outra parte a fim de determinar o efeito do estágio de maturação do fruto na produção de mudas da palmeira *Veitchia merrilli*.

Tabela 1. Caracterização visual da palmeira *Veitchia merrilli* em diferentes estádios de maturação.

Estágio	Coloração do epicarpo	Caracterização visual
1		Fruto verde - epicarpo totalmente verde
2		Transição verde - 40% verde, 40% amarelo e 20% vermelho
3		Transição amarela - 20% amarelo e 80% vermelho
4		Frutos vermelhos – epicarpo vermelho
5		Fruto senescente - o início da deiscência

Ensaio sobre o efeito da qualidade fisiológica de sementes de palmeira *Veitchia merrilli* de acordo com o estágio de maturação do fruto

O ensaio foi realizado em casa de vegetação, no período de novembro de 2021 a janeiro de 2022. As condições ambientais durante a condução do ensaio foram: temperatura média do ar de 25 °C (± 2 °C) e umidade relativa do ar de 80% (± 5 %).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (estádio de maturação – Tabela 1) e dez repetições, cada parcela foi composta por 20 sementes. Foi utilizado o substrato comercial Plantmax HT[®], cuja composição química apresentou as seguintes características: pH em CaCl₂ de 5,9; 0,58 % de C; 0,40 cmol_c kg⁻¹ de Al⁺³ + H; 680 mg kg⁻¹ de P; 2,90 cmol_c kg⁻¹ de K; 7,80 cmol_c kg⁻¹ de Ca; 7,50 cmol_c kg⁻¹ de Mg; 18,60 cmol_c kg⁻¹ de CTC. O substrato foi colocado em sacos plásticos perfurados com capacidade de 450 mL de substrato (12 cm x 8 cm x 6 cm). Cada saco plástico constituía uma repetição.

Aos 60 dias após a semeadura avaliou-se: altura de plantas (cm) - determinada da superfície do solo à inserção da última folha; comprimento radicular (cm) – denominado raiz pivotante; diâmetro do caule (cm) - medido na altura do colo da planta superfície do solo por meio de leituras em paquímetro digital (Clarke-150 mm), com grau de precisão de $\pm 0,01$ mm. Em seguida, as plantas foram separadas em parte aérea e sistema radicular, acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa de circulação forçada por 72 horas a 65 °C ($\pm 1,0$ °C), visando a determinação da massa seca de raízes e parte aérea, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g. A partir dessas avaliações determinou-se a massa seca total (MST) e calculou-se os índices morfológicos o índice de qualidade de Dickson (IQD), de acordo com a Equação 1, proposta por Dickson et al. (1960):

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{AP}{DC}\right) + \left(\frac{MSA}{MSR}\right)} \quad [\text{Eq. 1}]$$

onde, MST é a massa de matéria seca total (g); AP é a altura da parte aérea (cm); DC é o diâmetro do coleto (mm); MSA é a massa seca da parte aérea (g); e, MSR é a massa seca das raízes (g).

Os dados foram testados quanto à homocedasticidade das variâncias (teste de Levene; $p > 0,05$) e normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk; $p > 0,05$). A análise de correlação canônica (ACC) foi utilizada para estudar a inter-relação entre conjuntos (vetores) de variáveis independentes (estágio de maturação do fruto) e dependentes (características morfológicas). Essas análises foram realizadas no software Rbio versão 140 para Windows (Rbio Software, UFV, Viçosa, MG, BRA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de correlação canônica foi utilizada para verificar a contribuição de cada variável dependente medida nas plantas de cobertura como afetada pelos estágios de maturação (Figura 1) para

que as pontuações sejam representadas em um gráfico bidimensional, o percentual de variância retida deve ser superior a 80% (Mingoti, 2005). Neste estudo, as variâncias acumuladas nas duas primeiras variáveis canônicas foram de 98,6% (Figura 2), permitindo uma interpretação precisa. Um ângulo (entre vetores) menor que 90° indica uma correlação positiva entre as variáveis dependentes: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e índice de qualidade de dickson (IQD) conforme os frutos colhidos no estágio 2 (transição verde); e comprimento de raiz (CR) com frutos colhidos no estágio 4 (frutos vermelhos).

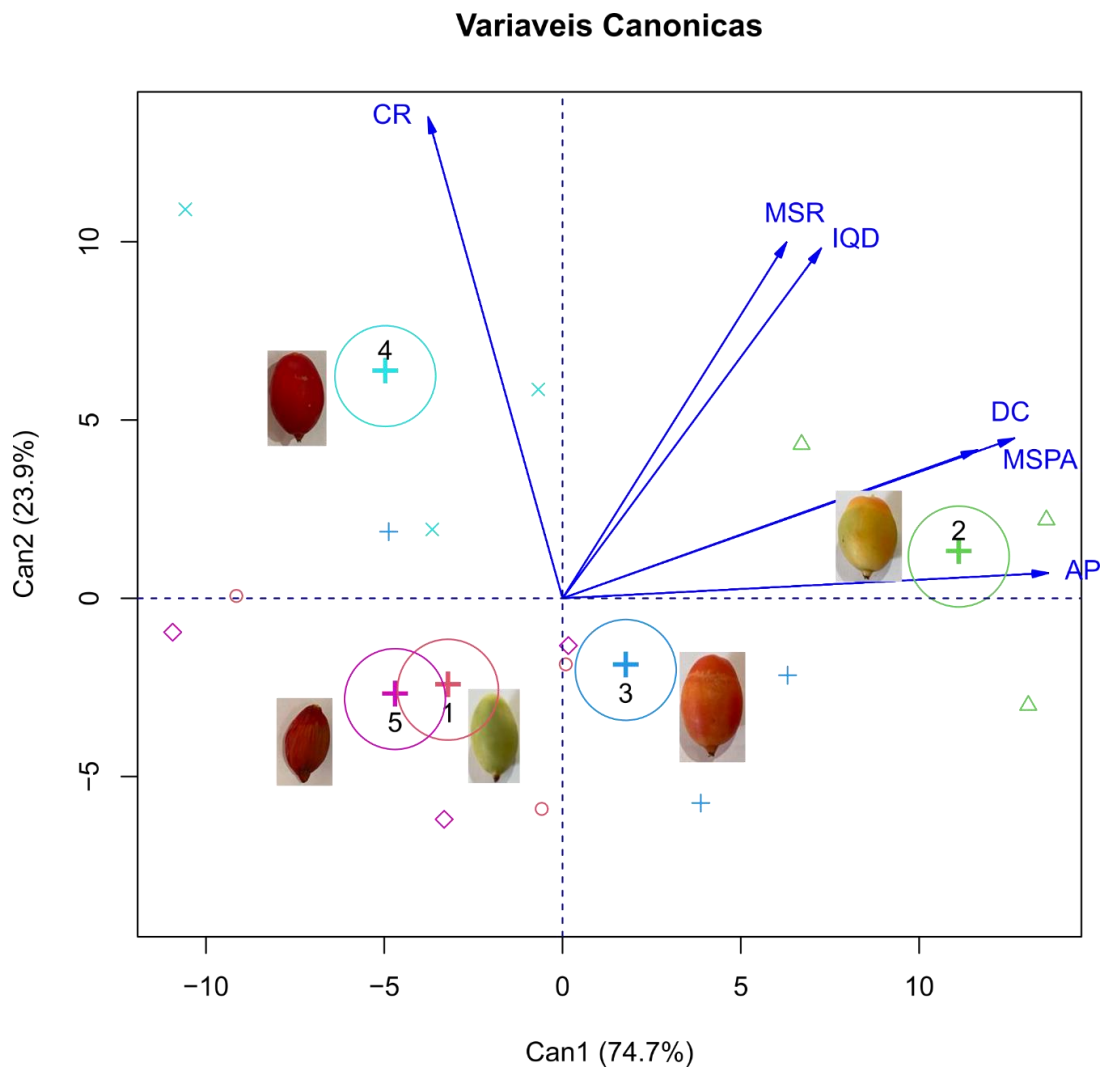


Figura 2. Análise de correlação canônica (ACC) entre as variáveis e suas variáveis canônicas na palmeira *Veitchia merrilli*. As linhas azuis mostram a correlação canônica entre os centróides do primeiro par de variáveis canônicas e a linha de tendência linear. Abreviaturas: AP: altura da planta, DC: diâmetro do caule, CR: comprimento da raiz, MSPA: matéria seca da parte aérea, MSR: matéria seca da raiz, IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Os frutos colhidos no estágio 2 (Transição verde - 40% verde, 40% amarelo e 20% vermelho) culminou em mudas da palmeira *Veitchia merrilli* com melhor qualidades fisiológicas conforme constatado nas variáveis: altura da planta, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz, Índice de Qualidade de Dickson. O índice de qualidade de Dickson (IQD) por envolver várias variáveis na sua determinação é considerado um excelente indicador da qualidade das mudas (Dickson et al., 1960).

CONCLUSÕES

Os frutos da palmeira *Veitchia merrilli* apresentam maior qualidade das mudas no estágio transição verde - 40% verde, 40% amarelo e 20% vermelho.


REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena ME et al. (2021). Changes in physicochemical properties at different development stages of *Hexachlamys edulis* fruit, an underutilized South American species. *Heliyon*, 7(11): e08323.
- Balqis U et al. (2016). Motilias Ascaridia galli Dewasa dalam Larutan Ekstrak Etanol Biji Palem Putri (*Veitchia merrilli*). *Jurnal Agripet*, 16(1): 9-15.
- Barroso NDS et al. (2017). Maturation stages of fruits and physiological seed quality of *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hormen. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 39(3): e-151.
- Barroso RF et al. (2016). Biométrie de frutos e sementes de *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(5): 156-160.
- Dickson A et al. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle*, 36(1): 10-13.
- Emmanouilidou MG et al. (2020). Evolution of physicochemical constitution and cultivar-differential maturity configuration in olive (*Olea europaea* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 272: 109516.
- Mingoti AS (2005) Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG. 295p.
- Ramos CAS et al. (2021). Influence of maturity stage on physical and chemical characteristics of fruit and physiological quality of seeds of *Physalis angulata* L. *Scientia Horticulturae*, 284: 110124.
- Silva CDD et al. (2019). Fruit maturation stage on the physiological quality of maroon cucumber seeds. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49: e53188.
- Silva FAM et al. (2008). Caracterização climática do bioma Cerrado. In: Sano SM et al. (Eds.). *Cerrado: ecologia e flora*. 1. ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, p. 69–88.


Monitoramento remoto como ferramenta para detecção de incêndios florestais

Recebido em: 14/04/2022

Aceito em: 15/04/2022

 10.46420/9786581460334cap2

Stanley Schettino^{1*} 

Thiago Ruas Souto¹ 

Denise Ransolin Soranso² 

Marilda Teixeira Mendes¹ 

INTRODUÇÃO

Os incêndios são causadores de danos sociais, ambientais e econômicos, uma vez que a ocorrência destes eventos varia em função da época do ano, localização geográfica, causa provável, tipo de vegetação e área atingida (Schumacher; Dick, 2018). A preocupação com os impactos causados pelos incêndios florestais no Estado do Paraná, por exemplo, teve início após o incêndio que atingiu o estado, em agosto e setembro de 1963, afetando uma área de 2.000.000 de hectares. A partir de então as ações voltadas à prevenção e combate aos incêndios vem sendo aperfeiçoadas, em função da grande probabilidade de ocorrência e do prejuízo que podem causar.

Estima-se que, na América do Sul, entre 1977 e 2007, tenham ocorrido pelo menos 290.000 incêndios florestais, afetando 51,7 milhões de hectares, sendo que cerca de 300.000 hectares foram de cultivos florestais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Os prognósticos das mudanças climáticas preveem uma elevação dos incêndios florestais em vários pontos geográficos, motivo pelo qual os países precisam expandir a sua cooperação, estarem coordenados e qualificados para encarar esses desafios diante de um cenário mais rígido (GFMC, 2017).

Os incêndios florestais no Brasil se concentram no inverno e início da primavera (junho a outubro), por apresentar as médias mais baixas de precipitação e umidade relativa do ar. Esse período equivale a cerca de 69 % de ocorrência dos incêndios e mais de 90 % das áreas queimadas. Condições como clima quente, estações muito secas e grandes períodos de estiagem, contribuem para maior intensidade e frequência dos incêndios florestais (Vosgerau et al., 2006).

¹ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Montes Claros - MG.

² Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá - MG.

* Autor correspondente: schettino@ufmg.br

Além dos fatores já citados, outro que dificulta a prevenção e a detecção de incêndios florestais é a pequena quantidade de pessoas responsáveis por áreas extensas. Assim, surge o problema de monitoramento e a detecção precoce do fogo, que se ocorrer em tempo hábil pode reduzir significativamente o impacto nessas áreas, bem como o custo e tempo necessários para combater o incêndio (Alkhatib, 2014).

Em se tratando de detecção dos focos de incêndio, um método bastante utilizado são as torres de observação, o qual oferece subsídios importantes para diminuir o tempo do primeiro combate, tendo em vista que a construção de torres em pontos estratégicos permite abrangência de visibilidade do observador na identificação dos focos de incêndio (Venturi; Antunes, 2007). Entretanto, como uma técnica tradicional de detecção de incêndios florestais, as torres de vigilância apresentam elevado custo de instalação e operação, consomem grande quantidade de mão de obra e são relativamente ineficientes. Além disso, a busca e observação do fogo é uma atividade perigosa e demorada quando dependente exclusivamente das habilidades da força de trabalho humana.

Ainda, soma-se o fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Com o desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs). Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais e rede de sensores (Molina-Pico, 2016).

Em informações disponibilizadas pelo INFOQUEIMA (2021), o método de monitoramento mais utilizado é o monitoramento remoto, através da utilização de satélites. São utilizados dez satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. Atualmente, são processadas operacionalmente, na Divisão de Geração de Imagens - DGI e na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens dos satélites polares, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3.

Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram seis imagens por hora, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. Vários satélites

utilizados no passado não estão mais em operação, como p. ex. o NOAA-9 que foi o primeiro a fornecer focos para o INPE no período 1984-1998.

Diante desse contexto, este estudo objetivou avaliar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais, com base em estudos realizados com este enfoque.

REFERENCIAL TEÓRICO

Incêndios florestais

Os incêndios florestais são um dos principais fenômenos recorrentes que provocam a destruição de áreas naturais e causam um imenso dano a fauna e a flora desses locais. Frequentemente, provocam também a destruição de construções próximas as regiões afetadas e a perda de vidas humanas, dentre outros prejuízos ambientais, sociais e econômicos (Soares; Batista, 2007).

Segundo o Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Lemos et al., 2010), incêndio florestal é todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem ou por causas naturais. Castro et al., 2003 identificam três fatores que influenciam no comportamento dos incêndios florestais: o tipo de combustível, tipo de relevo e as condições meteorológicas. A ação de cada um desses fatores é diferente para cada região e para cada época do ano, modificando o comportamento do fogo (Torres et al., 2020).

De acordo com Ribeiro (2002), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios se baseia no grau de envolvimento de cada estrato do combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores, no processo da combustão. Nesse caso, os incêndios são classificados em subterrâneos, superficiais e de copa.

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são imprescindíveis para o controle do fogo e para a redução de custos no combate e de danos. Logo, os métodos de detecção e monitoramento de incêndios florestais são essenciais para o controle e o dimensionamento dos efeitos causados pelas chamas sobre o meio ambiente (Batista, 2004). O controle de incêndios florestais está associado às ações administrativas e técnicas tomadas para realizar a prevenção e o combate ao fogo, as quais podem ser realizadas por uma instituição privada ou pública, municipal, estadual ou federal (Torres et al., 2020).

Dentre a sequência de etapas de combate aos incêndios, a detecção é indubitavelmente a de maior importância, pois um incêndio só pode ser combatido depois de descoberto e localizado, e quanto mais precoce se detecta o evento, maior a probabilidade de ser combatido, minimizando os danos (Saraiva, 2011).

Muitas são as dificuldades e limitações do mais utilizado método de monitoramento e detecção dos incêndios florestais, as torres de observação. Tais postos de vigilância têm sua eficiência limitada à

visibilidade do meio e ao alcance visual, com sua eficácia relacionada diretamente com a responsabilidade e qualificação específica do “vigilante”. O alto custo de investimento e operação, faz com que somente as grandes e organizadas empresas mantenham redes de torres de vigilância, fazendo com que as unidades de conservação e demais áreas rurais, com raríssimas exceções, tenham seus eventos de incêndios detectados quando a intensidade do fogo já é grande e o combate bastante difícil (Saraiva, 2011)

Ramos (2004) afirma que, a partir da década de 60, a destruição das florestas tomou um rumo nunca antes experimentado. Aumentaram também as queimadas e os incêndios florestais, trazendo como resultado mais destruição da vegetação e os inconvenientes da poluição atmosférica. Além disso, as unidades de conservação ficaram mais vulneráveis aos incêndios florestais.

Com a criação do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965) e pelo disposto em seu Artigo 27, desde então é proibido o uso do fogo nas florestas, exceto quando for utilizado para fins de queima controlada. Destaca-se ainda o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), criado pelo Decreto 97.635/89 (BRASIL, 1989), que atribuiu ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a competência de coordenar as ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades de pesquisa, prevenção, controle e combate às queimadas e incêndios florestais no Brasil (Schumacher; Dick, 2018).

Os efeitos diretos da combustão no ecossistema são: a redução da matéria orgânica e a liberação de calor, nutrientes e produtos da combustão. Como resultado desses efeitos diretos, os impactos serão observados em maior ou menor proporção, dependendo da intensidade do fogo, nos diversos elementos do ecossistema, tais como: o solo, a vegetação, a fauna silvestre, o ar atmosférico entre outros (Lima; Batista, 1993). A destruição da vegetação é, visualmente, a consequência mais significativa da força do fogo. Dependendo de sua intensidade, a vegetação pode ser destruída totalmente ou ficar comprometida em seu crescimento e em outras características (Soares; Batista, 2007).

No Brasil, as pesquisas relacionadas aos efeitos do fogo têm sido desenvolvidas principalmente no Cerrado e na Amazônia, onde os incêndios florestais ocorrem com maior frequência e intensidade. Estudos sobre o impacto do fogo em florestas tropicais tornam-se cada vez mais importantes à medida que os efeitos provocados pelos incêndios passam a ter repercussões globais negativas, particularmente sobre a atmosfera e o estoque de biodiversidade (Whitmore, 1998; Cochrane, 2004).

Os dados disponibilizados pelos relatórios do INFOQUEIMA, datam o começo do monitoramento de focos de incêndios em 1998, ano em que foram observados 123.896 focos (INFOQUEIMA, 2021). Segundo os relatórios, a partir do ano seguinte (1999), nota-se um aumento (mesmo que discreto no início) dos focos de incêndios no país. A Figura 1 apresenta dados do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre 1998 e 2021.

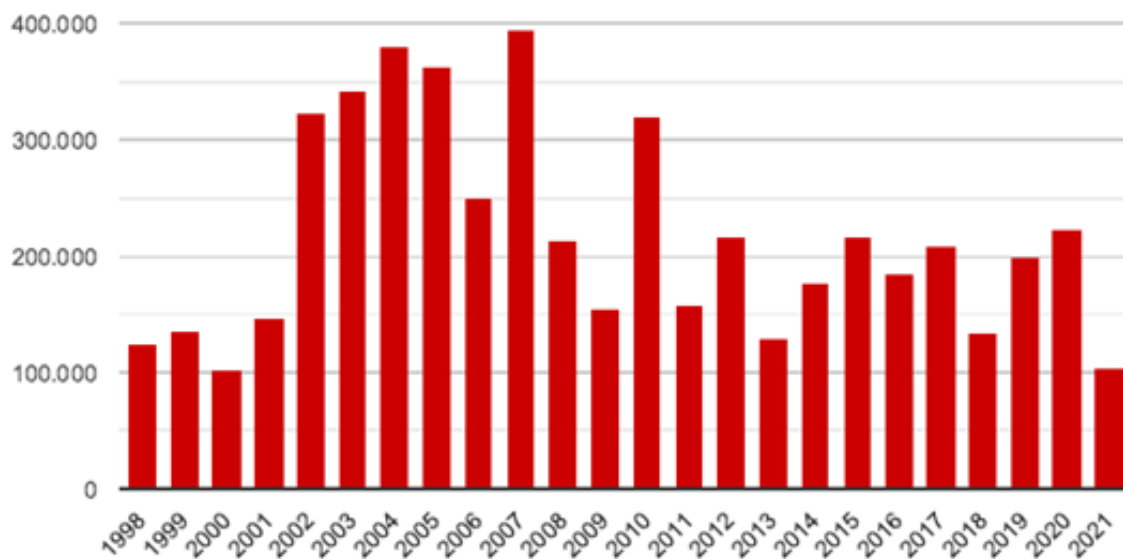


Figura 1. Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência no período de 1998 até 09/09/2021. Fonte: os autores (compilado de INFOQUEIMA, 2021).

Entre os anos de 2002 a 2005 percebe-se o notório aumento dos focos, quando comparados aos anos anteriores. O ano de 2007 foi o ano recorde de detecção de focos, atingindo por volta de 393.915 focos ativos no ano. Nos próximos anos teve uma queda, porém logo percebe-se um aumento desses focos, a partir de 2015 (ano que teve inúmeros incêndios florestais pelo país), o ano de 2021 apresenta um índice menor pois os relatórios liberados pelo INFOQUEIMA constam até julho (INFOQUEIMA, 2021).

Em junho de 2021 foram registradas 7.473 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência. Os estados líderes em detecção de focos de fogo são, em primeiro lugar, Mato Grosso, seguido de Tocantins, Maranhão e Minas Gerais. Em julho de 2021 foram registradas 15.985 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência (INFOQUEIMA, 2021)

Detecção de incêndios florestais

A detecção do incêndio ou dos focos de fogo é o tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento em que ele é visto por alguém. Quanto menor o intervalo de tempo entre o início do fogo e o começo do ataque, mais fácil será seu controle (Ribeiro, 2002).

Segundo Vélez (2009) a detecção de incêndios se fundamenta em uma série de atividades cujos objetivos são: descobrir, localizar e comunicar o início de um fogo a uma central de operações, gerando o que se conhece como “alarme de incêndio”. Contar com uma detecção eficiente dentro de um programa de controle de incêndios é garantia de que os danos produzidos pelo fogo e os gastos com as operações de combate serão mínimos (Saraiva, 2011).

A fase de combate aos incêndios florestais é antecedida pela detecção do foco de incêndio, que resulta do seu avistamento, e é desejável que a sua localização seja a mais imediata e rigorosa possível, uma vez que a detecção de um foco de incêndio é um fator determinante para o desenrolar de todas as restantes ações. É a partir da detecção, e da forma como essa informação chega aos centros operacionais, que se desencadeiam todos os subsequentes procedimentos (Torres et al., 2020).

Quanto maior o fogo, mais difícil o seu combate. Por isto, a capacidade de detectar ou descobrir rapidamente os focos iniciais de fogo é um dos principais objetivos dos serviços de prevenção e combate aos incêndios florestais. O controle dos incêndios florestais em uma determinada região começa, portanto, com um eficiente sistema de detecção e localização de focos de incêndios (Soares; Batista, 2007).

A detecção pode ser feita por meio de vigilância terrestre, por observação de torres ou locais de boa visibilidade e com o auxílio de aeronaves ou equipamentos automatizados, como sensores, satélites, etc. (Schumacher; Dick, 2018). A detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em: terrestre (fixa e móvel) e aérea (aeronaves e satélites) (Torres et al., 2020).

Contudo, cada um desses meios de detecção tem as suas vantagens e limitações, pelo que a implementação e o desempenho de cada um deles deve ser alvo de uma análise escrutinada, avaliando as várias opções e as características intrínsecas da área a monitorar.

Sistemas de vigilância

Para que um incêndio ocorra é necessária a chama inicial para dar início ao processo da combustão. Assim, qualquer ação para prevenção dos incêndios florestais deve buscar a eliminação de suas causas. De acordo com Nogueira et al. (2001), a melhor forma de combater um incêndio florestal é através de sua prevenção.

Um dos elementos básicos para o controle dos incêndios florestais é a implementação de sistemas de vigilância, cujos principais objetivos são: vigilância preventiva das zonas prioritárias para a conservação de modo que seja evitada a ocorrência de incêndios e possibilitada a identificação dos agentes que, por negligência ou intencionalmente, possam provocar os incêndios; e detectar o incêndio no menor tempo possível e efetuar a comunicação do evento para a estrutura de acionamento da brigada que efetuará o controle e extinção do mesmo (Lemos, 2010).

Tradicionalmente, a vigilância das florestas tem sido realizada por pessoas, previamente instruídas para esse efeito, mas ultimamente cada vez mais é complementada com recurso a diversos meios tecnológicos (Torres, 2020). De acordo com Lemos (2010) a detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em:

a) Terrestre (fixa e móvel);

- O sistema terrestre fixo é baseado na localização de pontos fixos do terreno para efetuar o monitoramento da área. A boa escolha dos pontos de observação é fundamental;
 - O sistema terrestre móvel consiste na vigilância da área pelo deslocamento da equipe por meio de rondas. No deslocamento, pode-se utilizar diversos meios de transporte, motorizados ou não, tais como: automóveis, motos, bicicletas, cavalos, entre outros;
- b) Aérea (aeronaves e satélites)

- O sistema aéreo consiste na utilização de aeronaves para monitoramento de grandes extensões territoriais. Método pouco utilizado no Brasil para a detecção de incêndios por causa da carência de aeronaves.
- O sistema de satélites utiliza satélites com sensores de luz e calor de distintas resoluções espaciais e temporais que, conjuntamente, oferecem leituras diárias de possíveis focos de incêndios em todo território nacional.

Torres de observação de incêndios florestais

A detecção terrestre fixa é feita através das torres de observação, geralmente construídas de ferro ou madeira, tendo no topo uma cabine fechada com visibilidade para todos os lados. São instaladas em pontos altos, com alturas entre 12 e 42 m que variam em função do relevo da área monitorada. A distância visual máxima de uma torre de observação, dependendo das condições locais de visibilidade, varia entre 8 a 15 km. Considerando-se uma capacidade visual média, uma torre pode cobrir uma área de 8.000 a 20.000 ha, dependendo principalmente do relevo (Soares; Batista, 2007).

Entretanto, as torres representam uma parte significativa do orçamento do sistema de prevenção de uma área ou região, o que exige um planejamento cuidadoso, visando a utilização do menor número de torres para cobrir a maior área possível. Os critérios geralmente utilizados para escolha dos locais para instalação das torres são o relevo, as vias de acesso, a altitude dos pontos mais destacados dentro da área, a formação vegetal, a visibilidade e a importância da área a ser protegida (Lemos, 2010).

Para se obter a localização exata de um foco de incêndio é necessário que dois ou mais postos de vigia forneçam os respectivos azimutes desse foco de incêndio aos centros operacionais, onde, sobre um mapa, cruzam-se as linhas correspondentes a esses azimutes, cujo local de intersecção dá as coordenadas geográficas do ponto de ignição (Torres, 2020).

É fundamental uma boa distribuição dos postos de vigia para se conseguir assegurar um grau de visibilidade abrangente e contínuo das manchas florestais, para com o menor número de postos de vigia se cobrir a maior área possível. A eficácia dos Postos de Vigia depende das capacidades do próprio vigilante em reconhecer uma coluna de fumaça, diferenciando-a de outras fumaças inerentes à atividade humana do dia a dia, para não ativar falsamente os escassos meios de combate, bem como depende também dos

meios de que dispõe para entrar em contato com os centros de decisão (Lemos, 2010). O Quadro 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens desse sistema.

Monitoramento de incêndios florestais

Tradicionalmente, o controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. Idealmente, o alerta de incêndio devia ser dado de forma autónoma, automática e sistemática. Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Os sistemas visam, de forma geral, fornecer imagens e dados relativos aos incêndios para que as entidades responsáveis pelo combate às chamas partam para o terreno mais cedo, evitando a propagação do incêndio, e com mais informações acerca do que encontrarão.

Quadro 1. Vantagens e desvantagens no sistema de torres de observação. Fonte: Adaptado de Torres (2020).

Vantagens	Desvantagens
Os Postos de vigia permitem uma vigilância contínua das áreas florestais e em comunicação permanente com os centros operacionais.	A acuidade visual e a fadiga a que estes agentes estão sujeitos, bem como deficientes técnicas de observação, fazem com que o índice de detecção seja mais baixos que os alertas dados pelos populares;
Todavia, para assegurar um grau de cobertura satisfatório, é necessária uma rede articulada de vários postos;	A existência de áreas extensas que não se conseguem observar em linha de vista, uma vez que a área diretamente visível pelos postos de vigia pode variar, consoante os locais, entre 10 e 40 ou mais quilómetros
A detecção por dois ou mais postos de vigia permite localizar facilmente, através de técnicas de triangulação, o foco de incêndio e proceder ao alerta e ativação de meios de combate;	Normalmente é um trabalho sazonal, precário, com condições de trabalho abaixo dos padrões aceitáveis, pelo que há dificuldades de recrutamento e contratação de pessoal
Os postos de vigia servem, também, para fiscalização da área, coibindo a ação dos agentes causadores de incêndios, principalmente de origem humana	Dependência das condições atmosféricas e diminuição do grau de visibilidade durante a noite, o que dificulta a detecção das colunas de fumaça.
	A detecção atempada depende do grau de conhecimento dos agentes e da atenção constante dos vigias durante o seu turno;
	O fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Os sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais podem ser divididos em três categorias, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais. Fonte: Ribeiro (2014).

Tipos de sistema	Tecnologia utilizada
Baseados em processamento de imagem	Imagens de satélite ou câmeras fixas
Sistemas térmicos	Sensores estáticos ou dinâmicos
outras aplicações	Radares, LIDAR e detecção de som

À medida que, na sua trajetória orbital, os satélites vão varrendo a superfície terrestre, procedem à captação de imagens com características espectrais (multiespectrais, pancromáticos, RADAR, LIDAR, óticos, térmicos, etc.), consoante sua própria tipologia, dado que não só têm diferentes velocidades e altitudes orbitais, mas também estão munidos com um conjunto de diferentes sensores, geralmente Very High Resolution Radiometer (AVHRR) ou Along-Track Scanning Radiometer (ATRS). Esses sensores tornam os satélites capazes de levantar e monitorar diversas variáveis que permitem a detecção e localização do foco de incêndio, após serem tratadas por meio de softwares de detecção remota e recomposição das bandas de imagens (Torres, 2020).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi elaborado no modelo de pesquisa bibliográfica, consistindo na leitura e interpretação de material publicado relacionado ao tema em questão. A principal vantagem do uso da pesquisa bibliográfica, é possibilitar ao investigador uma visão mais ampla da gama de fenômenos, do que aquela que poderia ter ao pesquisar diretamente (GIL, 2007).

Utilizando como base referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos, artigos e base de dados, a revisão bibliográfica busca explicar e discutir um tema visando o enriquecimento da pesquisa (Cajueiro, 2014).

A fim de atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistemática exploratória, descritiva com pesquisa em livros, teses, dissertações, e internet, utilizando principalmente as plataformas do Google Acadêmico, Elsevier, revistas do setor florestal, seminários e simpósios, tomando por base o que já foi publicado em relação ao tema, de modo que se possa ter uma nova abordagem sobre o mesmo, chegando a conclusões que possam servir de embasamento para pesquisas futuras.

Os diversos tipos de tecnologia utilizadas para o monitoramento de incêndios florestais são analisados pelos pesquisadores que constam no Quadro 3. Os materiais consultados tinham como foco principal definir os conceitos relacionados aos incêndios florestais, às formas de detecção, observação e

monitoramento dos mesmos, com o objetivo de apresentar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais.

As palavras-chave adotadas foram: Incêndios Florestais, Monitoramento Remoto, Controle de Incêndios. Os trabalhos utilizados nesta pesquisa, são referentes aos últimos quarenta anos (1980-2021), tal espectro é interessante pois permite uma melhor visualização das melhorias e estudos que surgiram acerca desse tema no decorrer dos anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordados os métodos de monitoramento que são utilizados para a detecção e prevenção de incêndios florestais. Os métodos mais utilizados são as imagens de satélite (AVHRR e MODIS), redes de sensores (imagens de câmeras e wireless), sensores infravermelhos, LiDAR, radares, rede RSSF, entre outros.

Quadro 3. Autores utilizados e as tecnologias que suas pesquisas contemplaram. Fonte: os autores.

Autores	Sistema de monitoramento remoto
Razafimpanilo et al. (1995) NASA (1999) Batista (2004) Nakau et al. (2006) Aslan (2010)	IMAGENS DE SATÉLITES
Gandia et al. (1994) Unewisse et al. (1995) Lorenz (1997) Alkhatib (2014)	CAMÊRAS e INFRAVERMELHOS
Eberhard (1983) Banta et al. (1992) Fromm et al. (2000) Utkin et al. (2003) Vélez (2009) Arrue et al. (2000)	LIDAR
Yu et al. (2005) Lloret et al. (2009) Correia (2017) Alkhatib (2014)	REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF)

Autores	Sistema de monitoramento remoto
Zhu et al. (2012) Molina-Pico et al. (2016)	
Ollero et al. (1998) Yuan et al. (2015) Yuan et al. (2016) Cruz et al. (2016)	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

Satélites em órbita terrestre e até dispositivos flutuantes no ar têm sido empregado para observação e detecção de incêndios florestais. Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais, a nível nacional e em escalas regionais, o uso de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo, quando comparado com os demais meios de detecção.

A detecção é feita através de imagens termais dos satélites que captam os pontos de calor, através do sensor AVHRR, que registra qualquer temperatura acima de 47° C (Batista, 2004). Devido a esta baixa temperatura há uma grande quantidade de alarmes falsos, além da desvantagem de o sistema não permitir uma detecção contínua. Outro satélite utilizado é o espectro radiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS), lançado em 1999 (Nakau et al., 2006; NASA, 1999).

Estes satélites podem fornecer imagens das regiões da Terra a cada dois dias e isso é muito tempo para a varredura de incêndio; além do mais a qualidade das imagens de satélite pode ser afetada pelas condições do clima (Aslan, 2010). De acordo com Razafimpanilo et al. (1995), a eficiência do monitoramento de incêndios por satélites depende de informações prévias do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural e fenologia da vegetação e condições climáticas.

Dois tipos diferentes de redes de sensores capazes de detectar incêndios estão disponíveis: vigilância por câmera e wireless rede de sensores. O desenvolvimento de sensores, câmeras digitais, processamento de imagens e computadores industriais resultaram no desenvolvimento de um sistema para reconhecimento óptico e automatização e alerta de incêndios florestais (Alkhatib, 2014).

Desde os anos 90, o uso de sensores de infravermelho vem sendo estudado e aplicado na detecção de incêndios, mas sua eficiência é bastante variável. Apresentam excelente eficiência na detecção, mas estão severamente limitados ao alcance, atuando em escala de poucos quilômetros (Gandia et al., 1994).

Unewisse et al. (1995) sugeriram o uso de rede de câmeras de infravermelho nas áreas monitoradas, como sistema de grande eficiência, mas de elevado custo de implantação e manutenção, sendo necessário uma câmera a cada quilometro quadrado. Outra tecnologia de sensor aplicada é o radiômetro de

infravermelho que provê a temperatura de determinado ponto, mas considerado eficiente apenas como caminho para confirmação de alarme de ocorrência do evento (Lorenz, 1997).

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*), tecnologia óptica de detecção remota que tem sido testada no setor florestal, tem sido visto como promissora. A tecnologia mede as propriedades da luz refletida e funciona estimando distâncias baseadas no tempo entre a emissão de um pulso de laser e detecção do sinal refletido. Funciona emitindo feixes ópticos sobre as florestas e recebendo dados de varreduras.

Testes preliminares utilizando combinação de radar Doppler banda X e LiDAR, detectaram e acompanharam coluna de fumaça produzida por dois incêndios florestais de grandes proporções (Banta et al., 1992). Eberhard (1983) acompanhou fumaça produzida pela queima de óleo com uso do LiDAR. Medições da densidade da fumaça de incêndios florestais na estratosfera foram realizadas por Fromm et al. (2000) e Utkin et al. (2003) estudaram viabilidades do uso do LiDAR na detecção de fumaça de incêndios florestais.

A detecção através do uso da telemetria a laser, que faz uma varredura sistemática ao longo do horizonte e monitora uma extensa área ao redor do detector, está em fase experimental, não sendo ainda utilizado operacionalmente (Vélez, 2009). O uso de avançadas tecnologias como sistemas computacionais que combinam imagens de infravermelho obtidas por satélites, redes neurais e lógica fuzzy, exemplificam esforços de se obter ferramenta auxiliar para minimizar falsos alarmes de focos de incêndios indicados unicamente pelo sensoriamento remoto via satélite (Arrue et al., 2000).

Yu et al. (2005) apresentam um sistema de detecção de incêndios florestais em tempo real usando redes de sensores neurais sem fio. Eles utilizaram um algoritmo de agrupamento como técnicas de roteamento para coletar a medição dos sensores espalhados, como umidade, temperatura, fumaça e velocidade do vento onde esses dados foram usados como entrada para a Classificação Nacional de Perigo de Incêndio dos Estados Unidos Sistema.

Uma nova tecnologia chamada rede de sensores sem fio (RSSF) tem recebido mais atenção e passou a ser aplicado na detecção de incêndios florestais. Os nós wireless integram na mesma placa de circuito impresso, os sensores, os dados processamento, e o transceptor sem fio e todos eles consomem energia das mesmas baterias de origem (Correia, 2017). A revolução da tecnologia RSSF nos últimos anos tornou possível aplicar esta tecnologia para detecção precoce de incêndios florestais (Alkhatib, 2014).

Zhu et al. (2012) criaram um sistema de monitoramento de incêndios florestais com base em redes de sensores sem fio e rede GPRS. Foram utilizados sistemas de cluster para fornecer monitoramento em tempo real para fumaça, temperatura, umidade e algum outro ambiente parâmetros mentais. Os dados coletados dos nós irão ser transmitido em modo *multihop* para o *nodec* central e em seguida, para o centro de monitoramento para produzir relatórios, gráficos e curvas para ajudar os bombeiros a tomar uma decisão adequada

Um método de detecção precoce de incêndio é proposto por Molina-Pico et al. (2016) que usa um RSSF para detecção precoce de floresta incêndios. Esta rede pode ser facilmente implantada em áreas especiais interesse ou risco. Os resultados mostram que a detecção precisa de incêndio foi alcançado, sendo muito raro o acionamento do alarme falso.

Lloret et al. (2009) sugeriram a implantação de uma rede *mesh* de sensores fornecidos com câmeras de protocolo de internet (IP) na Espanha. Os sensores detectam o incêndio no início e envie um sinal de alarme. O IP envia de volta uma mensagem para ligar a câmera mais próxima para fornecer imagens do incêndio e evitar alarmes falsos. Seu papel é baseado em testar o desempenho de quatro câmeras IP e seus consumo de energia. O problema com este sistema é que a transferência de imagens é pesada para redes de sensores sem fio em relação aos seus recursos limitados de poder, memória e buffer. As câmeras IP podem fornecer apenas uma linha de imagens visuais e não são eficientes no escuro, na neblina e na chuva. As câmeras IP necessitam de instalação, de cada uma delas, manualmente e na posição apropriada.

Um levantamento abrangente para o uso de veículos aéreos não tripulados para monitoramento de detecção e realização de atividades de combate a incêndios é fornecido em Yuan et al. (2015). Primeiro uma breve revisão do desenvolvimento e em seguida uma revisão das tecnologias relacionadas aos VANTs, desafios e suas soluções potenciais também são fornecidos. A pesquisa conduzida por Yuan et al. (2016) apresenta um método de monitoramento e detecção de incêndios florestais com sensores visuais em veículo aéreo não tripulado (VANTs). Cor, movimento e características do fogo são adotados para o projeto da floresta estudada. Essa estratégia de detecção de incêndio tem como objetivo melhorar o desempenho de detecção do fogo, enquanto reduz as taxas de alarmes falsos.

Cruz et al. (2016) descreveram um índice de incêndio que pode ser aplicado ao Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) para detectar fogo. Os autores conseguiram atingir uma precisão de detecção de mais de 96% com tempo de processamento de 4 min.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios, Ollero et al. (1998) apontam para a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

Apesar das utilizações citada, essas tecnologias possuem pontos positivos e negativos, os quais são expostos no Quadro 4.

Quadro 4. Vantagens e desvantagens do monitoramento remoto. Fonte: adaptado de Torres (2020).

Vantagens	Desvantagens
Apresentam tempos médios homogêneos na cobertura das imagens, permitindo comparações diretas	Elevados custos para a sua implementação e operacionalização;
Proporcionam cobertura frequente e repetitiva de uma área de interesse, além de cobrir grandes áreas florestais onde a presença humana, fixa ou móvel, é de difícil acesso,	A rapidez na detecção e na localização dos incêndios ainda não é a mais adequada para que se consiga uma primeira intervenção rápida;
Proporcionam aquisição de dados em diferentes escalas, resoluções e periodicidade;	A presença de nuvens limita a quantidade de informação válida numa imagem, uma desvantagem clara em relação à detecção de incêndios, que reside no fato das nuvens poderem ocultar o foco de incêndio ativo ou gerar falsas detecções.
Fornecem imagens que podem ser interpretadas para diferentes fins e aplicações;	
Possibilitam a detecção de incêndios ativos tanto durante o dia, pela atividade térmica ou pelo infravermelho médio, quanto à noite, pela luz emitida pelo incêndio.	Em virtude de fenômenos de reflexão, uma vez que tanto os bordos de nuvens, como outros elementos do mobiliário urbano ou das atividades humanas podem apresentar uma assinatura espectral similar à dos incêndios florestais no infravermelho médio.

Todos os sistemas apresentam as suas vantagens e muitos estudos com sucesso têm sido feitos e publicados, mas as desvantagens também existem, pelo que muitas vezes, para um sistema se tornar aplicável a todas as situações, seria necessário combinar mais do que uma tecnologia para se obter resultados positivos (Ribeiro, 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. A rede de detecção de incêndios florestais deve ser uma ferramenta fácil para implementar com pouca ou nenhuma manutenção.

Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais, além da implementação de rede de sensores.

Desta forma, a partir do desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e

flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs), garantindo, assim, a rapidez necessária para a detecção dos princípios de incêndios florestais com maior precisão e com custos compatíveis.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios percebe-se a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkhatib AAA (2014). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3): 1-12.
- Arrue CB et al. (2000). An intelligent system for false alarm reduction in infrared forest-fire detection. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 15(3): 64-73.
- Aslan Y (2010). A framework for the use of wireless sensor networks in the forest fire detection and monitoring. Department of Computer Engineering, The Institute of Engineering and Science Bilkent University (MS thesis). 145p.
- Batista AC (2004). Detecção de incêndios florestais por satélites. *Revista Floresta*, 34: 237–241.
- Banta RM et al. (1992). Smoke-column observations from two forest fire using doppler Lidar and doppler radar. *Journal of Applied Meteorology*, 31: 1328-1349.
- BRASIL (1965). Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF*, 117: 9529.
- BRASIL (1989). Decreto nº 97.635, de 10 de abril de 1989. Regula o artigo 27 do Código Florestal e dispõe sobre a prevenção e combate a incêndio florestal. *Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF*, 213: 5518.
- Cajueiro, RLP (2014). Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos: guia prático do estudante. 3 ed. Petrópolis: Vozes. 112p.
- Castro CF et al. (2003). Combate a incêndios florestais. 2 ed. Sintra, Portugal: Escola Nacional de Bombeiros, 94p.
- Cochrane MA (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 42: 913-919.
- Correia TA (2017). RSSF para detecção de incêndios florestais em tempo real. Pontifícia Universidade Católica de Campinas (Dissertação), Campinas. 95p.
- Cruz H et al. (2016). Efficient forest fire detection index for application in unmanned aerial systems (UASs). *Sensors*, 16(6): 893.

- Eberhard WL (2003). Eye-safe tracking of oil fog plumes by UV Lidar. *Applied Optics*, 22: 2282-2285.
- Fromm M et al. (2000). Observations of boreal fire smoke in the stratosphere by POAM III, SAGE II and Lidar. *Geophysical Research Letters*, 27: 1407-1410.
- Gandia A et al. (1994). El Sistema BOSQUE, alta tecnologia em defensa del medio ambiente. *DYNA*, 6: 34-38.
- GFMC (2017). Global cooperation: regional South America wildland fire network. Disponível em: <<https://gfmco.org/globalnetworks/southamerica/SouthAmerica.html>>. Acesso em: 22/09/2021.
- Gil AC (2010). Métodos e técnicas de pesquisa social. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas. 220p.
- INFOQUEIMA (2021). Boletim mensal de monitoramento e risco de queimadas e incêndios florestais. Disponível: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima>>. Acesso em: 20/08/2021.
- Lemos AF et al. (2010). Manual para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais. Brasília: Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio). 90p.
- Lima GS, Batista AC (1993). Efeitos do fogo no ecossistema. *Estudos de Biologia*: 31: 5-16.
- Lloret J et al. (2009). A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification. *Sensors*, 9(1): 8722-8747.
- Lorenz E et al. (1997). Design and analysis of a small bispectral infrared push broom scanner for hot spot recognition. *Infrared Spaceborne Remote Sensing V. Proceedings SPIE 3122*: 25-34.
- Molina-Pico A et al. (2016). Forest monitoring and wildland early fire detection by a hierarchical wireless sensor network. *Journal of Sensors*, 4: 1-8.
- NASA (1999). MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 25/08/2021.
- Nakau K et al. (2006). Forest fire detection based on MODIS Satellite imagery and comparison of NOAA satellite imagery with fire fighters' information. Disponível em: <<https://cutt.ly/YWpqcUO>>. Acesso em: 20/08/2021.
- Nogueira GS et al. (2002). Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. *Revista Árvore*, 26(3): 363-369.
- Ollero A et al. (1998). Integrated systems for early forest-fire detection. In: III International Conference on Forest Fire Research [and] 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, 1998, Coimbra, Portugal: Proceedings... Coimbra: Head in Luso.
- Ramos PCM (2004). Manual de operações de prevenção e combate aos incêndios florestais: comportamento do fogo. Brasília: IBAMA. 60p.


- Razafimpanilo H et al. (1995). Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 54: 273-289.
- Ribeiro GA (2002). Formação e treinamento de brigada de incêndio florestal. Viçosa: CPT. 182p.
- Saraiva EA (2011). Detecção de incêndios florestais e queimadas com radar meteorológico. Universidade Federal do Paraná (Tese), Curitiba. 139p.
- Soares RV, Batista AC (2007). Incêndios florestais controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: [s.n.]. 250p.
- Schumacher MV, Dick G (2018). Incêndios Florestais. 3 ed. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Ciências Florestais. 153p.
- Torres FTP et al. (2020). Manual de prevenção e combate de incêndios florestais. Viçosa: Os Editores. 178p.
- Unewisse MH et al. (1995). Growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection. In: SPIE's 1995 - International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 1995, San Diego: Proceedings Volume 2554, Growth and Characterization of Materials for Infrared Detectors II. San Diego: International Society for Optics and Photonics.
- Utkin AB et al. (2003) Feasibility of forest fire smoke detection using lidar. *International Journal of Wildland Fire*, 12: 159-166.
- Vélez R. (2009). La defensa contra incendios forestales: fundamentos e experiências. 2 ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 800p.
- Venturi NL, Antunes AFB (2007). Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. *Revista Floresta*, 37(2): 159-173.
- Vosgerau JL et al. (2006). Avaliação dos registros de incêndios florestais do Estado do Paraná no período de 1991 a 2001. *Revista Floresta*, 36(1): 23–32.
- Whitmore TC (1998). An introduction to tropical rain forests. 2 ed. Oxford: Oxford University Press. 296p.
- Yuan C et al. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7): 783-792.
- Yuan C et al. (2016). Unmanned aerial vehicle based forest fire monitoring and detection using image processing technique. In: 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC), 2016, Nanjing, China: Proceedings... Nanjing: IEEE Robotics and Automation Society.
- Yu L et al. (2005). Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. In: Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 11, 2005, Shanghai, China, Proceedings... Shanghai: IEEE Robotics and Automation Society.

Zhu Y et al. (2012). Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network. In: World Congress on Intelligent Control and Automation, 10, 2012, Beijing, China: IEEE Robotics and Automation Society

Variabilidade temporal e estimativa da temperatura do solo no interior de uma floresta ombrófila densa

Recebido em: 14/04/2022

Aceito em: 17/04/2022

 10.46420/9786581460334cap3

Rosandro Boligon Minuzzi^{1*} 

INTRODUÇÃO

O solo funciona como um reservatório de calor que libera e armazena energia em escala diária, sazonal e anual. Rao et al. (2005) especificam que observações regulares de temperatura do solo em diferentes profundidades, com ou sem cobertura vegetal, possibilitam identificar seu comportamento térmico e o conhecimento de importantes propriedades, tais como difusividade e condutividade térmica.

As flutuações diárias e anuais da temperatura do solo influenciam os processos biológicos e químicos do solo, nas taxas de decomposição e de mineração da matéria orgânica e da liberação de CO₂, além de ser um dos principais fatores de influência da respiração do solo, particularmente nas florestas tropicais (Graham et al., 2010). Como exemplo, Baldrian et al. (2013) afirmaram que as atividades das enzimas extracelulares que participam da decomposição e da matéria orgânica em solos florestais dependem, entre outros fatores, do teor de umidade e da temperatura do solo. Os pesquisadores acrescentam que a atividade da enzima *in vitro* aumentou fortemente com a temperatura de 20 °C e 25 °C, como observado durante o período quente do ano, especialmente nos horizontes O e A.

Pezzopane et al. (2002) analisaram a variação da temperatura do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade em três locais no sub-bosque de uma floresta estacional semidecidual secundária, sob o domínio da Floresta Atlântica, no município de Viçosa, em Minas Gerais. As diferenças de temperatura do solo entre os locais estudados dentro da floresta são mais expressivas no final da estação seca e fria, em relação à estação quente e chuvosa, devido, principalmente, a variações na umidade do solo. Em um fragmento de mata Atlântica, Carneiro et al. (2014) encontraram que durante no período seco de Alagoas, houve uma amplitude térmica do solo maior, enquanto, por sua vez, no chuvoso registrou-se as maiores variações da temperatura do solo com a profundidade cujos resultados ainda indicaram que a cobertura por liteira produziu maior variação da temperatura com a profundidade do solo.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Rural, Av. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP: 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil.

* Autor correspondente: rbminuzzi@hotmail.com

Apesar da importância em ter o seu conhecimento, a temperatura do solo não é um elemento climático habitualmente encontrado nas estações meteorológicas, ao contrário da temperatura do ar. Por isso, diferentes técnicas têm sido propostas para relacionar a temperatura do solo em diferentes profundidades com aquela obtida para o ar, no abrigo meteorológico padrão (1,5 m acima do solo): Oliveira et al. (1979), Stathers et al. (1985), Tenge et al. (1998) e Kang et al. (2000) utilizaram séries finitas de Fourier et al. (1976) e Decico et al. (1977) trabalharam com equações diferenciais; Bergamaschi e Guadagnin (1993); Alfonsi e Sentelhas (1996) aplicaram modelos de regressão linear e; mais recentemente, George et al. (2001) usaram redes neurais artificiais para prever temperatura do solo de 0 a 5 cm de profundidade, em função da temperatura do ar.

O uso do modelo de regressão linear apresenta grande praticidade à aplicabilidade. Contudo, nem sempre o valor da temperatura do ar de um determinado instante guarda relação direta com a temperatura no interior do solo. A onda de calor, ao percorrer o solo, tem sua amplitude progressivamente atenuada em função da profundidade. Além disso, as temperaturas extremas em determinada profundidade ocorrem em atraso em relação à temperatura da superfície (Reichardt, 1993). Assim, o uso de modelos de regressão linear a partir da relação direta entre temperatura do solo e do ar a 1,5 m de altura pode não descrever fidedignamente a variação da onda de calor, principalmente quando se trabalha em escalas de tempo horária e diária. Como a temperatura do solo e a temperatura do ar são condicionadas, em parte, pelos mesmos elementos climáticos, em certas condições de contorno obtém-se uma boa relação entre esses elementos (Azevedo; Galvani, 2003).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo determinar a variabilidade temporal e obter métodos para a estimativa da temperatura do solo em diferentes profundidades no interior de uma floresta ombrófila densa, no município de Águas Mornas, estado de Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados horários de temperatura do ar e do solo foram obtidos na localidade de Rio do Cedro (latitude: 27° 44' sul, longitude: 48° 57' oeste e altitude: 408 metros), pertencente ao município de Águas Mornas, numa região limítrofe ao Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, no estado de Santa Catarina. Na região predomina os terrenos montanhosos, com pequenos planaltos ao longo dos rios. De acordo com a metodologia de Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido), com precipitação abundante e distribuída durante o ano. A temperatura e pluviosidade média anual são de 19,8 °C e 1531 mm, respectivamente. Julho é considerado o mês mais seco e frio, com 15,6 °C e 76 mm, ao contrário de janeiro apresentando maior precipitação (221 mm) e temperatura do ar (24,2 °C) (Alvares et al., 2013).

Os sensores de temperatura com datalogger e precisão de $\pm 0,5$ °C e resolução de 0,1 °C foram instalados a 2 cm, 5 cm e 20 cm de profundidade numa superfície com declividade de 15° e solo do tipo Cambissolo Háplico Aluminico (IBGE, 2021) em área de floresta nativa ombrófila, com grande densidade de árvores. A serapilheira foi inalterada durante todo o período de coleta de dados que ocorreu de 15 de dezembro de 2019 a 15 de fevereiro de 2020, de 15 de março a 15 de maio de 2020, de 15 de junho a 15 de agosto de 2020 e de 15 de setembro a 15 de novembro de 2020, como sendo representativos do verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. O sensor de temperatura do ar foi instalado dentro de um abrigo meteorológico a uma altura de 1,8 metros e próximo aos termômetros de solo (Figura 1).



Figura 1. Foto da área de coleta de dados de temperatura do ar e do solo no interior de uma floresta ombrófila densa, no município de Águas Mornas, Santa Catarina. Fonte: o autor.

A média e o coeficiente de variação (CV) da temperatura média, mínima e máxima diária do solo para cada uma das estações do ano foram comparados estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância, usando os testes t-Student e de Fligner-Kileen, respectivamente.

O método da regressão linear simples foi utilizado para obter equações para a estimativa da temperatura do solo em cada uma das três referidas profundidades, nas escalas diária, pentadal e decenal, tendo a temperatura do ar como variável preditora. As equações de regressão e respectivos coeficientes de correlação e de determinação foram obtidos usando 70% de todos os dados diários obtidos. Os 30% de dados restantes, foram utilizados para avaliar o desempenho da estimativa feita pelas equações de regressão estatisticamente significativas a 5% ou 1% pelo teste F.

A avaliação da estimativa de temperatura do solo no interior de floresta a 2 cm, 5 cm e 20 cm de profundidade foi realizada por meio do erro quadrático médio (EQM), do erro médio (EM), do coeficiente de correlação (r) da regressão linear, do índice de concordância (d) e do índice de confiança (c). O Índice de Concordância (d) (Willmott, 1981) é descrito pela Equação 1.

$$D=1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)^2} \right] \quad (1)$$

em que, X_i são os valores de temperatura do solo obtidos pelos termômetros; \bar{X} é a média dos valores de temperatura do solo obtidos pelos termômetros; Y_i são os valores de temperatura do solo estimados pelas equações de regressão; e N é o número de dados de temperatura do solo usados na avaliação.

Analogamente, para a análise da confiabilidade de temperatura do solo estimado pelas equações de regressão, considerou-se o Índice de Confiança (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), conforme Equação 2. O critério adotado para interpretar os valores de c , consta no Quadro 1.

$$c = r \cdot d \quad (2)$$

Quadro 1. Critério de interpretação do índice de confiança. Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Índice de confiança (c)	Desempenho
> 0,86	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

O erro quadrático médio (EQM), foi calculado utilizando-se a Equação 3:

$$EQM = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N-1} \right)^{1/2} \quad (3)$$

O Erro Médio (EM) representa a diferença média de temperatura do solo estimada e os valores medidos com termômetros. Assim, o EM indica a possível tendência de temperatura do solo em superestimar ($EM > 0$) ou subestimar ($EM < 0$) a temperatura do solo medida, sendo calculado conforme Equação 4:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i) \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação média horária da temperatura do solo em diferentes profundidades apresenta o mesmo comportamento ao observado em solos descobertos e, ou, com algum tipo de cobertura em céu aberto, mais especificamente quanto a diminuição na amplitude térmica com o aumento da profundidade (Figura 2). Enquanto a diferença entre as estações do ano da amplitude térmica a 5 cm foi praticamente igual no outono, inverno e verão (1,4 °C), a 2 cm e 20 cm de profundidade, a amplitude foi menor no verão, sendo 1,9 °C e 0,4 °C, e maior na primavera, como 2,5 °C e 0,9 °C, respectivamente. Em parte, este comportamento não seguiu a mesma característica da temperatura do ar medida no interior da floresta, que apresentou menor amplitude no verão e primavera (em torno de 7,5 °C) e maior no inverno e outono (em torno de 8,5 °C).

Pezzopane et al. (2002) em estudo numa floresta estacional semidecidual secundária, no município de Viçosa, estado de Minas Gerais, também encontraram uma redução na amplitude térmica do solo durante o verão. Explicam que apesar da maior disponibilidade energética, essa menor amplitude térmica na estação mais quente do ano, deve-se ao maior teor de água no solo, que durante o dia fez com que o fluxo de calor latente (evaporação) aumentasse, diminuindo, assim, o fluxo de calor para o solo. Além disso, o preenchimento do espaço poroso do solo pela água aumenta sua condutividade térmica, fazendo com que a transferência de calor para as camadas mais profundas seja mais eficiente evitando maior aquecimento das camadas superficiais. Durante a noite, no solo úmido, a taxa de resfriamento é menor, pois a água possui calor específico maior que o ar. Ressalta-se que assim como em Viçosa, na região de Águas Mornas, o verão é a estação mais chuvosa, possibilitando um solo mais úmido.

Rodrigues et al. (2011) reforçam esta redução na amplitude térmica com o aumento na profundidade, principalmente num solo coberto em que a incidência de radiação solar direta é mínima. Como consequência, afirmam que numa floresta tropical úmida, a variação ocorrida em populações de bactérias com a profundidade do solo, tem relação direta com variações na temperatura do solo na mesma profundidade, ou seja, para cada pequeno aumento na temperatura, há um ligeiro aumento na população de bactérias e vice-versa.

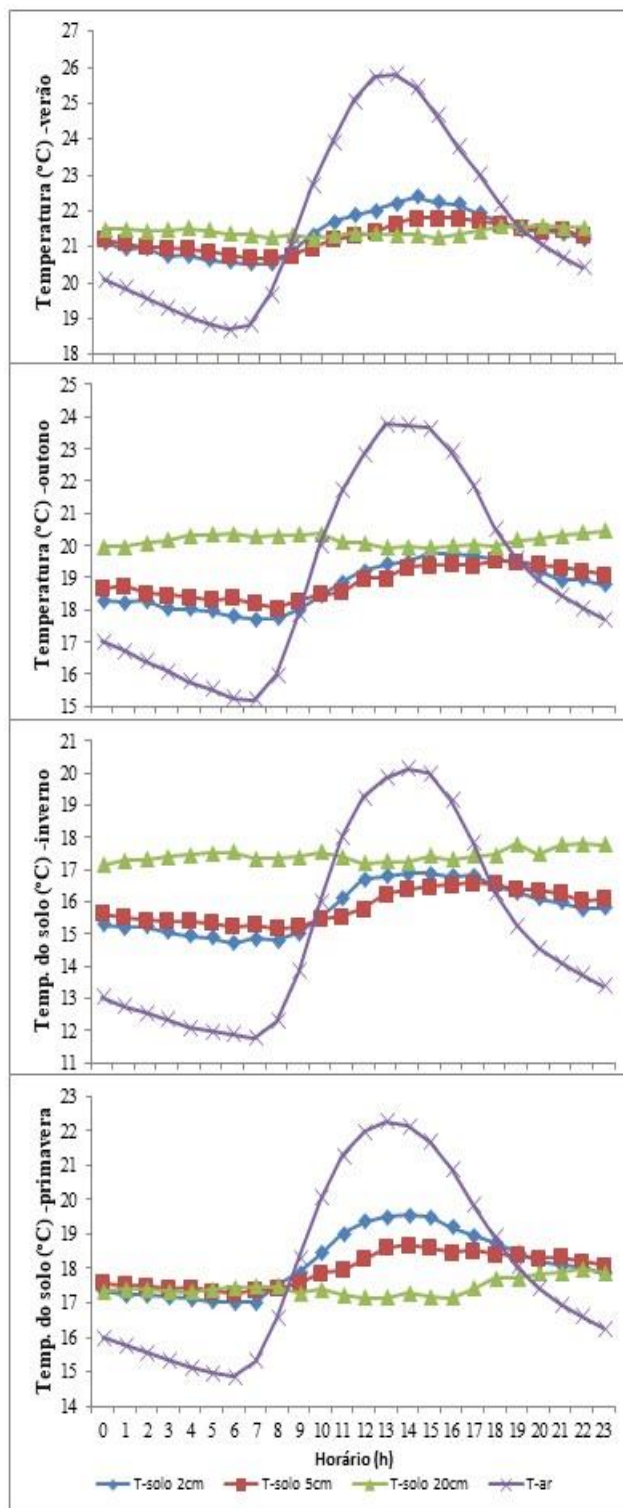


Figura 2. Médias horárias da temperatura do ar e temperatura do solo a 2 cm, 5 cm e 20cm de profundidade obtidas no interior de floresta durante o verão, outono, inverno e primavera. Fonte: o autor.

Carneiro et al. (2013) acrescentam que uma maior variação nas camadas até 10 cm de profundidade, deve-se a maior difusividade térmica nesta faixa de solo, mesmo que não tenham sido detectadas diferenças significativas na variação da temperatura do solo ao longo do dia para as áreas com e sem cobertura por

serapilheira. No interior de qualquer floresta a serapilheira aumenta a retenção de água precipitada potencializando o seu processo de infiltração no solo e modificando o balanço de radiação e de energia, pois esta cobertura intercepta a radiação solar impedindo que esta atinja diretamente o solo (Rodrigues et al., 2010).

Apesar de estar a 2 cm da superfície, observa-se em todas as estações do ano, um atraso na ocorrência da temperatura máxima de uma a duas horas, em relação ao momento de maior intensidade de radiação solar. O mesmo é observado a 5 cm na primavera, já que, no outono e inverno, esse atraso foi de cinco a seis horas e, no verão, uma discreta defasagem de 3 horas. Estas defasagens observadas a 2 cm e 5 cm, equivalem ao observado nas profundidades de, respectivamente, 10 cm e 20 cm num solo sem vegetação, homogêneo, de densidade e umidade constantes ao longo de diferentes profundidades e exposto à radiação solar (Reichardt; Timm, 2004). Esse diferencial na defasagem pode ser explicado pelo dossel da floresta que atenua a radiação solar global, ficando a cargo da temperatura do ar a principal responsável pela energia fornecida ao solo que, por sua vez, em condições normais da atmosfera tem a mesma defasagem na ocorrência da temperatura máxima do ar. Quanto ao observado na profundidade de 5 cm, durante o outono e inverno, a explicação pode ser o aumento de serapilheira que acrescenta ainda mais proteção ao solo, dificultando a troca de energia entre solo-atmosfera. Essa tendência de aumento na defasagem com a profundidade também foi atestada por Bergamaschi e Bergonci (2017) ao fazerem um comparativo de que enquanto as temperaturas máximas junto à superfície ocorrem logo após o meio-dia, a 40 cm de profundidade, elas se dão próximo às 22 h. Do mesmo modo, as temperaturas mínimas junto à superfície manifestam-se logo após o nascer do sol, ao passo que, a 40 cm de profundidade, elas serão observadas próximo ao meio-dia.

Carneiro et al. (2013) realizaram um estudo de caso da variação da temperatura do solo na floresta amazônica, em Manaus (Amazonas), e na mata atlântica, em Coruripe (Alagoas), em cinco profundidades entre 1 cm a 50 cm, para um mês considerado chuvoso e outro seco. No mês chuvoso que melhor se compara ao regime pluviométrico de Águas Mornas, a variabilidade da temperatura do solo apresentou pequena oscilação diária, sendo de 1,2 °C e 1 °C, na floresta amazônica e na mata atlântica, respectivamente, ou seja, comportamento semelhante ao observado no presente estudo.

Em média, a temperatura do solo diária, mínima e máxima a 2 cm (20 cm) de profundidade, registradas no outono e na primavera (inverno e primavera) são iguais entre si (Tabela 1). Essa situação de igualdade não foi observada em nenhum momento entre as estações do ano com a temperatura do solo medida a 5 cm.

Tabela 1. Média e coeficiente de variação (CV)¹ da temperatura do solo diária (T_{dia}), mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) a 2 cm, 5 cm e 20 cm de profundidade durante o verão, outono, inverno e primavera. Fonte: o autor.

Média (°C)	2 cm			5 cm			20 cm		
	T_{dia}	T_{min}	T_{max}	T_{dia}	T_{min}	T_{max}	T_{dia}	T_{min}	T_{max}
Verão	21,4 a	20,4 a	22,5 a	21,3 a	20,6 a	21,9 a	21,4 a	21,2 a	21,7 a
Outono	18,8 b	17,7 b	19,9 b	18,9 b	18,2 b	19,6 b	20,3 b	19,8 b	20,8 b
Inverno	15,8 c	14,7 c	17,1 c	15,9 c	15,2 c	16,6 c	17,5 c	16,8 c	18,2 c
Primavera	18,2 bd	17,0 bd	19,9 bd	18,1 d	17,4 d	18,8 d	17,6 cd	17,1 cd	18,0 cd
CV (%)	T_{dia}	T_{min}	T_{max}	T_{dia}	T_{min}	T_{max}	T_{dia}	T_{min}	T_{max}
Verão	5,0 a	5,3 a	5,6 a	4,3 a	4,4 a	4,5 a	4,7 a	4,7 a	4,7 a
Outono	10,3 b	12,1 b	9,4 b	9,2 b	10,3 b	8,5 b	10,2 b	10,5 b	10,2 b
Inverno	10 b	10,9 bc	10,4 b	9,5 b	10,4 b	9,4 b	9,5 bc	11,2 b	9,3 bc
Primavera	8,9 b	9,8 c	10,5 b	7,0 b	7,8 b	7,4 b	12,7 bd	12,8 b	12,2 bd

¹ Médias e CV com letras iguais entre linhas de uma coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% (são iguais), pelo teste t-Student e de Fligner-Kileen, respectivamente.

A temperatura do ar e a radiação solar global estão entre os principais fatores externos influentes na variação da temperatura do solo. A radiação solar ao atingir a superfície terrestre, transmite energia radiante que através dos processos de radiação, convecção e condução, promovem a transferência de energia, o aquecimento do ar e do solo, respectivamente, sendo o propulsor das variações de temperatura nesses meios (Reichardt; Timm, 2004).

Por isso, respondendo ao regime heliotérmico climático da atmosfera na região, o verão e o inverno foram às estações do ano em que se tem as maiores e menores médias de temperatura do solo, respectivamente, nas três profundidades analisadas. Um dos fatores mais importantes que influem no microclima é a atenuação da radiação solar pelo dossel das florestas naturais, por atuar diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais. A transmissão de radiação solar a 2 m de altura para o interior de uma floresta semidecídua foi influenciada pela época do ano e variou de 3,3% a 8,2%, para o verão e o inverno (Hernandes et al., 2004). No estudo em Águas Mornas, a exceção foi encontrada para as temperaturas a 20 cm onde, em média, foram maiores que as registradas a 2 cm e 5 cm durante o inverno e outono, isto é, nessas duas estações do ano, o solo armazena mais calor na camada mais profunda. Souto et al. (2008) chamam a atenção que as diferentes condições climáticas ocasionadas

pelas estações do ano alteram as relações que ocorrem entre o solo e a cobertura vegetal, especialmente nas regiões subtropicais. Sendo assim, a atividade microbiana do solo também apresentará flutuação intra-anual, principalmente nos primeiros centímetros onde a umidade e a temperatura são mais sensíveis.

Tabela 2. Equações de regressão para estimativa de temperatura do solo diária, pentadal e decenal em floresta a 2 cm, 5 cm e 20 cm de profundidade e respectivos coeficientes de determinação (R^2), de correlação (r), F calculado, valor- p e do erro padrão de estimativa (EPE). Fonte: o autor.

Tsolo 2 cm	R^2	r	$F_{\text{calculado}}$	valor-p	EPE
$T_{\text{solo_dia}} = 5,763161 + 0,696819 \cdot T_{\text{ar}}$	0,90	0,95	2341,8	0,0000	0,82
$T_{\text{solo_5dias}} = 4,631157 + 0,757554 \cdot T_{\text{ar}}$	0,96	0,98	1100,4	0,0000	0,54
$T_{\text{solo_10dias}} = 4,196122 + 0,779649 \cdot T_{\text{ar}}$	0,97	0,98	628,8	0,0000	0,49
Tsolo 5 cm					
$T_{\text{solo_dia}} = 7,064772 + 0,630029 \cdot T_{\text{ar}}$	0,86	0,93	1426,4	0,0000	0,94
$T_{\text{solo_5dias}} = 5,162876 + 0,727059 \cdot T_{\text{ar}}$	0,93	0,96	596,2	0,0000	0,73
$T_{\text{solo_10dias}} = 5,142814 + 0,731609 \cdot T_{\text{ar}}$	0,95	0,98	407,6	0,0000	0,56
Tsolo 20 cm					
$T_{\text{solo_dia}} = 10,33826 + 0,51048 \cdot T_{\text{ar}}$	0,66	0,82	412,2	0,0000	1,37
$T_{\text{solo_5dias}} = 9,103700 + 0,575367 \cdot T_{\text{ar}}$	0,75	0,86	115,3	0,0000	1,16
$T_{\text{solo_10dias}} = 9,336467 + 0,564633 \cdot T_{\text{ar}}$	0,74	0,86	52,3	0,0000	1,07

Os coeficientes de variação das temperaturas do solo diária entre as estações do ano mostram que no verão, a variação dos registros é menor (entre 4,3% a 5,6%) em todas as profundidades, diferindo estatisticamente em relação a dispersão dos dados das demais estações. Ademais, entre as temperaturas diárias e máximas do solo obtidas na primavera e no inverno, também há diferença nos dados a 20 cm de profundidade, sendo maior a variabilidade na primavera.

Todas as correlações realizadas entre a temperatura do solo nas três profundidades estudadas com a temperatura do ar nas escalas diária, pentadal e decenal foram estatisticamente significativas ao nível de 1% ($p < 0,01$), sendo maiores (menores) os coeficientes de regressão, quanto maior a escala temporal (a profundidade), conforme apresentados na Tabela 2. O erro padrão de estimativa (EPE) segue a mesma tendência, atestando que quanto maior a escala temporal, mais próximas as observações estão da linha de regressão. Assim, como exemplos, em média os modelos de regressão encontrados para a estimativa de temperatura do solo a 2 cm e 5 cm possuem um erro inferior a 1 °C. A temperatura do ar explicou mais de 90% a variação da temperatura do solo nessas duas profundidades, com uma discreta ressalva a 5 cm

na escala diária, onde o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,86, ou seja, nesses casos os modelos obtidos se ajustaram bem aos dados.

Tabela 3. Indicadores do desempenho na estimativa diária, pentadal e decendial da temperatura do solo em floresta a 2 cm, 5 cm e 20 cm de profundidade. Fonte: o autor.

	EQM	d	EM	r	Desempenho (c)
Tsolo_dia (2 cm)	0,87	0,95	0,21	0,92	Ótimo
Tsolo_5 dias (2 cm)	0,63	0,96	0,13	0,93	Ótimo
Tsolo_10 dias (2 cm)	0,54	0,96	0,01	0,93	Ótimo
Tsolo_dia (5 cm)	1,34	1,00	0,65	0,80	Muito Bom
Tsolo_5dias (5 cm)	0,80	0,88	0,36	0,82	Bom
Tsolo_10 dias (5 cm)	0,98	0,89	0,55	0,90	Muito Bom
Tsolo_dia (20 cm)	3,17	0,56	2,30	0,47	Péssimo
Tsolo_5 dias (20 cm)	3,04	0,57	2,25	0,52	Péssimo
Tsolo_10 dias (20 cm)	3,01	0,58	2,22	0,61	Péssimo

A Tabela 3 mostra o desempenho na estimativa de temperatura do solo no interior de floresta com os modelos de regressão estatisticamente significativos. Num contexto geral, os desempenhos responderam as regressões lineares obtidas, ou seja, foram melhores quanto maior (menor) a escala temporal (a profundidade). A 2 cm de profundidade para todas as escalas temporais, os índices de concordância associados com os coeficientes de correlação superiores a 0,90, resultaram num ‘ótimo’ desempenho nos modelos em prever a temperatura do solo, com uma tendência de superestimar aos valores observados em até 0,21 °C. Em média, a diferença dos valores estimados em relação aos observados a 2 cm foi inferior a 1 °C, mais especificamente de 0,87 °C, 0,63 °C e de 0,54 °C, na temperatura do solo diária, pentadal e decendial, respectivamente. A 5 cm de profundidade, os modelos tiveram um desempenho ‘bom’ e ‘muito bom’ e também tendem a superestimar a temperatura do solo. Tendência contrária ao encontrado por Wu e Nofziger (1999) que incluíram a temperatura do ar numa função senoidal para obter a variação anual da temperatura média diária do solo em diferentes profundidades (5 cm, 40 cm, 80 cm e 160 cm) e encontraram uma tendência do modelo em subestimar em cerca de 2 °C, porém, em um solo descoberto.

Apesar das regressões terem sido estatisticamente significativas a 20 cm de profundidade, os modelos tiveram um ‘péssimo’ desempenho na estimativa da temperatura do solo, com uma diferença em relação aos dados observados (EQM) de, em média, superior a 3 °C.

Uma opção para tornar viável a estimativa da temperatura do solo a 20 cm com um melhor desempenho nesse ambiente de floresta é realizar uma calibração do modelo, podendo recorrer a alguns dos próprios indicadores apresentados na Tabela 3, pois com uma diferença média de 3 °C, não se recomenda o uso de modelos para estimativa nessa profundidade.

No entanto, é um alento o fato dos resultados quanto a estimativa da temperatura do solo a 2 cm e 5 cm terem sido satisfatórios, em consideração a dificuldade em se obter este tipo de informação e a sua importância para o ecossistema de floresta. Estudos que dependem da temperatura do solo poderão ser mais facilmente executados, como afirmam Bastida et al. (2008) ao considerar os fatores climáticos como os principais causadores das mudanças sazonais observadas na taxa de decomposição devido as alterações na decomposição de várias enzimas extracelulares.

CONCLUSÕES

- A amplitude térmica diária no solo é menor no verão a 2 cm e 20 cm de profundidades.
- Em média, a temperatura do solo diária, mínima e máxima a 2 cm (20 cm) de profundidade, registradas no outono e na primavera (inverno e primavera) são iguais entre si.
- Pode-se estimar a temperatura do solo a 2 cm e 5 cm de profundidade no interior de uma floresta ombrófila densa em função da temperatura do ar obtida nesse ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonsi RR, Sentelhas PC (1996) Estimativa da temperatura do solo através da temperatura do ar em abrigo meteorológico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 4(2): 57-61.
- Alvares CA et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Azevedo TR de, Galvani E (2003) Ajuste do ciclo médio mensal horário da temperatura do solo em função da temperatura do ar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11(2): 123-130.
- Baldrian P et al. (2013) Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. *Soil Biology & Biochemistry*, 56: 60-68.
- Bastida F et al. (2008) Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. *Applied Soil Ecology*, 38: 62-70.
- Bergamaschi H, Guadagnin MR (1993) Modelo de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 1(1): 95-99.
- Bergamaschi H, Bergonci JI (2017) *As plantas e o clima: princípios e aplicações*. Guaíba, RS: Agrolivros. 351p.


- Brunini O et al. (1976) Estudo micrometeorológico com cenouras (var. Nantes). II – influência da temperatura do solo. *Bragantia*, 35: 49-54.
- Carneiro RG et al. (2014) Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata Atlântica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(1): 99-108.
- Carneiro RG et al. (2013) Estudo da temperatura do solo em dois biomas florestais nos períodos chuvoso e seco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4): 1009-1022.
- Camargo AP, Sentelhas PC (1997) Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira Agrometeorologia*, 5(1): 89-97.
- Decico A et al. (1977) Estudos climatológicos da reserva florestal Ducke, Manaus, AM. *Acta Amazônica*, 7: 485-494.
- George RK et al. (2001) Prediction of soil temperature using artificial neural networks. *Journal of Agrometeorology*, 3: 169-173.
- Graham EA et al. (2010) Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4): 640-649.
- Hernandes JL et al. (2004) Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semi-decídua. *Revista Árvore*, 28(2): 167-172.
- IBGE (2021). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados de Informações Ambientais. Disponível: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso: 17 fev. 2021.
- Kang S et al. (2000) Prediction spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature. *Forest Ecology Management.*, 136(1-3): 173-184.
- Oliveira FD et al. (1979) Temperatura do solo, a 2 cm de profundidade, como resposta a temperatura do ar. *Revista Ceres*, 26(144): 205-215.
- Pezzopane JEM et al. (2002) Temperatura do solo no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10(1): 1-8.
- Ramana Rao TV (2005) Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4): 307-311.
- Reichardt K (1993) *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. Piracicaba: USP/ESALQ. 505p.
- Reichardt K, Timm LC (2004) *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. Barueri: Manole. 478p.
- Rodrigues BD et al. (2010) Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em área degradada. *Revista Árvore*, 34(1): 65-73.

- Rodrigues HJB et al. (2011) Variabilidade quantitativa de população microbiana associada as condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(4): 629-638.
- Souto PC et al. (2008) Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(1): 151-160.
- Stathers RJ et al. (1985) Modelling soil temperature in forest clearcuts using climate station data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36(2): 153-164.
- Tenge AJ et al. (1998) Diurnal soil temperature fluctuations for different erosion classes of an oxisol at Mlingano, Tanzânia. *Soil Tillage Research*, 49(3): 211-217.
- Willmott CJ (1981) On the validation of models. *Physical Geography*, 2: 184-194.
- Wu J, Nofziger DL (1999) Incorporating temperature effects on pesticide degradation into a management model. *Journal Environmental Quality*, 28(1): 92-100.

Caracterización morfofisiológica de un bosque natural mixto en “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México

Recebido em: 01/05/2022


Aceito em: 04/05/2022


 10.46420/9786581460334cap4

Leandris Argente-Martínez^{1*} 


Ofelda Peñuelas-Rubio¹ 


José Aurelio Leyva Ponce¹ 

Julio Cesar García Urías¹ 

Martina Hilda Gracia-Valenzuela¹ 

Jorge González Aguilera² 

Ovidio Alejandro Villaseñor-López³ 

Alan Mario Zuffo⁴ 

INTRODUCCIÓN

La Sierra Madre Occidental (SMO) es el complejo montañoso más largo y continuo de México, extendiéndose casi desde la frontera con Estados Unidos hasta el norte de Jalisco (Ferrari et al., 2018), con una extensión de 28 900 000 ha. En esta región, la existencia de bosques tiene un gran valor económico y ambiental por captar la mayor parte del agua que abastece a los mantos freáticos del noroeste que permiten irrigar amplias zonas de cultivo (Ortega-Rosas et al., 2008) y las cuencas hidrográficas como el Río Yaqui. Además, estos bosques coadyuvan a abastecer de agua y sedimentos a los manglares de marismas nacionales del noroeste (Descroix et al., 2004).

Los bosques existentes en la SMO contribuyen a la captura y balance carbonado para impedir el aumento de la temperatura debido a la concentración de CO₂ atmosférico. González-Elizondo et al. (2013) reportó una alta diversidad de especies en la SMO, entre ellas pinos, encinos y madroños, los cuales captan considerable cantidad de carbono, con la consecuente incorporación de oxígeno y de agua al ecosistema (Jiménez et al., 2018).

Mantener áreas boscosas, entonces, tiene importancia que va más allá de lo económico a lo ecológico. En México, se han establecido normas nacionales para la conservación de áreas protegidas

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Calle 600, Block 611, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, México. C. P. 85275

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, MS, Brasil CP 79560-000.

³ Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Dr. Norman E. Borlaug Km. 14 S/N. Col. Cajeme, Sonora, México, CP: 85204.

⁴ Departamento de Agronomía, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Balsas, Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

* Autor(a) correspondente: oleinismora@gmail.com, Teléfono: +52 (644) 192 3560.

precisamente por su contribución a la purificación del ambiente, sin embargo, estas normas no son del todo atendidas (CONAFOR, 2010).

En el municipio de Yécora, Sonora, que forma parte de la SMO, Van Devender et al. (2013) realizaron algunos de los primeros estudios de diversidad de especies, y Dávila et al. (2018) registraron 1 776 especies en 330 000 ha. Villanueva-Díaz et al. (2018) reportaron que la flora existente en Yécora, era la mayor del Estado de Sonora, sin embargo, cada año la pérdida de la diversidad forestal en esta región es más significativa (Scheinvar et al., 2018). Actualmente, el avance de la deforestación en Yécora demuestra que se ha soslayado la importancia de sus áreas boscosas, las cuales actualmente son catalogadas en una situación de “grave deforestación” (Hernández et al., 2018). Esta situación se debe fundamentalmente a las prácticas irracionales de tala (Ramírez et al., 2011) y al desconocimiento de la contribución de los bosques al balance hídrico, carbonado y a la funcionalidad del ecosistema (Gómez et al., 2018).

Es conocida la importancia de la actividad fotosintética en las plantas por los aportes a la purificación del aire y por su contribución al ciclo hidrológico (Salmon et al., 2020). Existen evidencias de que la fotosíntesis está muy relacionada con la eficiencia de uso de minerales como el nitrógeno y el fósforo, siendo más eficientes las especies forestales que las de cultivo tradicional en el uso de estos macronutrientes (Hikosaka, 2004). En particular la actividad fotosintética en especies forestales contribuye significativamente al engrosamiento de los tallos (crecimiento radial) (De Roo et al., 2020), por lo que su alta eficiencia de carbolixilación se pudiera correlacionar con el volumen maderero, cuestión que puede corroborarse con el uso de isótopos estables de carbono y oxígeno, principalmente, para evaluar la fotosíntesis integrada en el tiempo (Argentel-Martínez et al., 2019).

Dada la importancia económica, ecológica y ambiental de los bosques, se realizan importantes esfuerzos destinados a su preservación, tal es el caso de un bosque ubicado en la localidad de “La Mesa del Campanero”, del municipio de Yécora, Sonora, México donde se realizó una caracterización de un bosque natural sin manejo a partir de variables morfológicas, dasométricas y fisiológicas, relacionadas con la contribución de las especies allí existentes a la captura de CO₂ y a la eficiencia de uso del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

El estudio se desarrolló, en una parte de un área natural protegida al sur del estado de Sonora, específicamente en La Mesa el Campanero, perteneciente al municipio de Yécora (Figura 1).

Esta región está situada a 2 389 metros de altitud sobre el nivel medio del mar, en las coordenadas: 28° 15' 01" N y 109° 00' 58" W. La temperatura media es de 22 °C, donde generalmente ocurren lluvias

durante los meses de julio a septiembre, presentando una precipitación promedio anual de 1 023 mm, por lo que es la región de mayor volumen de precipitaciones del estado de Sonora (Olave et al., 2018).

La Mesa del Campanero tiene una superficie de 43 ha y se categoriza como zona sujeta a conservación ecológica, formando parte del corredor biogeográfico de la SMO y de la Cuenca de los ríos Yaqui y Mayo. En esta región se tiene como objetivo salvaguardar la integridad biológica y ecológica por medio de la regulación de actividades económicas como la tala (Atkinson, 2019).

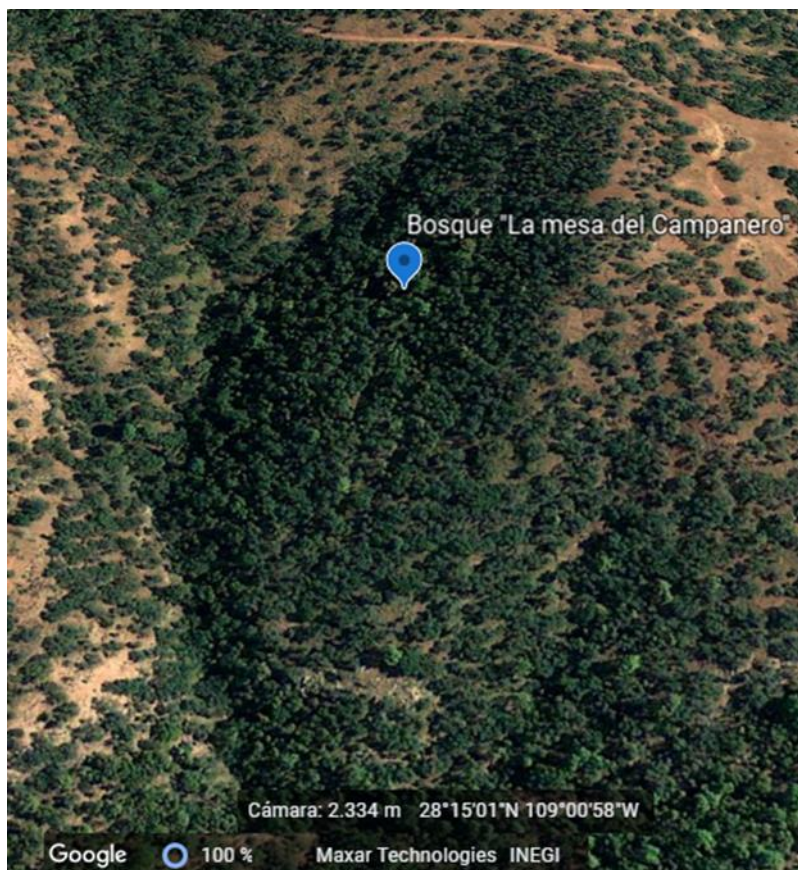


Figura 1. Sitio Experimental donde se encuentra el bosque “La mesa del Campanero”.

Diseño experimental

El área de estudio tuvo una superficie de 18 ha. Para las evaluaciones se conformaron tres bloques y en cada bloque se establecieron tres parcelas cuadradas de 100 m² siguiendo un diseño experimental, ajustado al área, de bloques al alzar dada la existencia de una pendiente media de 4.5%. Los bloques se establecieron perpendicularmente al sentido de la pendiente quedando ubicados de la siguiente forma: Bloque I: en la parte más alta; Bloque II en la parte media; y Bloque III: parte baja.

Variables evaluadas

Densidad del rodal: se cuantificó siguiendo la metodología propuesta por Malmberg y Smith (1982) y se contó el número de especies y cantidad de individuos de cada especie en cada rodal, expresado en base a una hectárea. Cuando se realizaba esta medición se tomaron los datos de la cantidad de género y especies, haciendo uso de las claves taxonómicas para facilitar el inventario, y a partir de estos datos se determinaron las frecuencias según la metodología empleada por Verdugo et al. (2010).

Diámetro normal del fuste: para determinar el diámetro normal (DN) a una altura de 1.3 m, se siguió la metodología propuesta por González et al. (2018). Se consideró un diámetro mínimo de 0.15 m para considerarlo parte del arbolario. Se empleó una cinta diametral (TRUPER) de 5 m.

Altura del fuste: (AF) Se realizó hasta la sesión de cruce o altura del primer verticilo vivo, empleando un hipsómetro (SUUNTO) de fabricación alemana con una precisión del 99.3%. Se tomaron tres clases de altura (porte bajo (2.5- 5.0 m), medio (5.1- 8.0 m.) y alto (altura mayor de 8.1 m) (González et al., 2018).

Mediciones de la copa

se determinó la altura de la copa (HC) con el hipsómetro antes mencionado, tomando la altura como la diferencia entre la lectura obtenida en la parte terminal del árbol y la altura del primer verticilo vivo, siguiendo la metodología propuesta por (López; Nieto de Pascual, 2019). El diámetro de la copa (DC) se obtuvo mediante la semisuma de dos medidas del diámetro de manera perpendicular. Con los datos obtenidos a partir de estas mediciones se determinó el índice de copa viva (ICV) mediante el cociente de la altura de la copa y la altura total del árbol.

Intercambio de gases de las especies encontradas

El intercambio de gases se midió en hojas totalmente expuestas a la radiación solar directa, en los meses de abril-junio a intervalos quincenales, se utilizó un sistema portátil (LI-6 400XT, LI-COR, Inc.) que mide concentración de CO₂ y vapor de agua mediante un espectrómetro que opera en el espectro infrarrojo del equipo (IRGA, analizador de gases en el espectro infrarrojo). Las mediciones se realizaron entre las 10:00 am y las 11:00 am en días soleados. Para esta medición, en cada hoja muestreada se tomaron tres repeticiones a intervalos de 8 s. En cada planta se muestreaban tres hojas bien expuestas a la radiación solar directa. Se utilizaron cámaras de luz natural para muestras normales y una para coníferas. Las hojas se insertaron, por su parte central, en la cámara de intercambio gaseoso de 3.0 x 2.0 cm (similares dimensiones para ambos tipos de cámara). Todas las mediciones se realizaron con una intensidad luminosa superior a 1 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y con una concentración de CO₂ de 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ con un caudal constante de 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$. Las variables medidas fueron la fotosíntesis máxima (A max) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y

transpiración (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A partir de estas dos variables se determinó la eficiencia de uso de agua (Guerrieri et al., 2019).

Análisis estadísticos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos teóricos de normalidad de varianza y homogeneidad de los datos (Kolmogorov, 1933), se determinaron los indicadores estadísticos: media, desviación estándar y se elaboraron gráficas de estadística descriptiva como la frecuencia por género y especies. También se realizó un análisis de varianza de clasificación doble, basado en un modelo lineal de efecto fijo con arreglo factorial (Fisher, 1937) para las variables dasométricas y fisiológicas. Cuando existieron diferencias significativas entre las medias de estas variables, se usó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Tukey, 1960) para un nivel de significación del 1% ($p < 0.01$). En estos análisis se determinaron los indicadores estadísticos: error estándar de la media (SE), coeficiente de variación (CV) y de determinación sin ajustar (R^2).

Para analizar las variables de manera combinada y poder establecer similitudes morfológicas y fisiológicas entre las especies encontradas en el bosque, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico de ligamento completo basado en una matriz de distancia euclidiana (Rohlf; Fisher, 1968). Para todos los análisis se empleó el paquete estadístico profesional ESTADÍSTICA, versión 8.0 (Windows).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad del rodal en los bloques establecidos

En el estudio realizado se encontró una densidad promedio de 932 árboles por hectárea, clasificando como densidad alta, sin existir diferencias significativas entre los bloques establecidos ($p=0.0632$), (Figura 2), lo que demuestra que la pendiente del suelo no influyó significativamente en la diversidad y distribución natural de las especies y que estas fueron creciendo de manera uniforme sin que se produjeran emergencias o muertes por efecto de la pendiente. Además, este resultado alude a que no existió intervención del hombre para regular la densidad, por lo que clasifica como un bosque sin manejo.

En la caracterización de los rodales, la densidad ha sido un indicador eficiente para calcular el grado de ocupación del arbolado de un lugar específico en un tiempo dado. La densidad es una de las pocas variables que representan de manera sencilla y objetiva la estructura de las áreas forestales (García et al., 2019).

Actualmente tanto para bosques con manejo como los sin manejo, las guías de densidad son un instrumento eficaz y práctico en la planeación de los tratamientos silvícolas (García et al., 2019), aunque en el bosque objeto de estudio la intención es mantener el mínimo manejo intencionado del ecosistema. Aun así, quizás para efectos de una mejor distribución de la luz en el área foliar fotosintéticamente activa,

podieran ser aplicados aclareos y el crecimiento de los fustes sería más uniforme en las especies existentes. Con un estudio más detallado de la línea de aclareo se pudiera tomar decisiones sobre cuándo y cómo eliminar en cada etapa de desarrollo del arbolado los individuos de menor tasa de desarrollo lo que permitiría una mayor productividad del bosque (Návar-Cháidez; Jurado-Ybarra, 2009).

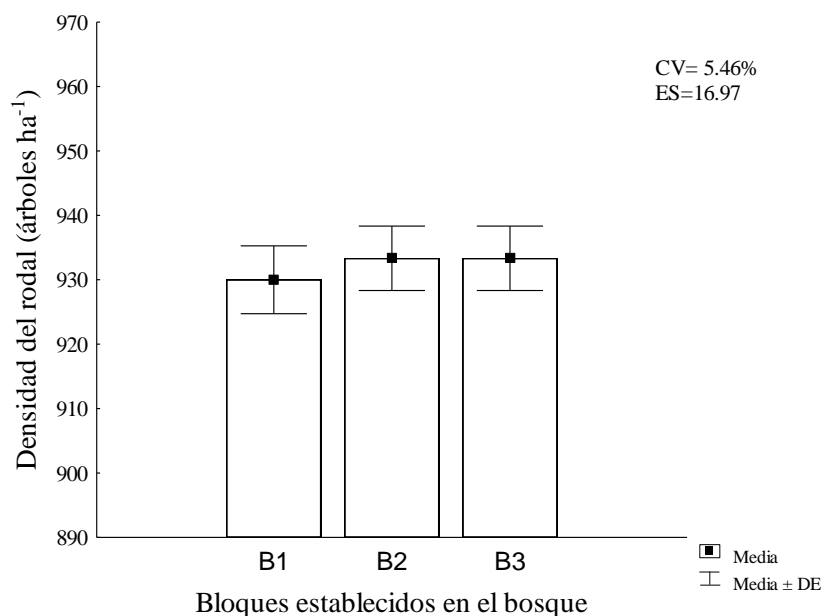


Figura 2. Densidad de los rodales conformados en los bloques experimentales establecidos en el bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. CV: coeficiente de variación; ES, error estándar; DE: desviación estándar.

Frecuencia de las especies

En el bosque se encontraron un total de nueve especies (Figura 3) pertenecientes a los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus*. Las mayores frecuencias la presentaron las especies *Pinus engelmannii* Carr y *Q. rugosa* con 23% y 22%, respectivamente, seguidas por *Pinus yecorensis* con una frecuencia del 12%. Las especies de menor frecuencias fueron *Abies durangensis* var. *coahuilensis* y *A. unedo* con 3.5% y 2%, respectivamente.

Es muy frecuente, debido fundamentalmente a las bajas temperaturas, encontrar alta frecuencia de pino y encino en la SMO, principalmente en la región de Yécora que colinda al noroeste con el Estado de Chihuahua (Paredes et al., 2020). Por su parte, *A. unedo* que presentó la menor frecuencia tiene condiciones de hábitat para desarrollarse a esta altitud donde se realizó el estudio (más de 2 000 m snm). El principal hábitat de *A. unedo* es en los encinares, alcornocales y en los matorrales mal manejados y deforestados con gran degradación en los suelos. Además, se puede encontrar esta especie forestal en terrenos calcáreos o

ácidos, debido a su buena adaptación a suelos secos y profundos, aunque requiere un clima de temperatura entre 2-18 °C.

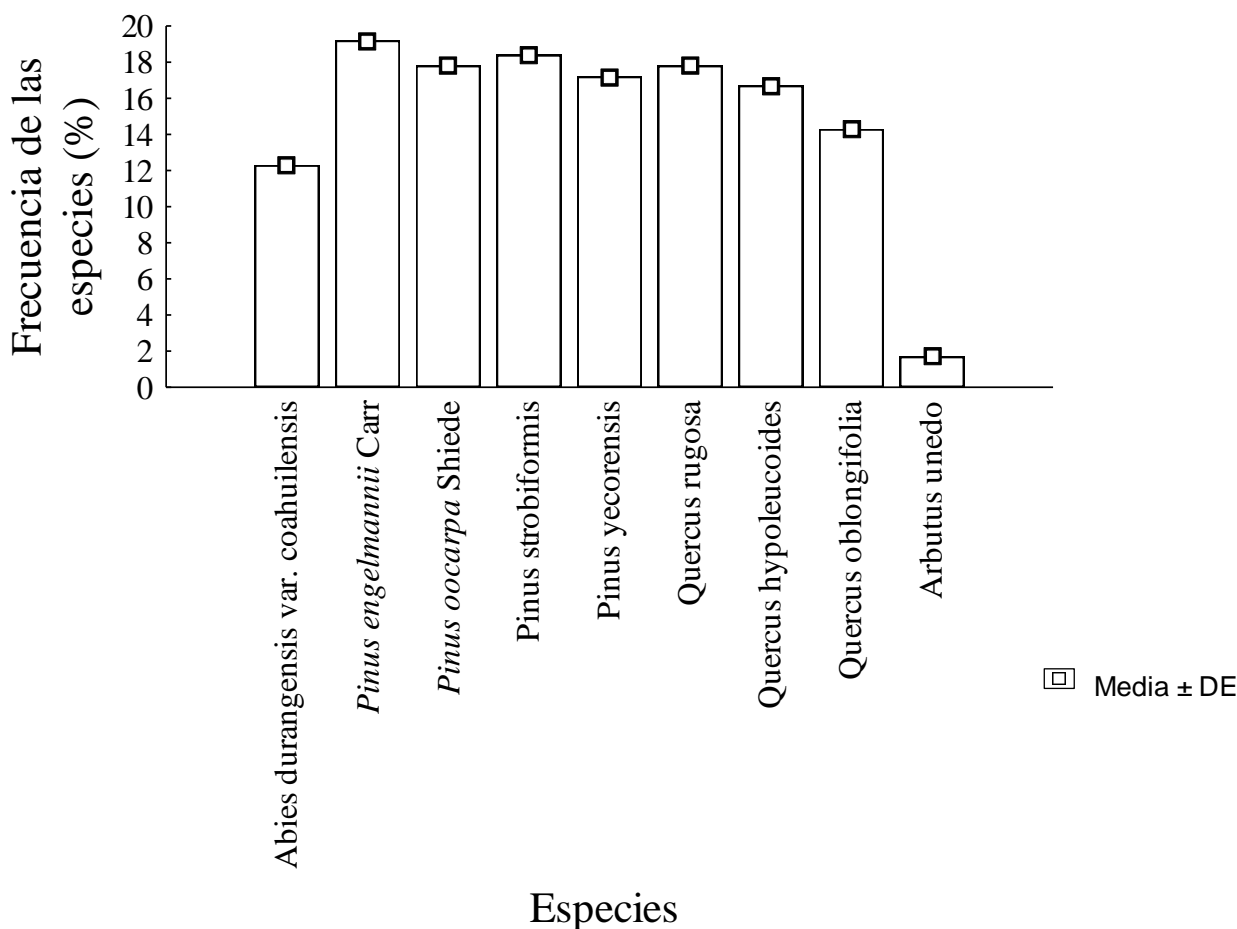


Figura 3. Frecuencia de especies existentes en el bosque de “La Mesa del Campanero” Cuadros sobre las columnas representan la media \pm desviación estándar (DE).

A. unedo tiene capacidad y adaptabilidad a condiciones de baja iluminación por lo que es adaptable a bosques donde otras especies han crecido y son dominantes como los pinos y los encinos en el presente estudio. Esta es una especie de gran utilidad para curtir las pieles a nivel artesanal y son utilizados en medicina popular como astringente natural por su contenido abundante y diverso de compuestos fenólicos y taninos en hojas y corteza (Carrillo; Almagro, 2018). Por la importancia de esta especie su estudio detallado, incluyendo mecanismos fisiológicos adaptativos y su capacidad de reproducción, permitiría identificar formas de propagación para incrementar la frecuencia en las áreas boscosas de la SMO.

Frecuencia por género

Los géneros encontrados presentaron frecuencias de 56.0%, 43.0% y 0.8%, respectivamente para *Pinus*, *Quercus* y *Arbutus*. La existencia de una mayor frecuencia de los géneros *Pinus* y *Quercus* (Figura 4)

demuestra el grado de asociación natural de estas dos especies en muchas regiones altas de la SMO donde las bajas temperaturas favorecen su desarrollo (Villanueva-Díaz et al., 2018).

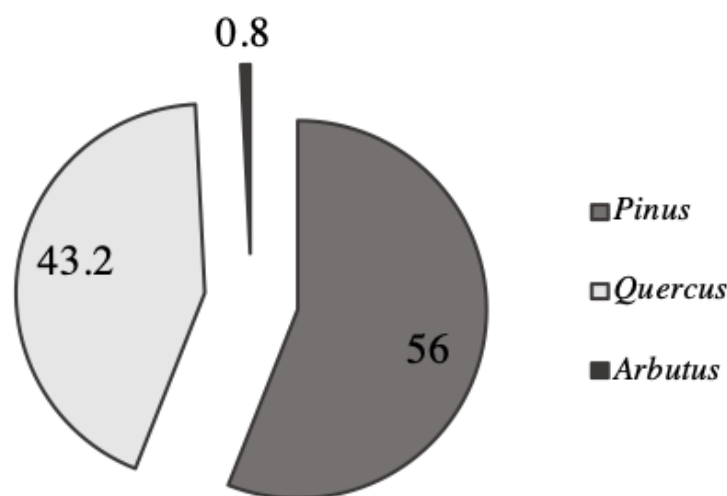


Figura 4. Frecuencia de los géneros encontrados en el Bosque de “La Mesa del Campanero” expresada en porcentaje (%).

Existen algunos reportes que establecen que los bosques de pino-encino albergan la más alta diversidad florística en México (González-Rodríguez et al., 2019) y sostienen que la SMO es particularmente rica en esta asociación natural, ya que posee la mayor superficie con bosques templados en el país, con una tendencia a ser bosques naturales. Algunos autores denominan bosques naturales a aquellos donde la mano del hombre no ha intervenido para la obtención intencionada de madera y solo se realizan trabajos de conservación (García et al., 2019; Otavo; Echeverría, 2017).

Entre las áreas que han sido reconocidas como megacentros de diversidad, por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en México se encuentra el norte de la SMO (González-Elizondo et al., 2011). Ávila-González et al. (2019) publicaron que encontraron más de 2 800 especies de plantas para la cuenca del Río Mayo, en el declive occidental de la SMO, mientras que en otros reportes se han documentado 2 081 especies para el área Huichola, en el extremo sur de la SMO, la cual cuenta con la mayor diversidad de asociaciones de pinos- encinos - madroños a nivel mundial (García et al., 2019). Quizás el área en estudio en la presente investigación, la cual cuenta con una extensión de solo 18 ha, pueda ser considerada como una propuesta práctica de bosque protegido o centro de diversidad de especies.

Díámetro y altura de los fustes y de la copa

En el estudio realizado se obtuvo un diámetro normal promedio de los fustes del bosque de 0.57 ± 0.16 m, variable que estima una edad media de 52 ± 2 años (Hernández-Ramos et al., 2020), demostrando

la ausencia de intervención humana para obtener producciones. En la evaluación de estas variables, se pudo inferir que por efecto de las especies la variabilidad encontrada fue explicada en un 99.7% para el diámetro y en un 99.2% la altura del fuste (coeficiente de determinación sin ajustar). Este resultado generalmente solo se encuentra en bosques naturales mixtos sin manejo donde la diversidad de especies genera variabilidad en los indicadores dasométricos. Aun así, se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de las especies y en todas las variables evaluadas (Cuadro 1).

La AC (mínima de 0.7 m en *Arbutus unedo* y máxima 7.2 m en *Quercus rugosa*) y DC (mínima de 1.3 m en *Arbutus unedo* y máximo 10.2 m en *Quercus rugosa*) contribuyeron a que los porcentajes de variabilidad (coeficientes de variación) fueran altos (superior a 21%) en el bosque estudiado.

Los valores más altos de ICV lo presentaron las especies *Arbutus unedo*, *Quercus rugosa* y *Quercus hypoleucoides*, mientras que el menor valor correspondió a *Pinus yecorensis*. A nivel de género el promedio de ICV fue superior en *Arbutus* con un ICV=0.29 seguido por *Quercus* con ICV=0.28, mientras que en el género *Pinus* fue de ICV= 0.25.

Cuadro 1. Características dasométricas de las especies existentes [diámetro normal (DN), altura del fuste (AF), altura de la copa (AC) y diámetro de la copa (DC)] de las especies existentes en “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. ES. Error estándar de la media, CV: coeficiente de variación, R²: coeficiente de determinación sin ajustar.

Especie	Variables dasométricas evaluadas (m)			
	DN	AF	AC	DC
<i>Pinus engelmannii</i> Carr	0.75 ± 0.02 ^a	19.2 ± 0.25 ^a	6.1 ± 0.4 ^b	8.1 ± 0.4 ^b
<i>Pinus oocarpa</i> Shiede	0.63 ± 0.08 ^c	17.8 ± 0.21 ^c	5.9 ± 0.3 ^c	7.2 ± 0.1 ^c
<i>Pinus strobiformis</i>	0.58 ± 0.04 ^d	18.4 ± 0.33 ^{ab}	5.6 ± 0.5 ^c	7.2 ± 0.3 ^c
<i>Pinus yecorensis</i>	0.71 ± 0.01 ^b	17.2 ± 0.10 ^c	5.2 ± 0.1 ^{cd}	6.2 ± 0.3 ^d
<i>Abies durangensis</i> var. <i>coahuilensis</i>	0.77 ± 0.02 ^a	12.3 ± 0.04 ^b	4.7 ± 0.2 ^d	6.9 ± 0.5 ^c
<i>Quercus rugosa</i>	0.53 ± 0.11 ^e	17.8 ± 0.03 ^c	7.2 ± 0.3 ^a	10.2 ± 0.2 ^a
<i>Quercus hypoleucoides</i>	0.55 ± 0.16 ^{de}	16.7 ± 0.03 ^e	6.6 ± 0.1 ^b	9.9 ± 0.7 ^a
<i>Quercus oblongifolia</i>	0.64 ± 0.13 ^c	14.3 ± 0.01 ^f	5.2 ± 0.1 ^{cd}	8.6 ± 0.4 ^b
<i>Arbutus. unedo</i>	0.16 ± 0.02 ^f	1.7 ± 0.01 ^h	0.7 ± 0.25 ^c	1.3 ± 1 ^e
ES	1.34	1.44	0.48	0.72
CV	17.6	14.5	26.35	28.44
R ²	0.997	0.992	0.991	0.986

Superíndices con letras diferentes en una misma columna representan diferencias por la prueba de Tukey para un nivel de significación del 1%.

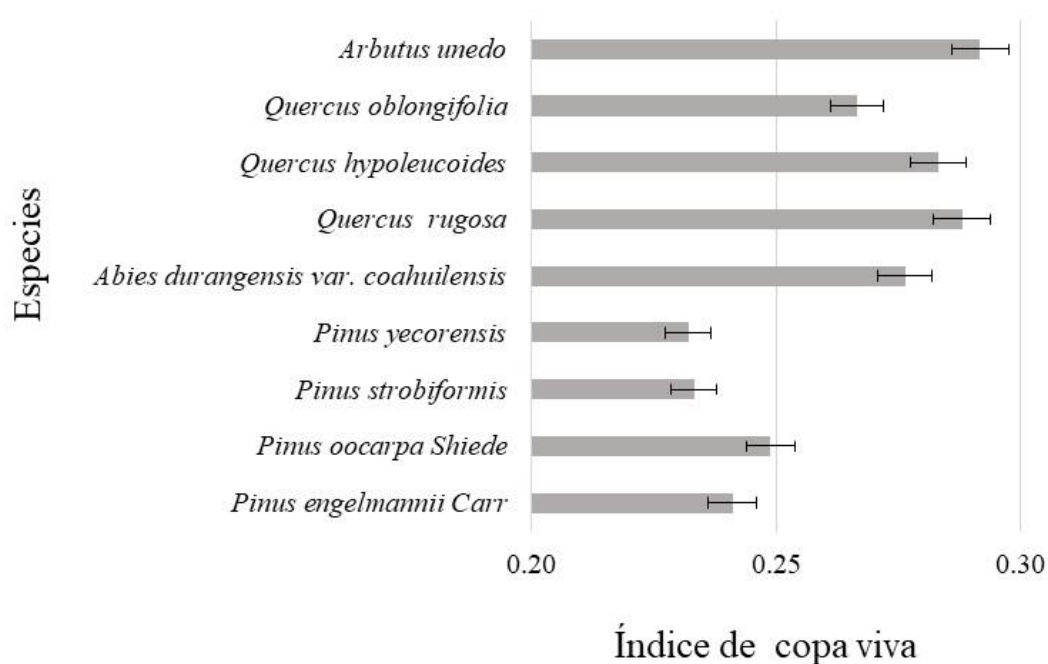


Figura 5. Índice de copa viva de las especies encontradas en el bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. Barras horizontales sobre la línea de índices de copa viva, en cada especie, representan desviación estándar.

El estudio de las variables que se relacionan con la copa de los árboles radica en que es un indicador eficiente del estado fisiológico y nutricional de los árboles. Existen evidencias de correlaciones significativas entre las características de la copa de los árboles y el crecimiento, ya que la cantidad de luz que intercepta la copa determina en gran medida el crecimiento del árbol debido a la existencia de mayor superficie fotosintéticamente activa (De Roo et al., 2020). A mayor superficie fotosintéticamente activa en las copas de los árboles existirá mayor fijación de CO₂, liberación de oxígeno y agua en el flujo transpiratorio, lo que beneficiará el desarrollo del árbol y la purificación del ambiente en el ecosistema (Saavedra-Romero et al., 2019).

Porte de las especies encontradas en el bosque

En la investigación realizada se pudo constatar que el 53% de las especies clasificaron como especies de porte alto, el 23.4% clasificaron como porte medio e igual valor para las especies de porte bajo (Cuadro 2). Esta variabilidad de porte de las especies indica la necesidad de hacer aclareos para lograr la homogeneidad del crecimiento de las especies, aunque es una labor relativamente difícil en bosques naturales mixtos.

Cuadro 2. Porte medio general de las especies existentes en el bosque de La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México.

Especies	Porte de las especies (%)		
	Bajo	Medio	Alto
<i>Pinus engelmannii</i> Carr	8.4	35.2	56.4
<i>Pinus oocarpa</i> Shiede	18.9	26.4	54.7
<i>Pinus strobiformis</i>	13	33.8	53.2
<i>Pinus. yecorensis</i>	10	12	78
<i>Abies durangensis</i> var. <i>coahuilensis</i>	36.4	16.5	47.1
<i>Quercus rugosa</i>	2	12.8	85.2
<i>Quercus. hypoleucoides</i>	21	21.3	57.7
<i>Quercus. oblongifolia</i>	31	24	45
<i>Arbutus. unedo</i>	70.2	28.9	0.9

Se reconoce que por distintas razones, las áreas forestales que representan más del 70.0% del territorio nacional de México, han tenido una baja prioridad dentro de las políticas públicas de conservación y reforestación en la última década. Esta situación ha derivado en la devastación de grandes superficies de bosques, sin pensar en programas de reforestación (Monjardín-Armenta et al., 2017). La causa fundamental ha sido la tala malintencionada e irracional de árboles de todos los portes. Este proceso conduce a la desaparición de la vegetación fotosintéticamente activa incrementándose las concentraciones de CO₂ en el ambiente y el consiguiente incremento de la temperatura que propicia el cambio climático (Olguin et al., 2018). Múltiples regiones de México, debido a la deforestación, en pocos años, dejarán de ser bosques y pasarán a vegetación de zonas áridas (Segoviano et al., 2019).

Actividad fotosintética y a la eficiencia de uso del agua de las especies

La actividad fotosintética máxima promedio de las especies del bosque fue de 20.82 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 6a). Solo las especies *Q. rugosa* y *A. unedo* presentaron actividades menores a este valor. El resultado obtenido demuestra la contribución a la captura y balance carbonado en el ecosistema, impidiendo que se produzcan incrementos significativos de la concentración de CO₂. Los mayores valores se encontraron el género *Pinus* y en particular las especies *Pinus yecorensis* y *Abies durangensis* var. *coahuilensis* superaron a las demás, con valores superiores a 22.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

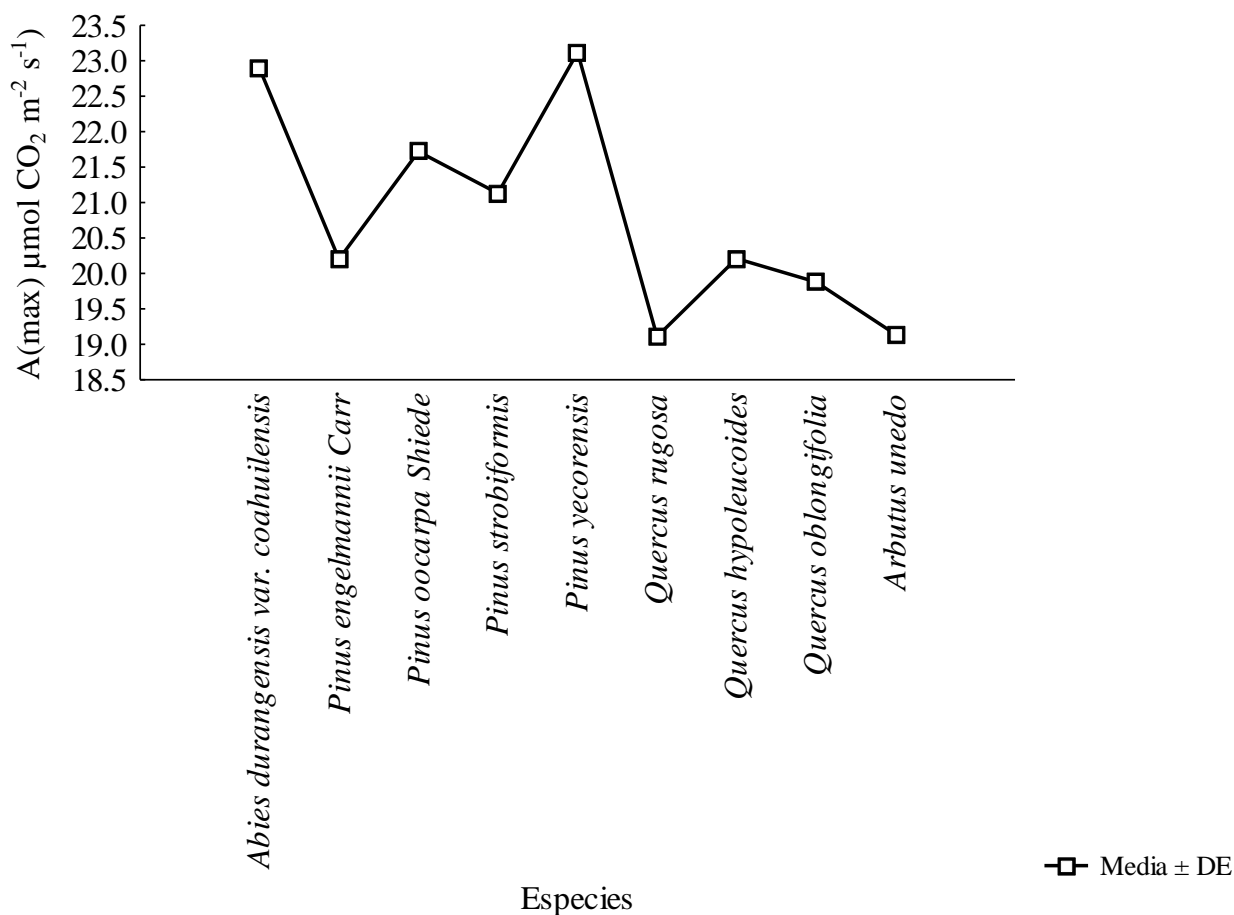


Figura 6. Fotosíntese máxima (A Max) em as espécies encontradas em o bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. .DE: Desviación estándar.

Em varios estudos realizados em espécies de pino y de encino em a região de San Luis Potosí se han reportado valores de fotosíntese em pino em 20 - 27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Lara et al., 2008) variando estos valores em dependência de las condiciones edáficas y climáticas, principalmente de la disponibilidad hídrica (Anderegg et al., 2015). Em espécies de encino también se han encontrado valores de fotosíntese que varían desde 18-32 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ presentando mayor variabilidad esta especie que el pino, quizás por la morfología de la hoja que puede provocar autosombreo (Ruehr et al., 2019; Castell et al., 1994). El valor promedio general de actividad fotosintética obtenido em los árboles que conforman o bosque permite calcular que em un año un árbol puede capturar 121.57 g C m^{-2} . Este resultado evidencia la importancia que puede tener mantener estos bosques naturales para la purificación del ambiente y para disminuir las concentraciones de CO_2 que ocasionan incrementos de la temperatura. Incluso, indica la importancia de establecer especies forestales em las proximidades a la ciudad para que no siga aumentando la temperatura por el incremento de la concentración de CO_2 (Roxon et al., 2020).

La transpiración promedio em todas las especies fue de 4.0 $\mu\text{mol H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 7), ello denota la eficiencia de carboxilización sin afectar el estado hídrico de la planta para mantener una

conductancia estomática alta y en consecuencia más tiempo los estomas abiertos para que se produzca la entrada del CO₂ (Fauset et al., 2019). En el presente estudio el género *Pinus*, particularmente la especie *Pinus oocarpa* Shiede presentó los mayores valores de transpiración.

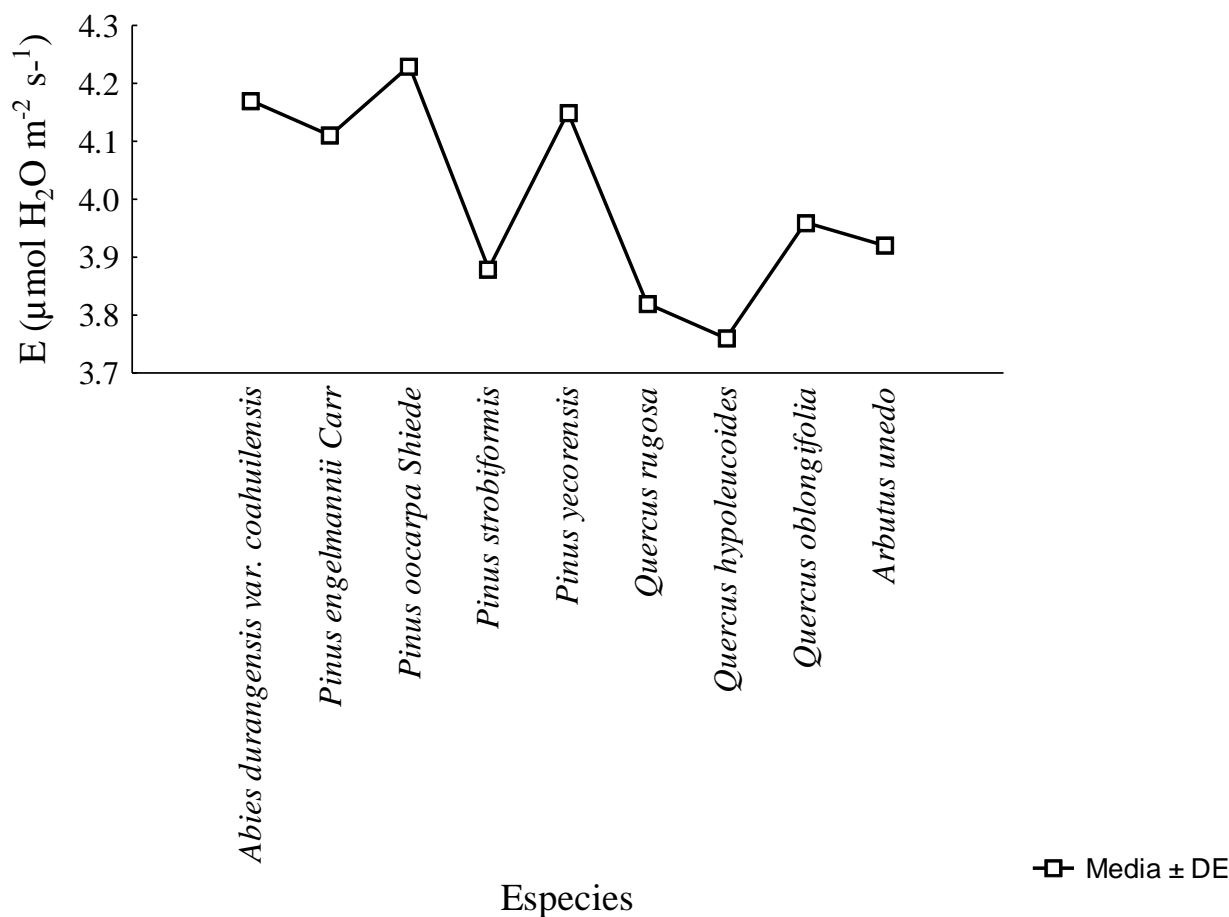


Figura 7. Transpiración (E) en (b) en las especies encontradas en el bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. .DE: Desviación estándar.

Aunque la transpiración depende de la luz, la temperatura y el estado hídrico de la planta, este último elemento es el que más influye en los valores transpiratorios diurnos (Wang et al., 2020). Cuando la transpiración media general diurna se encuentra en valores próximos a 3 μmol H₂O m⁻² s⁻¹ se entiende que el potencial hídrico de las raíces es suficientemente más bajo que el del suelo y por tanto no existen limitantes para mantener la absorción de agua, lo que permite inferir que existe disponibilidad hídrica suficiente en el suelo y en el cuerpo de la planta (Liu et al., 2019). Normalmente en pinos en condiciones óptimas se tienen valores de transpiración entre (2.2 - 4.79 μmol H₂O m⁻² s⁻¹) siendo los valores más cercanos al límite inferior de este intervalo, cuando las plantas crecen en regiones altas, pero con clima seco (Anderegg et al., 2015).

La transpiración media general de un solo árbol en esta región, calculada por linealidad, tendría un valor de 12.6 mm de H₂O m⁻² año. Este valor de actividad transpiratoria de cada árbol, permite inferir que los reservorios de humedad del suelo no se verían afectados por la transpiración ocurrida durante el año para desarrollar la fotosíntesis debido a que sus valores se encuentran en los parámetros normales de las especies estudiadas.

La eficiencia de uso de agua se mantuvo entre 4.9 y 5.6 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ H}_2\text{O}^{-1}$) con un promedio de 5.2 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ H}_2\text{O}^{-1}$, obteniéndose el mayor valor de EUA en la especie *Pinus yecorensis* (Figura 8). Los altos valores obtenidos en este indicador fueron atribuidos a la alta actividad fotosintética. En general el género *Pinus* presentó los mayores valores de EUA.

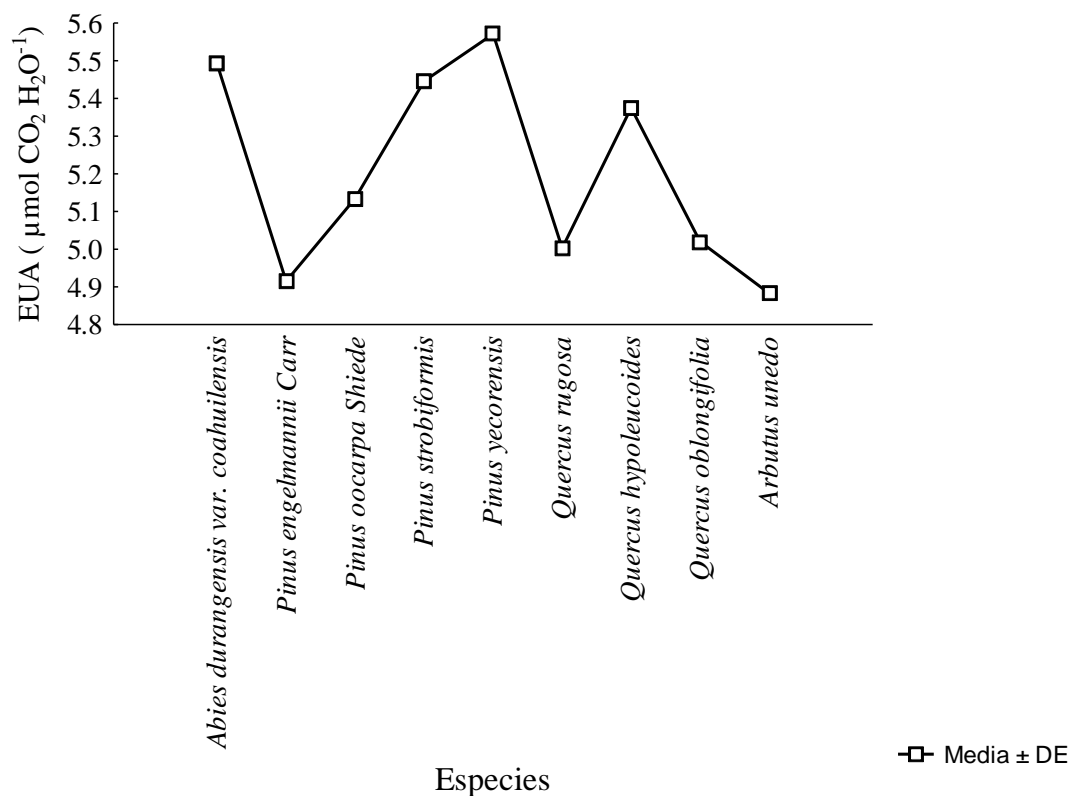


Figura 8. Eficiencia de uso de agua en las especies encontradas en el bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, Sonora, México. .DE: Desviación estándar.

La eficiencia de uso de agua en las especies forestales es un indicador preciso de la conductancia estomática, valor que se determina por la entrada y/o salida de gases por los estomas (Wang et al., 2020). La EUA evidencia el estado hídrico del vegetal. A mayor eficiencia de uso de agua indica que se consume o libera menor volumen de agua para realizar la fotosíntesis, por tanto, la tasa de desarrollo es mayor (Flexas et al., 2013).

Agrupamiento de los individuos según la similitud de las variables evaluadas

A Partir de las variables evaluadas, mediante el análisis de conglomerados las especies existentes en el bosque se aglutinaron en tres grupos de similitudes. El grupo I, lo integró solamente la especie *Pinus yecorensis* y presentó los mayores valores promedios de las variables evaluadas. En el grupo II se aglutinaron las especies: *Abies durangensis var. coahuilensis*, *Pinus engelmannii Carr*, *Q. oblongifolia* y *Pinus oocarpa Shiede*; y el grupo III se formó por las especies *Quercus hypoleucoides*, *Arbutus unedo*, *Quercus rugosa* y *Pinus strobiformis*. (Figura 9).

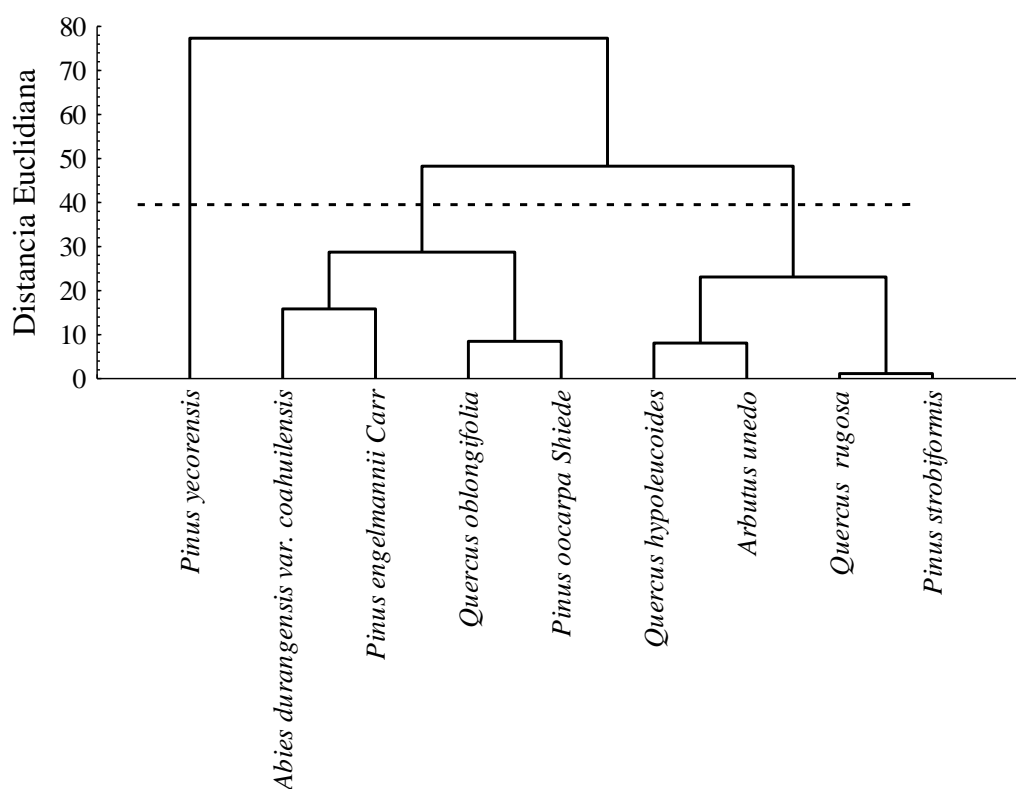


Figura 9. Dendrograma obtenido para el agrupamiento de las especies forestales encontradas en el bosque de “La Mesa del Campanero”, Yécora, México.

En los grupos II y III se aglutinaron tanto especies de los géneros *Pinus* como *Quercus*, evidenciando la funcionalidad de la asociación natural pino - encino existente en Sierra madre occidental de México (Figura 8).

La importancia del cuidado de los bosques en la región del sur de Sonora ha sido reportada en los últimos años (Carrillo-Reyes, 2008; Mayfield; Steinmann, 2010; González-Elizondo et al., 2012), lo que revela el gran interés científico por el desarrollo forestal de la región (Arriaga et al., 2000).

Cada vez se hace más necesario y urgente prestar atención al cuidado de la flora de la región de Yécora, justo desde que fue estudiada por Pinedo et al. (2007). Actualmente se plantea que en esta región

existe una flora del 30% más diversa que la de las Huachuca Mountains del sureste de Arizona (Van Devender; Reina, 2005; García et al., 2019), por ello es importante conservarla como patrimonio nacional que alberga gran cantidad de especies de aves que han acudido al lugar para perpetuar su especie ya que fueron asediadas por el desarrollo agrícola y por prácticas irracionales de cultivo en regiones aledañas (Ortega-Rosas et al., 2008).

Tomar como referencia bosques naturales sin manejo, para el monitoreo de variables morfológicas, dasométricas y fisiológicas tiene gran importancia práctica ya que permite inferir cómo, de manera natural existen ajustes en los procesos relacionados con la productividad primaria de los ecosistemas sin prescindir de ninguna de las especies existentes. El capital forestal se ha visto amenazado por la pérdida y la degradación de las zonas boscosas (Arriaga; Gómez, 2004). Los costos económicos del agotamiento de los recursos forestales, la falta de políticas económicas medioambientales, la deforestación y los incendios amenazan la funcionalidad de los ecosistemas, los que a mediano plazo están modificando el ambiente. Se impone la necesidad de proteger estos bosques naturales como en “La Mesa del Campanero” y fomentar nuevas áreas forestales donde el mayor interés no sea el capital económico que puede aportar, sino la satisfacción de contribuir a mitigar los problemas del cambio climático en México.

CONCLUSIONES

En el bosque de la “Mesa del Campanero” se encontraron nueve especies forestales, demostrando la considerable diversidad de especies existentes y la funcionalidad del bosque mixto. Los géneros con mayores frecuencias encontrados fueron *Pinus* y *Quercus* con 56% y 43% respectivamente. Más del 50% de las especies encontradas clasificaron como especies de porte alto con índices de copa viva promedio de 0.23. El bosque presentó alta actividad fotosintética ($20.8 \pm 1.49 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en promedio entre todas las especies encontradas) y una transpiración media general de $4 \pm 0.16 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo que denota su contribución a la capacidad de captura y balance carbonado del ecosistema y al ciclo hidrológico de la región. La eficiencia de uso de agua, se mantuvo alta ($5.2 \pm 0.16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ H}_2\text{O}^{-1}$) por efecto de la alta fotosíntesis existente en el bosque.

REFERENCIAS

- Anderegg WR et al. (2015). Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist*, 208(3): 674-683.
- Argentel-Martínez L et al. (2019). Algunos usos de técnicas de isótopos estables en ciencia forestal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1): 3-11.

- Arriaga CL et al. (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. Recuperado de: <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/1036.pdf>
- Arriaga L, Gómez L (2004). El cambio climático y la vegetación en México. En: Martínez J, Fernández BA. Cambio climático: Una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología. México, D.F., México. 255-265.
- Atkinson TH (2019). Escarabajos descortezadores y ambrosiales (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae, Platypodinae) de Sonora, México. *Dugesiana*, 26(1): 41-49.
- Ávila-González H et al. (2019). *Bletia santosii* (Orchidaceae), una especie nueva para Sinaloa, México. *Brittonia*, 71(4): 359-368.
- Carrillo LAF, Almagro PD (2018). Árboles monumentales de la Región de Murcia tras el comienzo del siglo XXI. *Revista Eubacteria*, 37(4): 23-29.
- Carrillo-Reyes P (2008). A new species of *Perityle* (Asteraceae, Perityleae) from Western Mexico. *Systematic Botany*, 33(2): 459-461.
- Castell C et al. (1994). Water relations, gas exchange, and growth of resprouts and mature plant shoots of *Arbutus unedo* L. and *Quercus ilex* L. *Oecologia*, 98(2): 201-211.
- Conafor (2010). *Prácticas de reforestación*. Manual Técnico. *Jalisco*, México: Comisión Nacional Forestal.
- Dávila P et al. (2018). Conocimiento taxonómico de la familia Poaceae en México. *Botanical Sciences*, 96(3): 462-514.
- De Roo L et al. (2020). Woody tissue photosynthesis increases radial stem growth of young poplar trees under ambient atmospheric CO₂ but its contribution ceases under elevated CO₂. *Tree Physiology*. tpa085.
- Descroix L et al. (2004). La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Institut de Recherche pour le Développement. Durango, México. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication>
- Fauset S et al. (2019). Contrasting responses of stomatal conductance and photosynthetic capacity to warming and elevated CO₂ in the tropical tree species *Alchornea glandulosa* under heatwave conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 158: 28-39.
- Ferrari L et al. (2018). Cenozoic magmatism and extension in western Mexico: Linking the Sierra Madre Occidental silicic large igneous province and the Comondu Group with the Gulf of California rift. *Earth-Science Reviews*, 183: 115-152.
- Fisher RA (1937). *The Design of Experiments*. Edinburgh; London: Oliver and Boyd.
- Flexas J et al. (2013). Diffusional conductances to CO₂ as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. *Photosynthesis Research*, 117: 45-59.

- García GSA et al. (2019). Diversidad y estructura vertical del bosque de pino-encino en Guadalupe y Calvo, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53): 41-63.
- Gómez TGD et al. (2018). Estructura y composición de la vegetación en cuatro sitios de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50): 9-34.
- González JA et al. (2018). Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurais*, 1(1): 21-30.
- González-Elizondo MS et al. (2011). *Pinus maximartinezii* Rzed., primer registro para Durango, segunda localidad para la especie. *Acta Botánica Mexicana*, 96: 33-48.
- González-Elizondo MS et al. (2012). Vegetación de la sierra madre occidental, México: una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100: 351-403.
- González-Elizondo MS et al. (2013). Ecosystems and diversity of the Sierra Madre Occidental. *USDA Forest Service Proceedings RMRS*. 204-211.
- González-Rodríguez H et al. (2019). Depósito de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques de pino-encino y matorrales en el noreste de México. *Madera y Bosques*, 25(3): 1-16.
- Guerrieri R et al. (2019). Disentangling the role of photosynthesis and stomatal conductance on rising forest water-use efficiency. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(34): 16909-16914.
- Hernández CME et al. (2018). Análisis comparativo de dos sistemas de clasificación bioclimática aplicados en México. *Investigaciones Geográficas*, 95: 2-14.
- Hernández-Ramos J et al. (2020). Estimación de la edad de *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) a partir del diámetro normal en poblaciones del sureste mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 68(1): 200-217.
- Hikosaka K (2004). Interspecific difference in the photosynthesis–nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. *Journal of plant research*, 117(6): 481-494.
- Jiménez JCM et al. (2018). Ecuaciones de biomasa aérea y volumen para *Pinus halepensis* Mill., en Coahuila, México. *Madera y Bosques*, 24: 1-11.
- Kolmogorov AT (1933). Kolmogorov AT. *Basic Concepts of Probability Theory*. Berlin: Julius Springer, p. 62.
- Lara PC et al. (2008). Dinámica sucesional del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Madera y bosques*, 14(1): 21-36.
- Liu N et al. (2019). Improvement of a simplified process-based model for estimating transpiration under water-limited conditions. *Hydrological Processes*, 33(12): 1670-1685.
- López GG, Nieto de Pascual PM (2019). Características estructurales de un bosque de pino en Tlalnepantla, Morelos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51): 23-52.


- Malmberg C, Smith H (1982). Relationships between plant weight and density in mixed populations of *Medicago sativa* and *Trifolium platense*. *Oikos* 38: 365-368.
- Mayfield MH, Steinmann VW (2010). *Euphorbia spellenbergiana* (Euphorbiaceae), a new species from Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 90: 43-50.
- Monjardín-Armenta SA et al. (2017). La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y bosques*, 23(1): 7-22.
- Návar-Cháidez JDJ, Jurado-Ybarra E (2009). Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. *Ciencia Forestal en México*, 34(106): 89-106.
- Olave MT et al. (2018). Factores biogeográficos y cambios de uso del suelo (2009-2013) en el nicho de "*Trogon elegans ambiguus*" y "*Euptilotis neoxenus*" en Chihuahua, México. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 44(2): 763-779.
- Olguin M et al. (2018). Applying a systems approach to assess carbon emission reductions from climate change mitigation in Mexico's forest sector. *Environmental Research Letters*, 13(3): 035003.
- Ortega-Rosas CI et al. (2008). Retrospectiva del bosque de pino y encino de la Sierra Madre Occidental, Sonora, Noroeste de México, hace 1000 años. *Acta Botánica Mexicana*, 83: 69-92.
- Otavo S, Echeverría C (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de biodiversidad*, 88(4): 924-935.
- Paredes JC et al. (2020). Análisis temporal de sequías meteorológicas en la cuenca del Río Yaqui (México) y su relación con ENSO. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 86.
- Pinedo AC et al. (2007). Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México. *Tecnociencia*, 1(1): 36-43.
- Ramírez N et al. (2011). *Heliopsis suffruticosa* (Compositae, Heliantheae), una nueva especie del occidente de Zacatecas. *Acta Botánica Mexicana*, 97: 39-47.
- Rohlf FJ, Fisher DR (1968). Tests for hierarchical structure in random data sets. *Systematic Biology*, 17(4): 407-412.
- Roxon J et al. (2020). Urban heat island impact on state residential energy cost and CO₂ emissions in the United States. *Urban Climate*, 31: 100546.
- Ruehr NK et al. (2019). Beyond the extreme: recovery of carbon and water relations in woody plants following heat and drought stress. *Tree physiology*, 39(8): 1285-1299.
- Saavedra-Romero LDL et al. (2019). Diversidad, estructura arbórea e índice de valor de importancia en un bosque urbano de la Ciudad de México. *Polibotánica*, 47: 25-37.
- Salmon Y et al. (2020). Leaf carbon and water status control stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in trees. *New Phytologist*, 226(3): 690-703.

- Scheinvar L et al. (2018). A new species of *Opuntia* (Cactaceae) from Coniferous and *Quercus* Forest of Northern Mexico. *Bradleya*, 36: 25-32.
- Segoviano GL et al. (2019). Diversidad estacional de aves en una región prioritaria para la conservación en el centro oeste de la Sierra Madre Occidental. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2): 17.
- Tukey WJ (1960). A survey of sampling from contaminated distributions. In: Olkin I, editor. *Contribution to Probability and Statistics: Essays in Honor to Harold Hotelling*. Redwood City: Stanford University Press.
- Van Devender T, Reina GAL (2005). Floristic comparison of an Arizona Sky Island and the Sierra Madre Occidental in eastern Sonora: the Huachuca Mountains and the Yécora Area. In: Gottfried GJ et al. (coords.). *Biodiversity and management of the Madrean Archipelago II: Connecting mountain islands and desert seas*. United States Department of Agriculture Forest Service, General Technical Report RMRS-P-36. 154-157.
- Van Devender TR et al. (2013). Comparison of the tropical floras of the Sierra la Madera and the Sierra Madre Occidental, Sonora, Mexico. In: Gottfried GJ et al. *Merging science and management in a rapidly changing world: Biodiversity and management of the Madrean Archipelago III and 7th Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts*. Proceedings. RMRS-P-67. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Tucson, Arizona. 240-242.
- Verdugo DG et al. (2010). Indicadores ecológicos de la estructura de la comunidad fitoplanctónica en Bahía Concepción, Golfo de California. *CICIMAR Oceánides*, 25(2): 95-102.
- Villanueva-Díaz J et al. (2018). Red dendrocronológica de pino triste (*Pinus lamboltzii* BL Rob. & Fernald) en la Sierra Madre Occidental para reconstrucción de lluvia estacional. *Madera y bosques*, 24(2): 1-14.
- Wang W et al. (2020). Tree growth, transpiration, and water-use efficiency between shoreline and upland red maple (*Acer rubrum*) trees in a coastal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 295: 108163.


Caracterização Morfológica de Frutos, Sementes e Emergência de Plântulas de Guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. – Myrtaceae]

Recebido em: 08/05/2022

Aceito em: 11/05/2022

 10.46420/9786581460334cap5

Eder Luiz Menezes da Silva¹ 

Alan Mario Zuffo² 

Fábio Steiner^{3*} 

INTRODUÇÃO

O Cerrado é o bioma que ocupa aproximadamente 25% do território nacional, apresentando uma elevada diversificação na fauna e na flora (Ávidos; Ferreira, 2003). A formação do Cerrado ocupa aproximadamente 61% do estado de Mato Grosso do Sul, com flora altamente adaptada às condições xerofíticas e muitas espécies endêmicas. Por isso, há uma crescente preocupação mundial com a exploração incontrolada e com a depreciação dos recursos naturais, especialmente da biodiversidade de plantas das florestas tropicais. Particularmente no estado de Mato Grosso do Sul, a paisagem vem sendo modificada por ações antrópicas, como a agropecuária e construção de estradas.

O intenso desmatamento observado na região oferece riscos iminentes para várias espécies de plantas. Essa região abriga centros de distribuição potenciais de várias espécies frutíferas nativas do Cerrado, que estão ameaçadas por tais impactos ambientais. Existe, atualmente, um mercado potencial e emergente para as frutas nativas do Cerrado, a ser melhor explorado pelos agricultores, já que todo o aproveitamento desses frutos tem sido feito de forma extrativista e predatória. Neste cenário, o Cerrado tem sido agredido e depredado, colocando em risco de extinção várias espécies de plantas (Soares et al., 2009).

Muitas das espécies da região do Cerrado são produtoras de frutas (Silva et al., 1994) e têm propriedades organolépticas de interesses comerciais, que as classificam como economicamente potenciais, sendo assim faz-se necessário estudos que ampliem o conhecimento e indiquem novas opções para potencializar a sua exploração (Peloso et al., 2008). Os frutos das espécies nativas do Cerrado

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. MS 306, km 6.4, CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

² Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

³ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. MS 306, km 6.4, CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

* Autor correspondente: steiner@uems.br

oferecem um alto valor nutricional, além de atrativos sensoriais como cor, sabor, aromas peculiares e intensos, ainda pouco explorados comercialmente (Vieira; Costa, 2007). Segundo Rodrigues e Nave (2001), a falta de estudos é apontada como uma das principais causas do uso de um número restrito de espécies frutíferas nativas regionais, em programas de recuperação de áreas degradadas.

Campomanesia adamantium (Cambess.) O. Berg., Myrtaceae, popularmente conhecida como guavira, gabioba, guabioba-do-cerrado, guabioba-do-campo, guabioba-lisa e guabioba-branca, é uma frutífera tropical nativa do Brasil com ampla distribuição nos Biomas do Cerrado e Mata Atlântica (Sobral et al., 2015). É uma espécie vegetal pouco exigente em fertilidade do solo, podendo crescer naturalmente em diversos tipos de solo (Lorenzi et al., 2006). Esta espécie pode ser facilmente encontrada nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul e, em alguns casos, ultrapassa os limites do Brasil para chegar às regiões adjacentes da Argentina e do Paraguai (Lorenzi et al., 2006; Oliveira et al., 2011).

As folhas e os frutos de guavira possuem algumas propriedades medicinais como anti-inflamatória, antidiarreica, hipocolesterolêmico e antisséptica das vias urinárias. As folhas são utilizadas também no tratamento da gripe, e seus frutos atuam regularizando as funções intestinais (Lorenzi, 2002). Os frutos são ótimos alimentos, sendo saborosos, suculentos, ácidos e levemente adocicados, e são utilizados “*in natura*”, na indústria de alimentos e como flavorizantes na indústria de bebidas, em licores, sucos, doces e sorvetes (Piva, 2002).

Estudos morfológicos de frutos, sementes e desenvolvimento de plântulas são frequentes para diversas espécies frutíferas. No entanto, estes estudos para os frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. são incipientes. Em geral, são realizados com propósitos taxonômicos, filogenéticos (Santiago; Paoli, 1999; Oliveira, 2001; Silva; Mouro, 2008) e ecológicos, visando auxiliar a classificação das espécies quanto à forma de dispersão, categoria sucessional e identificação das formas juvenis em estudos de regeneração natural (Ferreira et al., 2001; Cunha; Ferreira, 2003; Melo; Varela, 2006; Amorim et al., 2008; Milanez et al., 2008; Ramos; Ferraz, 2008). A biometria de frutos e sementes, bem como o conhecimento da morfologia e desenvolvimento das plântulas, é fundamental para subsidiar estudos de germinação e produção de mudas para recomposição vegetal (Gusmão et al., 2006; Leonhardt et al., 2008).

O conhecimento das características morfológicas e fisiológicas das sementes, visando a produção de mudas para recuperar e, ou, enriquecer áreas degradadas, resultantes da exploração desordenada dos recursos naturais, é importante para a manutenção da biodiversidade. A falta de informações básicas sobre as espécies nativas dificulta o aproveitamento destas nos programas silviculturais, sendo fundamentais os estudos germinativos; para esse fim, o conhecimento da anatomia, morfologia e fisiologia das sementes é de grande importância, pois o plantio dessas espécies exige cuidados especiais (Cruz et al., 2001; Oliveira et al., 2006).

Os aspectos biométricos de frutos e sementes, e sua influência na germinação, podem auxiliar na tomada de decisão, durante a coleta dos frutos e, conseqüentemente, na produção e estabelecimentos de mudas de espécies tropicais nativas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar as principais características morfológicas de frutos e sementes de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. – Myrtaceae], e estabelecer as estimativas de correlações entre essas características.

MATERIAL E MÉTODOS

Frutos de guavira foram coletados em uma área de vegetação de ocorrência natural, localizada no município de Aporé, região Sul do Estado de Goiás (19°02'16" S, 51°51'26" W, com altitude média de 510 m). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco entre os meses de maio e setembro (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação pluvial e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

Os frutos maduros foram colhidos no início do mês de novembro de 2019 a partir da copa de diversos arbustos existentes na área de Cerrado. Após a colheita, os frutos foram armazenados em caixas plásticas e transportados para o Laboratório de Fitotecnia da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Unidade Acadêmica de Cassilândia (MS). No laboratório, os frutos foram previamente selecionados, descartando-se os frutos deformados e com sintomas visuais de ataque de pragas e doenças (Figura 1). Em seguida, uma amostra de 100 frutos visualmente saudáveis, inteiros e sem deformação foi retirada de forma aleatória para a mensuração das características físicas e morfológicas.



Figura 1. Detalhe das plantas de guavira em plena fase de floração em uma área de vegetação nativa do Cerrado no município de Aporé – GO (A), ilustração dos frutos maduros de guavira (B) e ilustração do corte transversal (C) dos frutos de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae). UEMS/Cassilândia, 2019. Foto: Silva, E. L. M. (2019).

As seguintes características dos frutos foram mensuradas: diâmetro longitudinal do fruto (DLF), diâmetro transversal do fruto (DTF), massa fresca do fruto (MFF), massa fresca da casca (MFC), massa fresca de polpa (MFP), sólidos solúveis totais (SST), rendimento de polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF). O diâmetro longitudinal e transversal foram mensurados com auxílio de um paquímetro digital, com grau de precisão de $\pm 0,01$ mm. Os frutos foram pesados e, em seguida, a polpa, a casca e as sementes foram manualmente separados. A massa fresca do fruto, da casca, da polpa e das sementes, em gramas, foi obtida por pesagem individual em balança analítica de precisão com capacidade de 210 g e precisão de 0,0001 g. A casca do fruto foi seca em estufa à temperatura de 85 °C por 48 h, pesada e, em seguida, o teor de água da casca (TAC) foi calculado em base úmida. O rendimento da polpa foi calculado como porcentagem da massa total do fruto. O teor de sólidos solúveis totais (SST) na polpa dos frutos foi determinado com o auxílio de um refratômetro digital, e corrigindo-se o valor para a temperatura de 20 °C. O número de sementes foi obtido por meio de contagem.

Após a remoção manual da casca dos frutos, as sementes foram lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1,0 mm, para remoção do excesso de polpa aderido as sementes (Apêndice 2). Em seguida, uma amostra de 100 sementes foi tomada para a mensuração do comprimento da semente (CS), largura da semente (LS), massa fresca da semente (MFS), e teor de água das sementes. O teor de água da semente (TAS) foi determinado pelo método da estufa à 105 °C (± 3 °C) por 24 horas. A determinação da massa fresca e seca das sementes foi realizada em balança analítica de precisão (0,0001 g).



Figura 2. Ilustração da emergência das plântulas de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae)] aos 14 dias após a semeadura (à esquerda) e aos 21 dias após a semeadura (à direita) das sementes nas bandejas plásticas contendo areia grossa. UEMS/Cassilândia, 2019. Foto: Silva, E. L. M. (2019).

No teste de emergência, as sementes foram imediatamente dispostas para germinar a 1,0 cm de profundidade em bandejas plásticas (42 × 28 × 6 cm) contendo como substrato areia grossa. Foram utilizadas quatro repetições de 100 sementes. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação, com

médias de temperaturas mínima e máxima de $23,5 \pm 2,8$ °C e de $34,7 \pm 2,1$ °C, respectivamente, e regadas diariamente. A quantificação do número de plântulas normais emergidas foi realizada aos 21 dias após a semeadura das sementes (Figura 2).

As características morfológicas dos frutos e das sementes foram analisadas por meio do ajuste de distribuição de frequência e estatística descritiva, que compreendeu as medidas de posição (valores médios, mínimos e máximos) e medidas de dispersão (coeficiente de variação, assimetria, curtose, erro padrão e desvio padrão). Os coeficientes de correlação não paramétrico de Spearman (rS) e o respectivo nível de significância (P) foram estimados para determinar a associação entre as características morfológicas dos frutos e das sementes de guavira por meio do teste t (ZAR, 1996). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Action Stat Pro[®] versão 3.6 para Windows. Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel[®] 2016 (Microsoft Office 365™).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise descritiva das características morfológicas dos frutos de guavira é mostrado na Tabela 1. Os frutos de guavira possuem dimensões médias de 16,61 mm de diâmetro longitudinal, 16,90 mm de diâmetro transversal e 2,91 g de massa fresca (Tabela 1). A relação entre o diâmetro longitudinal e transversal dos frutos é de 1,03, estes valores próximos de 1,0 indicam que os frutos de guavira possuem formato esférico (Tabela 1). A polpa representa quase 60% do peso fresco do fruto, com valor médio de 1,74 g, enquanto a casca e as sementes representam cerca de 36% (1,05 g) e 4% (0,12 g) do peso fresco do fruto, respectivamente.

Em estudos realizados com frutos de guavira (*C. adamantium*) e guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia pubescens* O. Berg.), os registros das características morfológicas foram sempre muito próximos aos encontrados neste estudo. Landrum (1986) reportou que os frutos de *C. adamantium* possuem diâmetro longitudinal e transversal entre 15 e 20 mm; possuem de 1 a 4 sementes, e as sementes possuem comprimento entre de 5 e 7 mm. Outros autores reportaram o diâmetro longitudinal dos frutos, em média, de 18 mm (Arantes; Monteiro, 2002) e 19 mm (Oliveira et al., 2011) ou diâmetro longitudinal variando entre 14 e 22 mm (Melchior et al., 2006). Para frutos de guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia pubescens* O. Berg.) coletados na região sudeste do Brasil, em Uberlândia, (MG), Oliveira et al. (2011) reportaram que os frutos que possuem, em média, 17,30 mm de diâmetro longitudinal, 16,34 mm de diâmetro transversal e massa fresca de 2,63 g. Ainda, há registros na literatura de que os frutos de *C. adamantium* pesam, em média, 2,30 g (Vallilo et al., 2006), com valores mínimos e máximos entre 1,36 e 5,59 g, respectivamente (Melchior et al., 2006). Neste estudo, o peso dos frutos de guavira coletados no município de Aporé (GO) variaram de 1,29 e 6,98 g.

Os valores de assimetria e curtose foram próximos de zero, isto é, menor que $\pm 1,0$, para o diâmetro longitudinal, diâmetro transversal, massa fresca de polpa, sólidos solúveis totais e número de sementes por fruto. Estes resultados indicam uma distribuição aproximadamente normal para estas características morfológicas dos frutos (Tabela 1). Avaliando as características morfológicas de frutos e sementes de inajá [*Attalea maripa* (Aubl.) Mart.], Zuffo et al. (2016) também evidenciaram uma distribuição aproximadamente normal para a maioria das características dos frutos, exceto para teor de água da polpa. A distribuição normal para as variáveis mensuradas nos estudos de caracterização morfológica de frutos e sementes tem sido comumente reportada em outras espécies de árvores frutíferas, como em baru [*Dipteryx alata* Vog.] (Zuffo et al., 2014), jambolão [*Syzygium cumini* (L.) Skeels] (Steiner et al., 2017), canafístula (*Peltoporum dubium* (Sprengel) Taubert] (Zuffo et al., 2017), pitombeira (*Talisia esculenta* (St. Hil) Radlk.) (Zuffo et al., 2018) e ingá-mirim [*Inga laurina* (Sw.) Willd.] (Oliveira et al., 2019).

Tabela 1. Caracterização morfológica dos frutos de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. (Myrtaceae)] coletados no município de Aporé (GO).

Característica	Média ¹	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	DP	CV (%)
Diâmetro longitudinal (mm)	16,61±0,22	12,10	24,00	0,151	0,134	2,22	13,38
Diâmetro transversal (mm)	16,90±0,21	12,90	23,20	0,190	0,064	2,11	12,46
Massa fresca do fruto (g)	2,91±0,11	1,29	6,98	0,914	1,415	1,08	37,27
Massa fresca da casca (g)	1,05±0,03	0,50	2,00	0,941	1,169	0,30	28,84
Massa fresca de polpa (g)	1,74±0,07	0,70	4,23	0,768	0,910	0,72	41,30
Teor de água da casca (%)	66,82±0,34	52,73	75,74	-1,280	3,540	3,40	8,09
Rendimento de polpa (%)	59,67±0,46	50,01	64,50	-0,159	-1,272	4,57	8,12
Sólidos solúveis totais (°Brix)	19,24±0,39	12,16	26,97	0,009	-0,875	3,87	20,12
Número de sementes por fruto	2,91±0,13	1,00	6,00	0,517	-0,263	1,30	44,79

¹ Dados referem-se ao valor médio (n = 100) \pm erro padrão da média. DP: desvio padrão. CV: coeficiente de variação.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) para as características morfológicas dos frutos de guavira variaram de 8,09 a 44,79% (Tabela 1). Coeficientes de variação para o teor de água na casca (8,09%) e rendimento de polpa (8,12%) indicaram que os dados obtidos nessas variáveis têm uma distribuição mais homogênea (menos dispersa) em relação às demais variáveis mensuradas cujos valores de coeficientes de variação foram maiores que 10%. Os valores de coeficiente de variação superiores a 20% para a massa fresca do fruto, massa fresca da casca, massa fresca de polpa, sólido solúveis totais e número de sementes por fruto indicam que estas variáveis possuem ampla variabilidade e que os frutos coletados representaram de modo adequado a espécie vegetal. Os valores de coeficientes de variação observados neste estudo foram

semelhantes aos valores relatados por Zuffo et al. (2014) para as características morfológicas de frutos de baru (*Dipteryx alata* Vog.), Zuffo et al. (2016) em frutos de mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e inajá (*Attalea maripa*), Zuffo et al. (2017) em frutos de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert), Steiner et al. (2017) em frutos de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e Zuffo et al. (2019) em frutos de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes).

As sementes de guavira possuem 6,27 mm de comprimento, 4,01 mm de largura, 0,12 g de massa fresca e teor médio de água de 45,61% (Tabela 2). Essas características são próximas as sementes de guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia pubescens* O. Berg.) coletadas no município de Uberlândia, (MG) que possuem 5,56 mm de comprimento e 2,92 mm de largura (Oliveira et al., 2011).

Tabela 2. Características morfológicas das sementes de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae) extraídas de frutos coletados no município de Aporé (GO).

Característica	Média ¹	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	DP	CV (%)
Comprimento da semente (mm)	6,27±0,07	4,82	8,32	0,482	0,220	0,70	11,27
Largura da semente (mm)	4,01±0,04	3,14	4,89	0,096	-0,748	0,38	9,75
Massa fresca da semente (g)	0,12±0,01	0,05	0,23	0,544	-0,213	0,05	45,28
Teor de água da semente (%)	45,61±0,36	28,36	51,94	1,637	6,340	3,59	7,92

¹ Dados referem-se ao valor médio (n = 100) ± erro padrão da média. DP: desvio padrão. CV: coeficiente de variação.

Os valores de assimetria e curtose foram próximos de zero, isto é, menor que $\pm 1,0$, para o comprimento da semente, largura da semente e massa fresca da semente (Tabela 2). Estes resultados indicam uma distribuição aproximadamente normal para estas características morfológicas dos frutos. Avaliando as características de sementes de inajá [*Attalea maripa* (Aubl.) Mart.], Zuffo et al. (2016) também evidenciaram uma distribuição aproximadamente normal para todas as características físicas das sementes. A distribuição normal para as variáveis mensuradas nos estudos de caracterização morfológica de frutos e sementes tem sido comumente reportada em outras espécies de árvores frutíferas, como em baru [*Dipteryx alata* Vog.] (Zuffo et al., 2014), jambolão [*Syzygium cumini* (L.) Skeels] (Steiner et al., 2017), canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert] (Zuffo et al., 2017), pitombeira (*Talisia esculenta* (St. Hil) Radlk.) (Zuffo et al., 2018) e ingá-mirim [*Inga laurina* (Sw.) Willd.] (Oliveira et al., 2019).

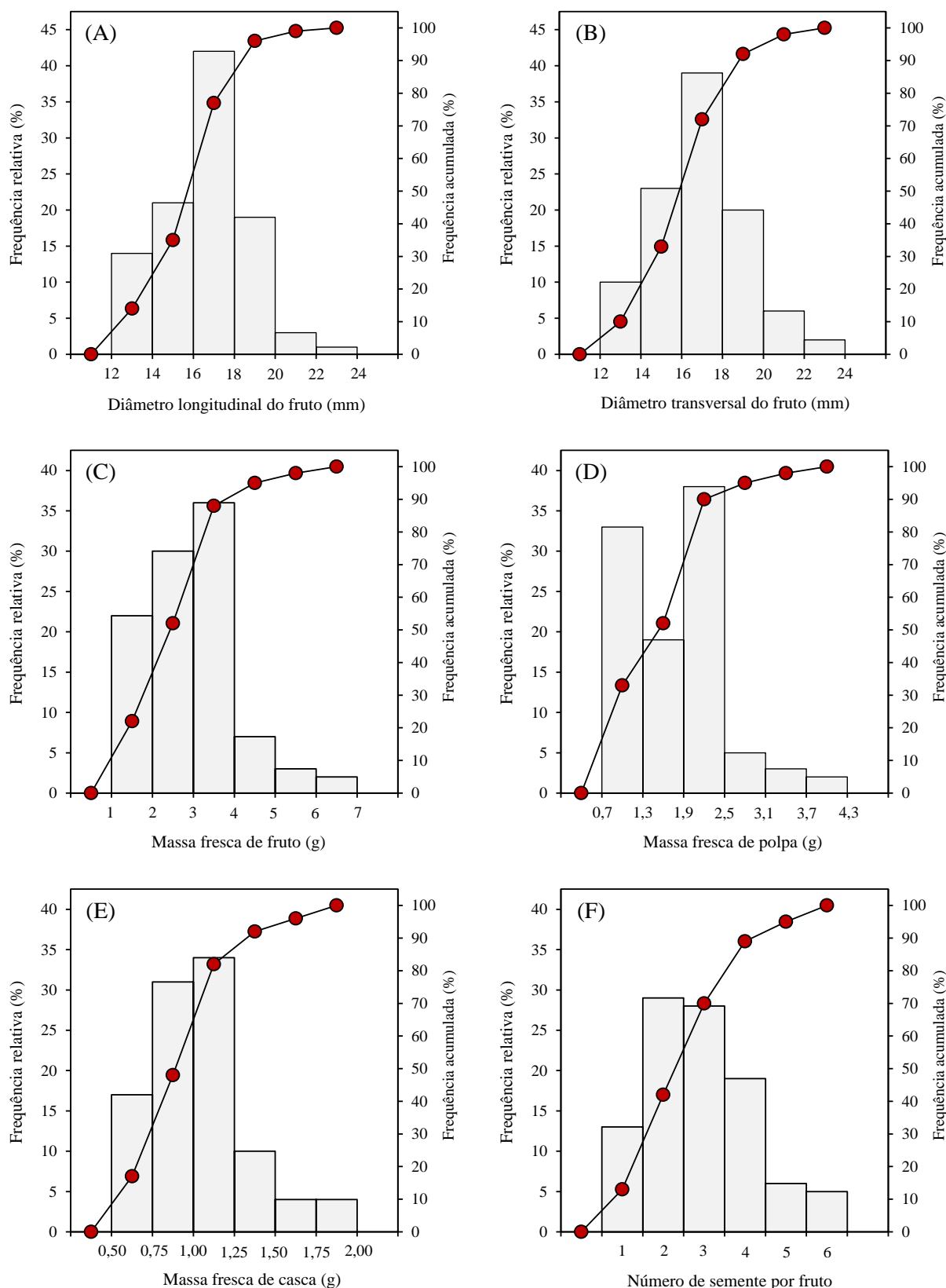


Figura 3. Distribuição das frequências relativas e acumuladas para diâmetro longitudinal do fruto – DLF (A), diâmetro transversal do fruto – DTF (B), massa fresca do fruto – MFF (C), massa fresca da polpa – MFP (D), massa fresca da casca – MFC (E) e número de sementes (F) nos frutos de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae) coletados no município de Apore, GO. N = 100 frutos. Fonte: Os autores.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) para as características das sementes de guavira variaram de 7,92 a 45,28% (Tabela 1). Coeficientes de variação para largura da semente (9,75%) e teor de água da semente (7,92%) indicaram que os dados obtidos nessas variáveis têm uma distribuição mais homogênea, com menor dispersão em comparação às demais variáveis mensuradas cujos valores de coeficientes de variação foram maiores que 10%. Os valores de coeficiente de variação superiores a 20% para a massa fresca de semente indicam que esta variável possui maior variabilidade, o que pode sugerir algum tipo de interferência ambiental no processo de fecundação das flores. Os valores de coeficientes de variação observados neste estudo foram semelhantes aos valores relatados por Zuffo et al. (2014) para as características morfológicas de frutos de baru (*Dipteryx alata* Vog.), Zuffo et al. (2016) em frutos de mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e inajá (*Attalea maripa*), Steiner et al. (2017) em frutos de jabolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e Zuffo et al. (2019) em frutos de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes).

Em relação à distribuição de frequência relativa para as características morfológicas dos frutos, 82% dos frutos têm diâmetro longitudinal compreendido em três classes de tamanho, ou seja, de 14 a 20 mm (Figura 3A). O diâmetro transversal dos frutos variou de 12,90 a 23,20 mm (Tabela 1), e 81% dos frutos possuem diâmetro transversal compreendido em três classes de tamanho, ou seja, de 14 a 20 mm (Figura 3B).

Para a massa fresca dos frutos, 82% dos frutos possuem massa no intervalo compreendido entre 1,0 e 4,0 g (Figura 3C). A massa fresca da polpa variou de 0,70 a 4,23 g (Tabela 1), com 90% dos frutos apresentando valores em três classes de rendimento de polpa entre 0,7 a 2,5 g (Figura 3D). Esses valores de massa de polpa indicam que, em média, 60% (de 50% a 65%) do peso do fruto é composto por polpa (Figura 4A). O rendimento da polpa é uma característica muito importante quando se visa o uso industrial dos frutos. Em frutos de araçá-pera (*Psidium acutangulum*), jabolão (*Syzygium cumini*) e ingá-mirim (*Inga laurina*), o rendimento da polpa variou de 55 a 76% (Andrade et al., 1993), de 57 a 86% (Steiner et al., 2017) e de 13% a 69% (Oliveira et al., 2019), respectivamente. Em frutos de cambuci (*Campomanesia phaea*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*) e mangaba (*Hancornia speciosa*), o rendimento de polpa foi de 46 a 92% (Vallilo et al., 2005), 63% (Ferreira, 1992), e 94% (Zuffo et al., 2019), respectivamente.

A massa fresca da casca variou de 0,50 a 2,00 g (Tabela 1), e 65% dos frutos possuem massa de casca compreendido em duas classes de peso entre 0,75 e 1,25 g (Figura 3E). O número de sementes por fruto variou de 1 a 6 sementes (Tabela 1), com 57% dos frutos tendo de 2 ou 3 sementes (Figura 3F). O número de sementes por fruto é uma característica de grande importância para a reprodução sexuada da espécie, visto que a espécie apresenta sementes recalcitrantes (Lorenzi et al., 2006). Segundo Melchior et al. (2006), os frutos de guavira contêm, em média, 3 sementes, podendo variar entre 1 e 4. Em frutos de guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia pubescens* O. Berg.) e de guavira (*C. adamantium*) coletados no município de Uberlândia, (MG), o número médio de sementes por fruto foi de 2,02 e 2,18, respectivamente

(Oliveira et al., 2011). Neste estudo, o número de sementes por fruto foi de 2,91 sementes, porém com intervalo pouco maior (entre 1 e 6 sementes por fruto).

Para o rendimento de polpa, 42% dos frutos possuem rendimento de polpa compreendido no intervalo entre 60,0 e 62,5% g (Figura 4A). O teor de sólidos solúveis totais dos frutos de guavira variou de 12,16 a 26,97 °Brix, e 48% dos frutos possuem teor de sólidos solúveis totais compreendidos em duas classes, com teor entre 17 e 22 °Brix (Figura 2B). Em frutos de guavira coletados no município de Rancharia (SP), Melchior et al. (2006) mostraram que o teor de sólidos solúveis totais na polpa variou de 12 a 23 °Brix. Dentre as espécies nativas do gênero *Campomanesia*, a guavira é considerada uma espécie com alto potencial para cultivo comercial em função das suas características agrônômicas desejáveis, como alto rendimento de polpa e elevado teor de sólidos solúveis totais (°Brix) (Melchior et al., 2006).

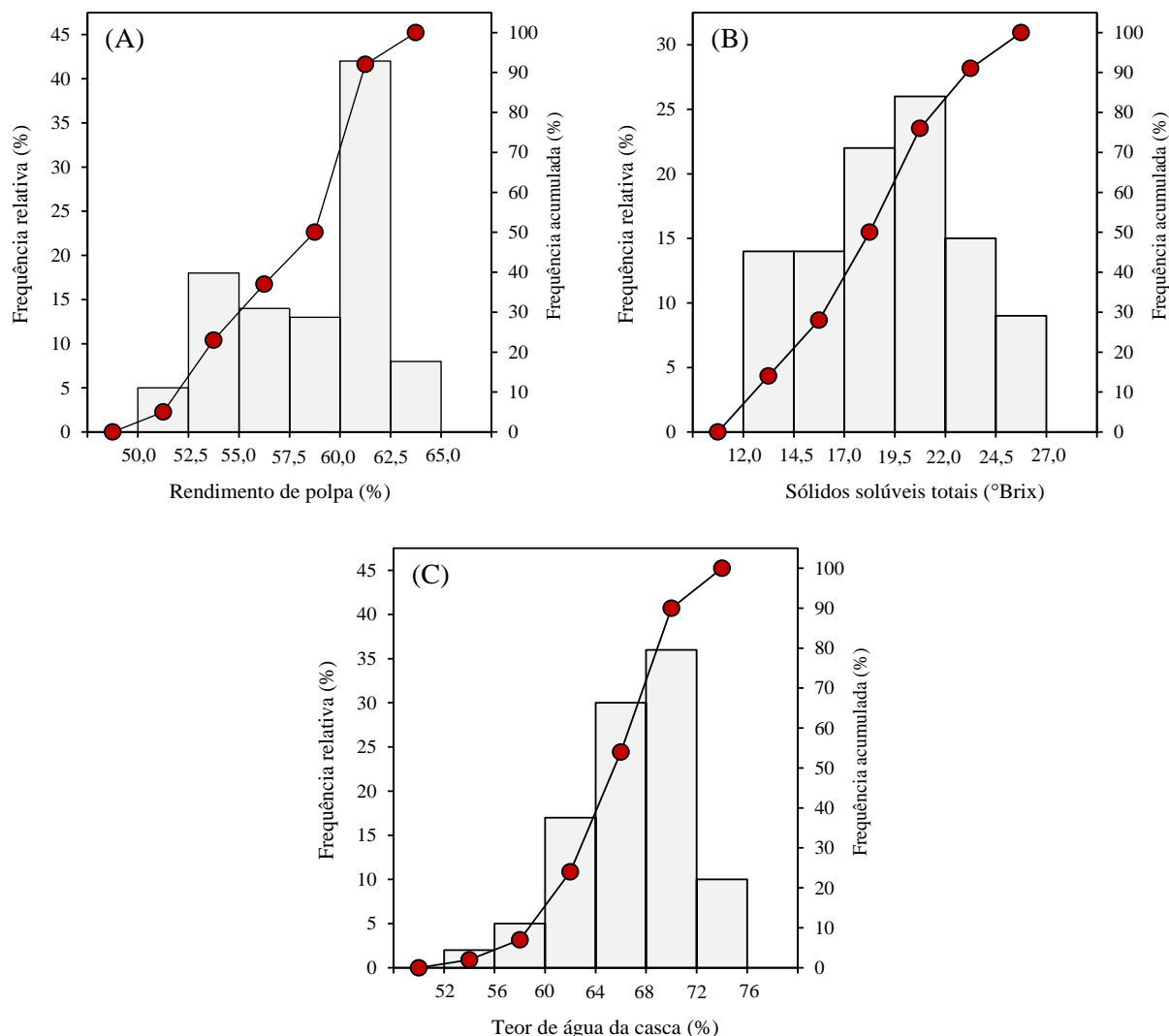


Figura 4. Distribuição das frequências relativas e acumuladas para o rendimento de polpa – RP (A), concentração de sólidos solúveis totais – SST (B) e teor de água da casca – TAC (C) dos frutos de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae) coletados no município de Apore, GO. N = 100 frutos. Fonte: Os autores.

O teor de sólido solúveis totais é uma das principais características que tem sido utilizada para indicar o estágio de amadurecimento dos frutos. De acordo com Vallilo et al. (2006), frutos maduros de guavira com teor de sólido solúveis totais maior que 15 °Brix possuem alto potencial para serem utilizados "in natura", na indústria de alimentos e como flavorizantes na indústria de bebidas, devido aos seus atributos de qualidade como: elevada acidez, ácido ascórbico (vitamina C), minerais e hidrocarbonetos monoterpênicos (α -pineno, limoneno e β -(z) ocimeno), presentes em maior quantidade no óleo volátil dos frutos, e que lhes conferem o aroma cítrico.

O teor da casca dos frutos de guavira variou de 52,73 a 75,74%, e cerca de 66% dos frutos possuem cascas com teor de água compreendidos em duas classes de umidade, com teor de água entre 64 e 72% (Figura 4C). As cascas dos frutos têm sido muito utilizadas na medicina popular devido as suas propriedades medicinais, como antisséptica das vias urinárias, anti-inflamatória, antidiarreica, antiviral, antirreumático, antidepressiva e hipocolesterolêmico (Lorenzi et al., 2006).

Para as características obtidas nas sementes de guavira, cerca de 80% das sementes possuem comprimento que variam de 4,5 a 7,2 mm (Figura 5A), com comprimento médio de 6,27 mm (Tabela 1). O valor médio da largura das sementes foi de 4,01 mm, e 74% das sementes possuem largura compreendida em três classes de tamanho (de 3,4 a 4,3 mm) (Figura 5B). Para a massa fresca da semente, 57% das sementes apresentam valores compreendido em duas classes de peso de 0,08 a 0,14 g (Figura 5C), com peso médio da semente de 0,12 g (Tabela 1). Para o teor de água das sementes, 82% das sementes apresentaram valores compreendidos em duas classes de umidade de 40 a 48% (Figura 5D), enquanto o teor de água médio das sementes foi de 45,6% (Tabela 1). Em frutos de guabiroba-do-cerrado (*Campomanesia pubescens* O. Berg.) e de guavira (*C. adamantium*) coletados no município de Uberlândia, (MG), Oliveira et al. (2011) verificaram que o comprimento médio das sementes foi de 5,26 e 6,00 mm, enquanto a largura das sementes foi de 2,92 e 2,85, respectivamente.

Além do estudo da caracterização morfológica dos frutos e das sementes, também é necessário avaliar a associação entre essas características (Zuffo et al., 2016). Esses autores reportaram que a associação entre as características intrínsecas dos frutos e sementes é muito importante porque permite verificar o grau de interferência de uma característica em outra característica de interesse econômico, e estas informações podem ser utilizadas na seleção indireta de algum caráter específico. Nesse contexto, o coeficiente de correlação de Spearman (r_s) é utilizado para expressar o grau de associação entre duas características numéricas. Um r_s positivo ou negativo corresponde, respectivamente, a uma tendência monotônica crescente ou decrescente entre duas variáveis (X e Y).

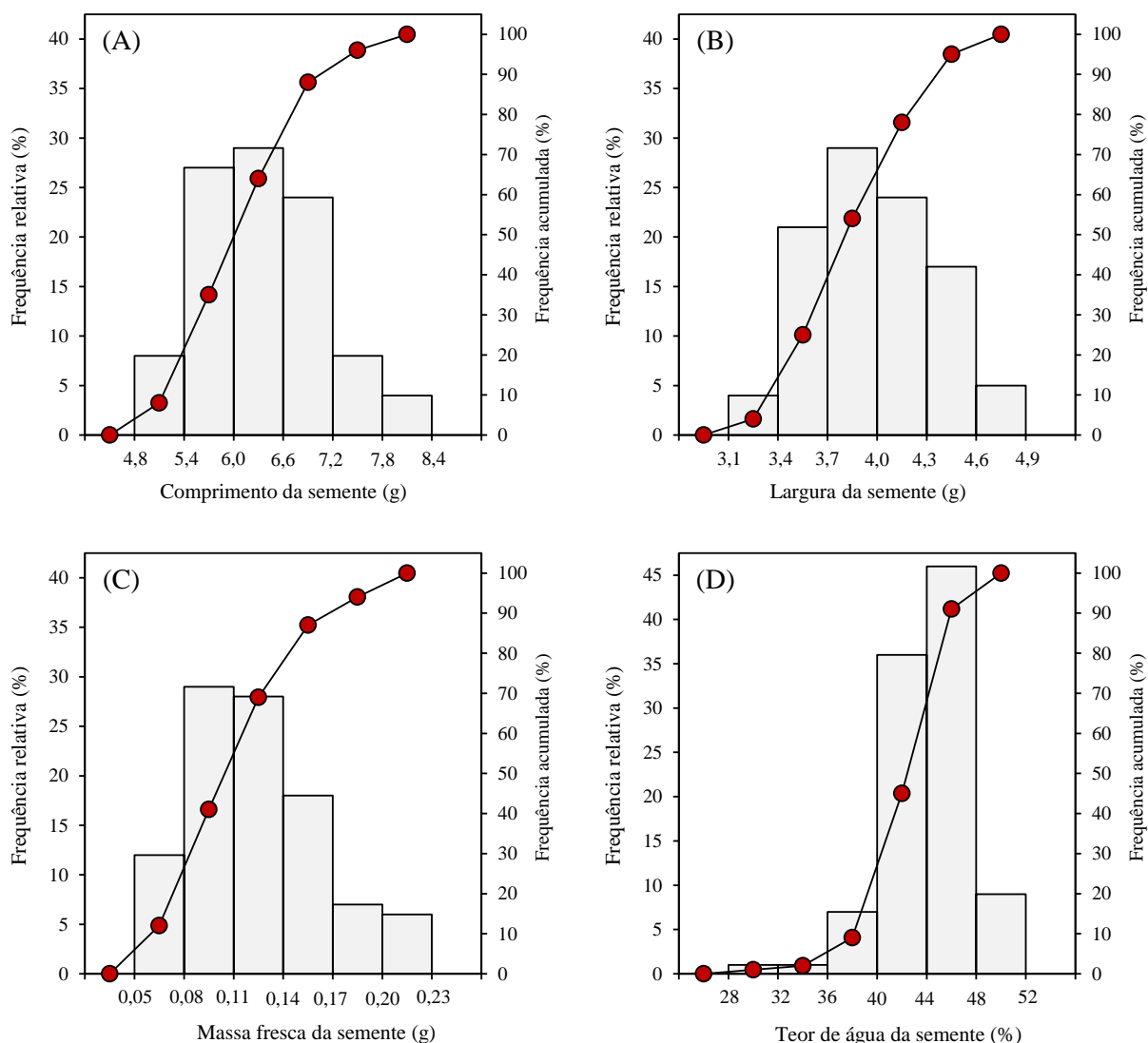
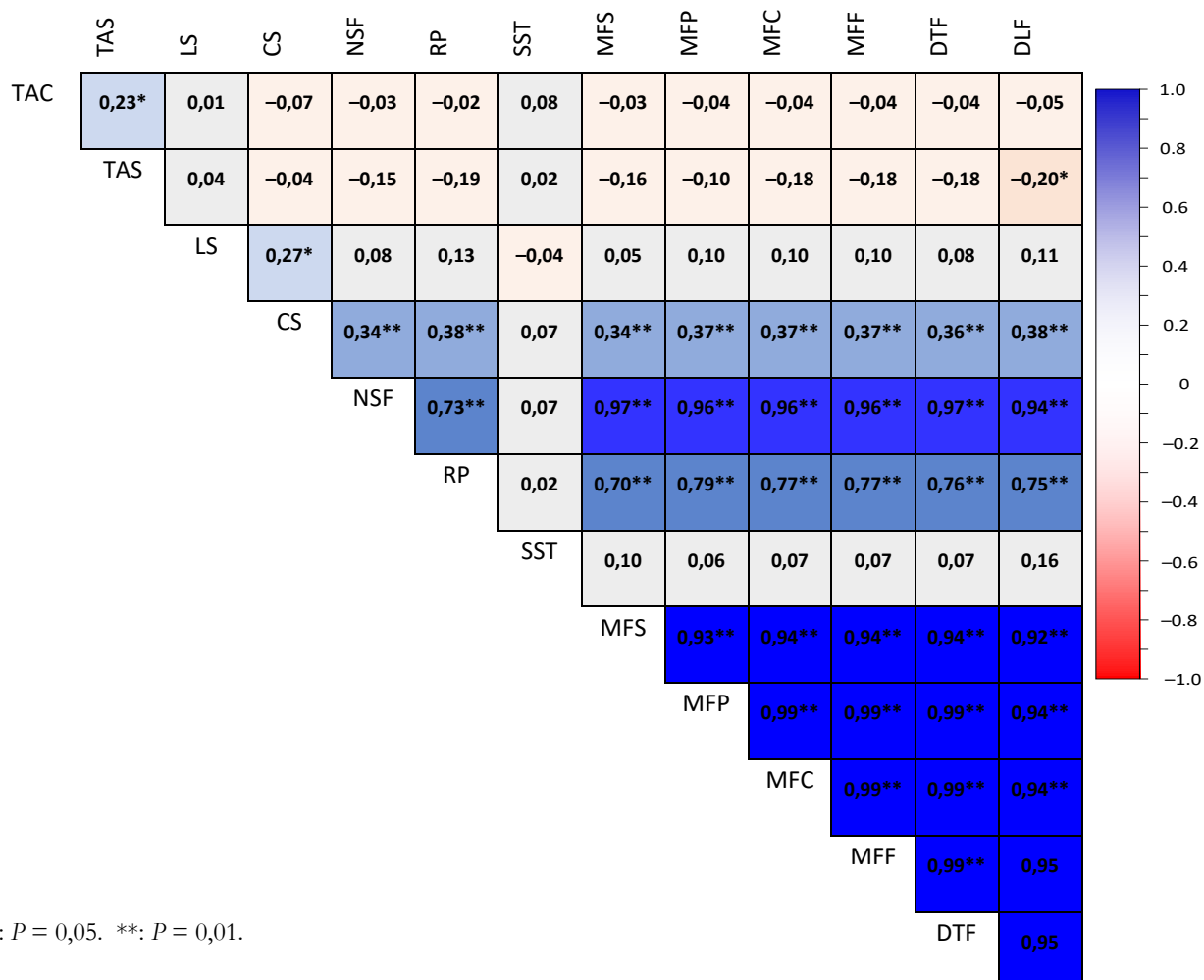


Figura 5. Distribuição das frequências relativas e acumuladas para o comprimento da semente – CS (A), largura da semente – LS (B), massa fresca da semente – MFS (C), teor de água da semente – TAS (D) em frutos de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae) coletados no município de Aporé, GO. N = 100 sementes. Fonte: Os autores.

Os valores obtidos para o rS das características morfológicas dos frutos e sementes de guavira indicaram que houve associação positiva e significativa entre o diâmetro longitudinal do fruto (DLF) com o diâmetro transversal do fruto (DTF), massa fresca do fruto (MFF), massa fresca da casca (MFC), massa fresca da polpa (MFP), massa fresca da semente (MFS), rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS) (Figura 6). O diâmetro transversal do fruto (DF) se correlacionou positivamente com a massa fresca do fruto (MFF), massa fresca da casca (MFC), massa fresca da polpa (MFP), massa fresca da semente (MFS), rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS). A massa fresca do fruto (MFF) se correlacionou significativamente com a massa fresca da casca (MFC), massa fresca da polpa (MFP), massa fresca da

semente (MFS), rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS).



*: $P = 0,05$. **: $P = 0,01$.

Legenda: DLF: diâmetro longitudinal do fruto. DTF: diâmetro transversal do fruto. MFF: massa fresca do fruto. MFC: massa fresca da casca. MFP: massa fresca de polpa. MFS: massa fresca de semente. SST: sólidos solúveis totais. RP: rendimento de polpa. NSF: número de semente por fruto. CS: comprimento da semente. LS: largura da semente. TAS: teor de água da semente. TAC: teor de água da casca.

Figura 6. Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre as características morfológicas dos frutos e sementes de guavira [*Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg.] (Myrtaceae) coletados no município de Aporé (GO). UEMS/Cassilândia, 2019. Fonte: Os autores.

A massa fresca da casca correlacionou-se significativamente com a massa fresca da polpa (MFP), massa fresca da semente (MFS), rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS). A massa fresca da polpa (MFP) se correlacionou significativamente com a massa fresca da semente (MFS), rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS). A massa fresca da semente (MFS) se correlacionou significativamente com o rendimento da polpa (RP), número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS). O

rendimento de polpa (RP) se correlacionou positivamente com o número de sementes por fruto (NSF) e comprimento da semente (CS). O número de sementes por fruto (NSF) se correlacionou positivamente com o comprimento da semente (CS). O comprimento da semente (CS) se correlacionou positivamente com a largura da semente (LS). O teor de água da semente (TAS) se correlacionou positivamente com o teor de água da casca (TAC) (Figura 6).

Com base nesses resultados é possível identificar e selecionar frutos de guavira com maior rendimento de polpa por outras características morfológicas, tais como DLF, DTF e MFF. Portanto, a seleção de plantas com frutos com maior diâmetro e maior peso pode favorecer os programas de melhoramento da espécie, uma vez que essas plantas resultam na produção de frutos com maior rendimento da polpa.

Os maiores coeficientes de correlação de Spearman ($r_s > 0,90$; $P = 0,001$) foram observados entre as dimensões do diâmetro longitudinal e transversal do fruto e as variáveis relacionadas a massa fresca das diferentes partes do fruto. Em todos estes casos, estes resultados eram esperados em virtude de que os frutos de maior tamanho também são mais pesados. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, é possível verificar que algumas características morfológicas dos frutos e sementes de guavira apresentaram alta correlação, sendo possível realizar a seleção direta e indireta para essas características (Zuffo et al., 2016).

Por outro lado, houve correlação negativa e significativa entre o diâmetro longitudinal do fruto (DLF) e teor de água da semente (TAS). Esses resultados indicam que existe uma relação inversamente proporcional entre essas características. Por sua vez, o teor de sólidos solúveis totais (SST) da polpa não se correlacionou significativamente com nenhuma das características morfológicas dos frutos e das sementes (Figura 6).

Informações das características intrínsecas dos frutos e sementes juntamente com a amplitude de variação são importantes para a seleção, pois, podem incrementar ou uniformizar estas características (Gonçalves et al., 2013). Para Zuffo et al. (2016), o conhecimento da correlação também permite definir a interferência da seleção realizada sobre uma característica específica, bem como a realização de seleção indireta para características de difícil mensuração.

Em síntese, com base nos resultados obtidos no presente trabalho, foi possível verificar que algumas características morfológicas dos frutos e sementes avaliadas possuem alta correlação, sendo possível praticar seleção direta e indireta para estas características.

A porcentagem de emergência das plântulas de guavira foi de 87%. Estes resultados indicam que quando as sementes de guavira são semeadas logo após a sua extração dos frutos, esta possuem alto potencial de germinação. A semeadura das sementes de guavira tem sido recomendada logo após sua

extração dos frutos, ou até 3 dias após sua retirada do fruto, a fim de se alcançar maior porcentagem de germinação das sementes (Melchior et al., 2006).

CONCLUSÕES

Os frutos de guavira possuem alta variabilidade na massa fresca dos frutos, casca, polpa e sementes e alta variabilidade no número de sementes por fruto, e estas informações podem ser exploradas nos programas de melhoramento genético e devem ser consideradas na formação de lotes homogêneos de sementes.

O maior rendimento de polpa do fruto pode ser obtido com a seleção de frutos com maior diâmetro longitudinal e transversal e com maior massa devido ao alto grau de associação entre essas características e o rendimento de polpa.

Os frutos de guavira possuem elevado potencial socioeconômico para serem utilizados "*in natura*" ou na indústria de alimentos e bebidas devido ao alto rendimento de polpa ($60 \pm 5\%$) e alto teor de sólidos solúveis totais (19 ± 4 °Brix).

A escolha de frutos de guavira com maior teor de sólidos solúveis totais é uma tarefa de difícil execução, uma vez que esta característica não tem relação direta com nenhuma outra característica intrínseca do fruto ou da semente.

O diâmetro longitudinal e transversal do fruto e a massa fresca do fruto são excelentes indicadores para a seleção de frutos com maior número de sementes, o que permite otimizar a operacionalização do processo de produção de mudas de guavira nos viveiros.

As sementes de guavira possuem alta capacidade de germinação ($>87\%$) quando semeadas logo após sua extração dos frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim IL et al. (2008). Morfologia de frutos, sementes, plântulas e mudas de *Senna multijuga* var. *lindleyana* (Gardner) H. S. Irwin & Barneby – Leguminosae Caesalpinioideae. Revista Brasileira de Botânica, 31(3): 507-516.
- Andrade JS et al. (1993) Caracterização física e química dos frutos de araçá-pêra (*Psidium acutangulum* D.C.). Acta Amazonica, 23(2-3): 213-217.
- Arantes AA, Monteiro R (2002) A família Myrtaceae na estação ecológica do Panga, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Lundiana, 3(2): 111-127.
- Ávidos MFD, Ferreira LT (2003). Frutos dos Cerrados – Preservação gera muitos frutos. Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, 12(1): 36-41.

- Cruz ED et al. (2001) Biometria de frutos e sementes e germinação de jatobá-curuba (*Hymenaea intermedia* Ducke, Leguminosae Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(2): 161-165.
- Cunha MCL, Ferreira RA (2003). Aspectos morfológicos da semente e do desenvolvimento da planta jovem de *Amburana cearensis* (Arr. Cam.) A.C. Smith – cumaru – Leguminosae – Papilionoideae. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(2): 89-96.
- Ferreira RA et al. (2001) Morfologia de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de *Dimorphandra mollis* Benth. – Faveira (Leguminosae - Caesalpinioideae). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(3): 303-309.
- Ferreira SAN (1992) Biometria de frutos de araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh). *Acta Amazonica*, 22(3): 295-302.
- Gonçalves LGV et al. (2013) Biometria de frutos e sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em vegetação natural na região leste de Mato Grosso, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 36(1): 31-40.
- Gusmão E et al. (2006) Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss.). *Cerne*, 12(1): 84-91.
- Landrum LR (1986) *Campomanesia*, *Pimenta*, *Blepharocalyx*, *Legrandia*, *Acca*, *Myrrhimum*, and *Luma* (Myrtaceae). New York: The New York Botanical Garden, 178 p. (Flora Neotropica. Monograph, 45).
- Leonhardt C et al. (2008) Morfologia e desenvolvimento de plântulas de 29 espécies arbóreas nativas da área da Bacia Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia Série Botânica*, 63(1): 5-14.
- Lorenzi H (2002) *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*, vol. 2. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum.
- Lorenzi H et al. (2006) *Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo in natura*. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 672 p.
- Melchior SJ et al. (2006) Colheita e armazenamento de sementes de gabiroba (*Campomanesia adamantium* Camb. - Myrtaceae) e implicações na germinação. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3): 141-150.
- Melo MFF, Varela VP (2006) Aspectos morfológicos de frutos, sementes, germinação e plântulas de duas espécies florestais da amazônia. I. *Dinizia excelsa* Ducke (angelim pedra). II. *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (cedrorana) - Leguminosae: Mimosoideae. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(1): 54-62.
- Milanez CRD et al. (2008) Semi-hypogeal germination in *Pachyrhizus abipa* (Wedd.) Parodi (Fabaceae: Phaseoleae): seedling and sapling morphology. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(2): 353-359.
- Oliveira AKM et al. (2006) Caracterização morfológica, viabilidade e vigor de sementes. *Revista Árvore*, 30(1): 25-32.

- Oliveira CES et al. (2019) Physical characterization of fruits and seeds *Inga laurina* (Sw.) Willd. (Fabaceae - Mimosaceae). *Revista de Agricultura Neotropical*, 6(3): 105-111.
- Oliveira DMT (2001). Morfologia comparada de plântulas e plantas jovens de leguminosas em arbóreas nativas: espécies de Phaseoleae, Sophoreae, Swartzieae e Tephrosieae. *Revista Brasileira de Botânica*, 24(1): 85-97.
- Oliveira MC et al. (2011) Biometria de frutos e sementes e emergência de plântulas de duas espécies frutíferas do gênero *Campomanesia*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(2): 446-455.
- Pelloso IAO et al. (2008) Avaliação da diversidade genética de uma população de guavira (*Campomanesia adamantium* Cambess, O. Berg, Myrtaceae). *Revista Brasileira de Agroecologia*, 3(2): 42-59.
- Piva MG (2002) O Caminho das Plantas Medicinais: Estudo Etnobotânico. Rio de Janeiro: Mondrian.
- Ramos MBP, Ferraz IDK (2008) Estudos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Leguminosae Mimosoideae). *Revista Brasileira de Botânica*, 31(2): 227-235.
- Rodrigues RR, Nave AG (2001). Heterogeneidade florística das Matas Ciliares In: Rodrigues RR, Leitão-Filho H. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: USP/FAPESP, p. 45-71.
- Santiago EF, Paoli AAS (1999) Morfologia do fruto e da semente de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert (Leg-Caesalpinoideae). *Naturalia*, 24(2): 139-152.
- Silva JA et al. (1994) *Frutas nativas dos Cerrados*. Brasília: EMBRAPA, 1994. 166p.
- Silva BMS, Môro FV (2008) Aspectos morfológicos do fruto, da semente e desenvolvimento pós-seminal de faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. - Fabaceae). *Revista Brasileira de Sementes*, 30(3): 195-201.
- Soares FP et al. (2009) Marolo: uma frutífera nativa do Cerrado. Lavras: Editora UFLA, 17p. (Boletim Técnico - Nº 82).
- Steiner F et al. (2017) Physical characterization of fruits and seeds of jambolan [*Syzygium cumini* (L.) Skeels] (Myrtaceae). *Acta Iguazu*, 6(3): 79-90.
- Vallilo MI et al. (2006) Composição química dos frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambessédes) O. Berg. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(4): , 2006.
- Vallilo MI et al. (2005) Características físicas e químicas dos frutos de cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27(2): 241-244.
- Vieira RF, Costa TA (2007) *Frutas Nativas do Cerrado: qualidade nutricional e sabor peculiar*. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos. Ambiente Brasil.
- Zar JH (1996) *Biostatistical analysis*. 4. ed. River, Prentice-Hall/Upper Saddle, New Jersey. 662 p.
- Zuffo AM et al. (2014) Caracterização biométrica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) na região leste de Mato Grosso, Brasil. *Revista Ciências Agrárias*, 37(4): 463-471.

- Zuffo AM et al. (2016) Caracterização biométrica de frutos e sementes de mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e de inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.) na região sul do Piauí, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(1): 455-472.
- Zuffo AM et al. (2017) Atributos biométricos de frutos e sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. *Revista de Ciências Agrárias*, v.40, n.2, p.62-67, 2017.
- Zuffo AM et al. (2018) Fruit biometry and pitombeira seed [*Talisia esculenta* (St. Hil) Radlk (Sapindaceae)]. *Amazonian Journal of Plant Research*, 2(3): 228-232.
- Zuffo AM et al. (2019). Biometric characteristics of fruits, seeds and plants of *Hancornia speciosa* Gomes. (Apocynaceae). *Austrian Journal of Crop Science*, 13(4): 622-627.

Índice Remissivo

C

Campomanesia adamantium, 63, 64, 65, 67, 68, 69,
71, 73, 74
Cerrado, 62, 63, 64

F

floresta, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39

I

Incêndios florestais, 13

P

Pinus, 47, 48, 50, 52, 54, 55, 56, 57

Q

Quercus, 47, 48, 50, 52, 56, 57

S

SMO, 42, 43, 44, 47, 48, 49
solo, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39

T

temperatura do solo, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35,
36, 37, 38, 39

Sobre o organizador



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 165 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 127 resumos simples/expandidos, 66 organizações de e-books, 45 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

