

**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](mailto: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

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

## 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<sup>1\*</sup> 

### 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 CO<sub>2</sub>, 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.

---

<sup>1</sup> 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:

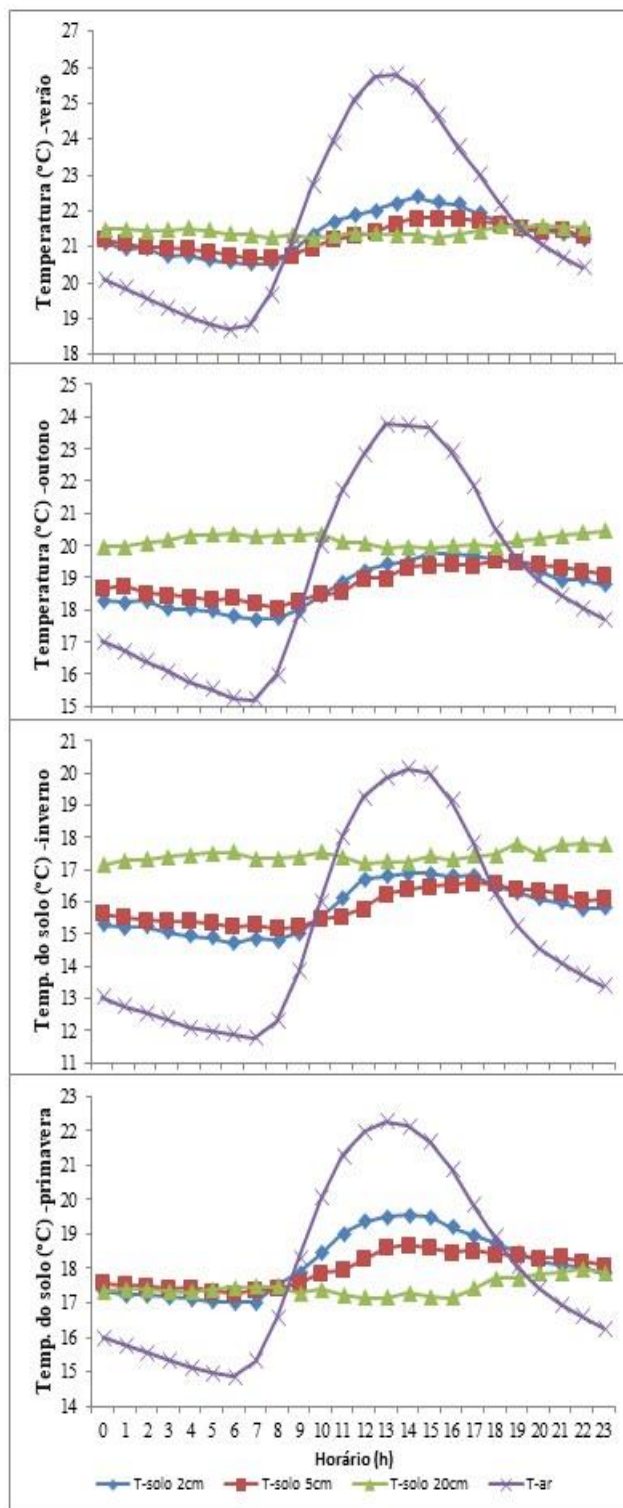
$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i) \quad (4)$$

## 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)<sup>1</sup> da temperatura do solo diária ( $T_{\text{dia}}$ ), mínima ( $T_{\text{min}}$ ) e máxima ( $T_{\text{max}}$ ) 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		
	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$
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 (%)	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{dia}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\text{max}}$
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

<sup>1</sup> 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 Figner-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.

<b>Tsolo 2 cm</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b><math>r</math></b>	<b><math>F_{\text{calculado}}</math></b>	<b>valor-<math>p</math></b>	<b>EPE</b>
$T_{\text{solo\_dia}} = 5,763161 + 0,696819 \cdot T_{\text{ar}}$	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
<b>Tsolo 5 cm</b>					
$T_{\text{solo\_dia}} = 7,064772 + 0,630029 \cdot T_{\text{ar}}$	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
<b>Tsolo 20 cm</b>					
$T_{\text{solo\_dia}} = 10,33826 + 0,51048 \cdot T_{\text{ar}}$	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.

	<b>EQM</b>	<b>d</b>	<b>EM</b>	<b>r</b>	<b>Desempenho (c)</b>
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.

## 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](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

