



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



## Análise do perfil vertical da temperatura do ar e do solo utilizando componentes principais e geoestatística em floresta no Sudoeste da Amazônia

Bruno Santos Abdalla<sup>1</sup>, Luciana Sanches<sup>2</sup>, Nara Luísa Reis de Andrade<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, e-mail: [bsabdalla@hotmail.com](mailto:bsabdalla@hotmail.com), ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6617-069X>

<sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, e-mail: [lsanches@hotmail.com](mailto:lsanches@hotmail.com) (autor correspondente) ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3645-3541>

<sup>3</sup>Universidade Federal de Rondônia, e-mail: [naraluisar@gmail.com](mailto:naraluisar@gmail.com) ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8602-6161>  
Artigo recebido em 22/03/2021 e aceito em 21/12/2023

### RESUMO

A temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) está intimamente relacionada com a temperatura do ar no solo ( $T_{solo}$ ), e seu acoplamento pode ser afetado por outros fatores, incluindo a estrutura do dossel e as variáveis meteorológicas. Neste estudo, a dinâmica da  $T_{ar}$  e  $T_{solo}$  foi investigada durante o ano e as estações chuvosa e seca na floresta do sudoeste da Amazônia, Brasil. Uma torre meteorológica de 62 m está monitorando variáveis meteorológicas (temperaturas do ar na superfície em seis alturas: 2, 12, 22, 32, 54 e 62 m) e variáveis térmicas do solo (temperaturas do solo em profundidades de 2, 5, 10, 20 e 50 cm) compreender como a dinâmica do dossel responderá à vertical e temporal e a influência que um alcatrão em cada altura exerce sobre as demais, definindo assim a existência da interação entre a vegetação e o microclima da região, apresentando menor temperatura do ar no interior do dossel. Usando o procedimento geoestatístico, o ciclo de tempo diário foi confirmado. Usando a análise de componentes principais (PCA), a influência da temperatura do ar sobre as outras foi confirmada, além de seu acoplamento influenciado pela estrutura da vegetação, formando assim o microclima da região. Palavras-chave: acoplamento da temperatura, floresta tropical, altura do dossel.

## Analysis of the vertical profile of air and soil temperature using principal components analysis and geostatistics in a forest in the Southwest Amazon

### ABSTRACT

The air temperature ( $T_{air}$ ) is closely related to the soil air temperature ( $T_{soil}$ ), and their coupling may be affected by other factors, include the structure canopy and the variables meteorological. In this study, the dynamics of  $T_{air}$  and  $T_{soil}$  was investigated during the year and wet and dry season in Southwestern Amazon forest, Brazil. A 62 m meteorological tower is monitoring meteorological (surface air temperatures at six heights: 2, 12, 22, 32, 54 and 62 m) and ground thermal variables (soil temperatures at depths of 2, 5, 10, 20 and 50 cm) to understand how the dynamics of the canopy will respond to vertical and temporal and the influence that an  $T_{air}$  at each height has on the others, thus defining the existence of the interaction between vegetation and the region's microclimate, presenting a lower air temperature inside the canopy. Using the geostatistical procedure, time cycle was confirmed. Using a principal component analysis (PCA), the temperature of the air temperature over the others was confirmed, in addition to its coupling influenced by the structure of the vegetation, thus forming the microclimate of the region.

Keywords: temperature coupling, rainforest, canopy height.

### Introdução

As florestas tropicais ocupam um importante papel na manutenção do clima em todo o planeta, além de abrigar uma grande e variada biodiversidade (Basset et al., 2012). Estudos indicam que as florestas absorvem quantidades consideráveis de radiação solar incidente e as transformam em calor latente, resfriando e estabilizando as temperaturas, favorecendo a

umidade do ar na atmosfera, e a geração de precipitação (Lawrence e Vandecar, 2014).

A floresta tropical com a maior extensão do planeta é a floresta Amazônica (Malavelle et al., 2019), com aproximadamente 7 milhões de km<sup>2</sup>, o que equivale a 56% das florestas tropicais do mundo (Pieranti e Silva, 2007). Localizada no meio dos trópicos, onde a troca de energia entre a superfície

e a atmosfera são intensas, uma mudança no ecossistema dessa região pode afetar a circulação atmosférica global, o clima no Brasil, ou até mesmo o clima global (Gomes et al., 2015). A radiação solar influencia na temperatura do ar e na quantidade de vapor d'água na atmosfera em uma região, e consequentemente na energia disponível para o aquecimento do solo. A temperatura do solo é um fator primário na determinação das trocas de energia e massa com a atmosfera e taxas e direções dos processos físicos do solo. A temperatura do solo varia em resposta às mudanças nas trocas de energia radiante, térmica e latente que ocorrem principalmente pela superfície do solo (Tyagi e Satyanarayana 2010). Em solo florestal permite apenas 5 a 20% da radiação solar de ondas curtas alcançar a superfície do solo (Beltrami, 2001) influenciando nos processos físicos do solo definidos pelo microclima. Shaw e Patton (2003) e Patton et al (2016), reportam a influência do dossel no microclima. A floresta Amazônica responde a variabilidade da temperatura do ar em diversas alturas influenciando na transferência do calor no solo. Em florestas naturais, o conhecimento da estrutura da vegetação é importante para estimar a biomassa e a produtividade e entender a influência na sua biodiversidade e sua estabilidade (Gu et al., 2021). Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a influência da temperatura do ar e temperatura do solo em várias profundidades no sudoeste da floresta Amazônica utilizando análise de componentes principais e geoestatística.

## Material e métodos

### Localização e caracterização da área experimental

O local em estudo foi a Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru) é uma unidade de conservação federal de proteção integral, criada no dia 11 de julho de 1979, pelo do Decreto Federal 83.716, com uma área aproximada de 346.861,71 ha, e inserida no bioma da Amazônia.

A REBIO Jaru encontra-se, em sua maior parte localizado no Estado de Rondônia, entre a latitude 09°19'52" e 10°11'46"S e longitude 61°35'40" e 61°52'48"O inseridos em seis municípios: Ji-Paraná, Vale do Anari, Machadinho D'Oeste, Theobroma, Ouro Preto do Oeste e Vale do Paraíso e possui limite com os municípios Colniza e Rondolândia no estado de Mato Grosso. A área da Reserva Biológica de Jaru está localizada na bacia do Rio Machado, também conhecido como Rio Ji-Paraná.

Localizado em uma área de floresta tropical amazônica a 120 m do nível do mar, a

reserva a contém extensas áreas sem muita degradação humana, às margens do rio Machado ou Ji-Paraná. Estas particularidades definem a REBIO Jaru como um dos mais importantes refúgios para a fauna silvestre do estado e de toda a região (Azevedo, 2014). Nesta área reside em floresta primária classificada como floresta ombrófila aberta com um índice de área foliar de aproximadamente 4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> e uma altura média do dossel de 30 m (Barbino et al., 2021).

A REBIO Jaru possui um clima tropical chuvoso, com uma temperatura média do ar de 24,7°C e com médias anuais de precipitação que variam entre 1700 mm ao sul e 2400 mm ao norte (MMA, 2010). A umidade relativa média do ar é de 82%, já a temperatura média da região é 25 °C (Andrade et al., 2009), tal como as medidas de temperatura realizadas por Costa et al. (2020), em que relatam a temperatura média da região, entre os valores entre 24 °C e 26 °C, possuindo uma amplitude térmica de 1-2 °C.

### Instrumentação

A reserva dispõe, de uma torre metálica meteorológica, com medições de fluxos de energia e massa e das variáveis microclimáticas no sítio experimental do LBA, situado dentro da Reserva Biológica de Jaru, em Ji-Paraná. Em 2002, em consequência das ocorrências de queimadas causadas por invasores nas localidades próxima a torre, fez com que ocorresse a inativação dela. Em 2004 a torre reativada, foi instalada a 13 km ao sul da posição anterior na coordenada 10°11'11,4"S e 61°52'29,9"O, a altitude 120 m do nível do mar.

Em torno da torre, o relevo característico é plano-ondulado, em consequência das áreas onduladas, como a Serra da Providência. A área possui diversos igarapés e nascentes, além de possuir afluentes de grandes rios, o que dificulta a ocorrência de incêndios na vegetação primária, devido à alta concentração de umidade (IBAMA, 2006).

A vegetação no local é composta por um rico sub-bosque de palmeiras de apenas alguns metros, a altura média do dossel é de cerca de 30 m, mas algumas árvores emergentes chegam a medir 45 m (Zeri et al., 2015). O índice de área foliar no local varia entre 5 e 6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (Andreae et al., 2002). Para medir a temperatura do ar, a torre dispunha de seis sondas de temperatura instalados nas alturas de 2, 12, 22, 32 e 54 m em relação ao solo, no topo da torre, a 62 m de altura, está instalado um termohigrômetro e para realizar as medidas de temperatura do solo, a base da torre possuía um sensor de temperatura do perfil do solo

STP01, que realizava leituras a 2, 5, 10, 20 e 50 cm abaixo do solo (Tabela 1).

Os dados coletados pelos sensores foram armazenados por meio de um Datalogger (modelo

CR10X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA), que realizava leituras a cada 30 segundos e o armazenamento das médias dessas leituras em sua memória a cada 10 min.

**Tabela 1.** Descrição dos instrumentos instalados na torre localizada na REBIO Jaru.

Variável	Instrumento utilizado	Altura do solo	Precisão
Temperatura do ar	Termohigrômetro Vaisala (HMP35A), Helsinki, Finlândia	62 m	±0,4°C
	Sonda de temperatura Campbell Scientific Instrument (107), Utah, USA	2, 12, 22, 32 e 54 m	±0,2°C
Temperatura do solo	Sensor de temperatura do perfil do solo STP01 (Hukseflux), Delft, Holanda.	-0,02, -0,05, -0,10, -0,20, -0,50 m	±0,02°C

Tratamento e análise de dados

A torre micrometeorológica localizada na REBIO Jaru possui dados coletados desde 1998, de maneira ininterrupta, portanto a ocorrência de falha é pertinente. Essas falhas ocorrem por erros intrínsecos aos sensores, ou a por falta de manutenção técnica em consequência do difícil acesso a torre, ou até mesmo erros de coleta e armazenamento (Depiné et al., 2014).

Devido à ocorrência de falhas na série temporal das variáveis meteorológicas, selecionou-se o ano de 2008 para representar um ano típico devido a menor quantidade de falha simultânea entre as leituras de temperatura do ar em diferentes alturas.

Em 2008 foram realizadas 17.544 leituras a cada 1 hora. A média de falhas foi aproximadamente 13,74 %, já os dados válidos apresentaram uma média de 86,25%. O sensor que apresentou uma maior falha foi o que está posicionado a 2 m de altura do solo.

No mês de dezembro, houve falha no sensor que registrava a temperatura do ar a 22 m de altura, durante o processo de correção de falha não foi possível recuperar as falhar desse mês.

Para realizar o preenchimento das falhas ocorridas durante a coleta de dados foi utilizado a média para falhas de até 1 hora e a interpolação para falhas acima de 1 hora, dessa forma, fez-se com que o período sem falhas se comportasse da mesma maneira a um período similar com dados, contribuindo para um preenchimento de falha mais realístico.

A interpolação dos dados foi realizada da seguinte maneira, para falhas maiores que 1 h e menor que 3 h foi utilizado a equação:

$$X_i = X_p + \frac{(X_{p-f-i})}{f + 1} \cdot (i - P)$$

em que,  $X_i$  é o valor a ser preenchido,  $X_p$  é o antecessor da falha e  $X_{p-f-i}$  é o sucessor da falha. Se a falha ( $f$ ) for maior que 3 h e menor que 24 h:

$$X_i = X_{i-24} + \frac{[(P + f + 1) - i]}{f + 1} \cdot (X_p - X_{p-24}) + \frac{(i - P)}{f + 1} \cdot (X_{p-f-1} - X_{p-f-1-24})$$

em que,  $X_{i-24}$  é o valor coletado 24 h antes da falha,  $X_{p+f+1}$  é o sucessor da falha. E se a falha for maior que 24 h:

$$X_i = X_{i-24m} + \frac{[(P + f + 1) - i]}{f + 1} \cdot (X_p - X_{p-24m}) + \frac{(i - P)}{f + 1} \cdot (X_{p-f-1} - X_{p-f-1-24m})$$

em que,  $m$  é igual a parte inteira de  $(f/24 + 1)$ .

A estação seca foi definida com meses entre maio e outubro, e a estação chuvosa de novembro a abril baseados nas pesquisas de Malhi et al. (1998) e Alves et al. (2021).

O mapa temporal do perfil da temperatura do ar e do solo foi realizado com os dados de um dia médio das temperaturas do ar e das temperaturas do solo do ano 2008 e das estações seca e chuvosa de 2008, em seguida elaborou-se os gráficos de contorno em que o eixo x representa a

horas do dia (1 – 24h), o eixo y a altura em que foi realizado as medidas da temperatura em metros e o eixo z a temperatura do ar em graus celsius.

Nas análises geoestatísticas, houve a necessidade de estruturar os dados de dia médio, de maneira em que os dados de horário, altura e temperatura do ar, sejam separados por colunas, sendo que cada uma dessas colunas representarão um eixo do plano cartesiano. Porém, devido à dificuldade de se trabalhar com a espacialização da temperatura em relação ao tempo, buscou-se neste trabalho o desenvolvimento de um protocolo de simplificação de variáveis, esse tipo de protocolo já foi utilizado em estudos anteriores conforme Rondon (2011).

O protocolo de simplificação de variáveis foi desenvolvido de maneira que ocorra a redefinição das escalas das variáveis de altura e das horas, para que fiquem com a mesma proporção.

Para transformar as escalas de altura e a hora, nas mesmas proporções utilizou-se para a altura a seguinte equação, em que “AP” representa o novo valor da altura e “A” a altura medida no local.

$$AP=0,0465A-1,3877$$

Para as horas foi utilizado a seguinte equação, a qual o “HP” representa o novo valor das horas e “H” a o horário no fuso local.

$$HP=0,1425H-1,8129$$

## Resultados e discussão

Durante o ano de 2008, o local em estudo a média anual da temperatura foi 24,2°C, média da máxima temperatura foi 36,4°C, a mínima foi 14,2°C. A média anual da umidade relativa do ar foi 79,41%, a média anual da máxima umidade relativa do ar foi 98,1%, em fevereiro, mês com forte atividade convectiva, e a mínima 21,5% em agosto. Em 2008, a região apresentou uma precipitação máxima de 60 mm/dia (Alves, 2017).

## Caracterização do perfil da temperatura do ar e do solo

A média anual da amplitude da  $T_{ar}$  em diferentes alturas foi 3,1 °C durante o ano 2008, sendo a menor  $T_{ar}$  a 32 m e a maior  $T_{ar}$  a 22 m. Concordando com Andrade et al. (2009) que mencionaram a média da  $T_{ar}$  na região de 25°C, portanto, as médias de  $T_{ar}$  em todo o perfil apresentaram uma diferença de 1 a 3°C em relação da média da  $T_{ar}$  característica da floresta.

As mínimas  $T_{ar}$  ocorreram entre 32 e 54 m de altura, considerando que a altura média do dossel está entre 30 e 50 m (Santos, 1999), a razão pelo registro das menores temperaturas ar ser menor na região do dossel, é pertinente ao processo de evapotranspiração da planta, o qual causa uma elevação da umidade do ar e devido à alta concentração de água no local, faz com que a maior parte da energia recebida pela radiação solar é dissipada em forma de calor latente, ao invés de calor sensível, provocando consequentemente a redução da temperatura do ar (Heringer e Lucas, 2014).

A mínima da média diária da  $T_{ar}$  ocorreu na estação chuvosa (novembro a abril), devido a maior ocorrência do regime pluviométrico da região. Durante a estação seca (maio a outubro), estação em que ocorre menor intensidade de precipitação, as  $T_{ar}$  foram maiores, concordando com Aguiar et al. (2019), que reportam a média da  $T_{ar}$  de 24,8°C na estação chuvosa e 26,2°C na estação seca.

As médias mínimas da  $T_{ar}$  ocorreram a 32 e 54 m do solo, no entanto, as  $T_{ar}$  em todas as alturas, apresentaram variabilidade semelhante, com maiores temperaturas em setembro e outubro e menores em junho e julho.

A menor amplitude da  $T_{ar}$  ocorreu durante a estação chuvosa, concordando com Nascimento et al. (2016) que mencionaram que há diferença na amplitude térmica da  $T_{ar}$  entre as estações seca e úmida na floresta Amazônica na REBIO Jaru, Rondônia.

Continuando na estação seca, a 12, 22, 54 e 62 m de altura ocorreram as maiores  $T_{ar}$ , e a 32 m as menores  $T_{ar}$ . A redução da  $T_{ar}$  a 32 m, esteve relacionada com a taxa de evapotranspiração do dossel (Leinonen e Jones, 2004), já que a altura média do dossel é em torno de 35 m (Gomes et al., 2015).

Com relação a  $T_{ar}$  abaixo do dossel durante as estações, houve uma variação menor na estação chuvosa em relação a estação seca, no entanto, a  $T_{ar}$  a 62 m foi maior na seca, possivelmente devido as menores taxas de cobertura de nuvens na estação seca, permitindo assim uma maior incidência de radiação solar durante o dia, aumentando a energia disponível no sistema (Andrade et al., 2016).

Durante a estação chuvosa, a  $T_{ar}$  a 22 m teve uma maior variação da temperatura do ar relação as demais alturas. Enquanto as  $T_{ar}$  a 32 e 54 m, foram inferiores as  $T_{ar}$  nas demais alturas.

Durante a estação seca houve uma diferença maior entre as médias e as medianas da  $T_{ar}$ , de 0,6°C a 1,4°C, provavelmente causada pela influência das friagens que são frentes frias que

atingem a Amazônia durante o inverno (Oliveira et al., 2004).

Contudo as menores médias de  $T_{ar}$  a 12 e 22 m de altura ocorreram na estação seca ao invés da estação chuvosa, ou seja, nas alturas abaixo das copas das árvores ocorreram uma redução na  $T_{ar}$ , enquanto, a 32, 54 e 62 m, que se situam na dentro e acima do dossel, houve uma elevação da  $T_{ar}$  em relação a  $T_{ar}$  na estação chuvosa. O fato ocorreu

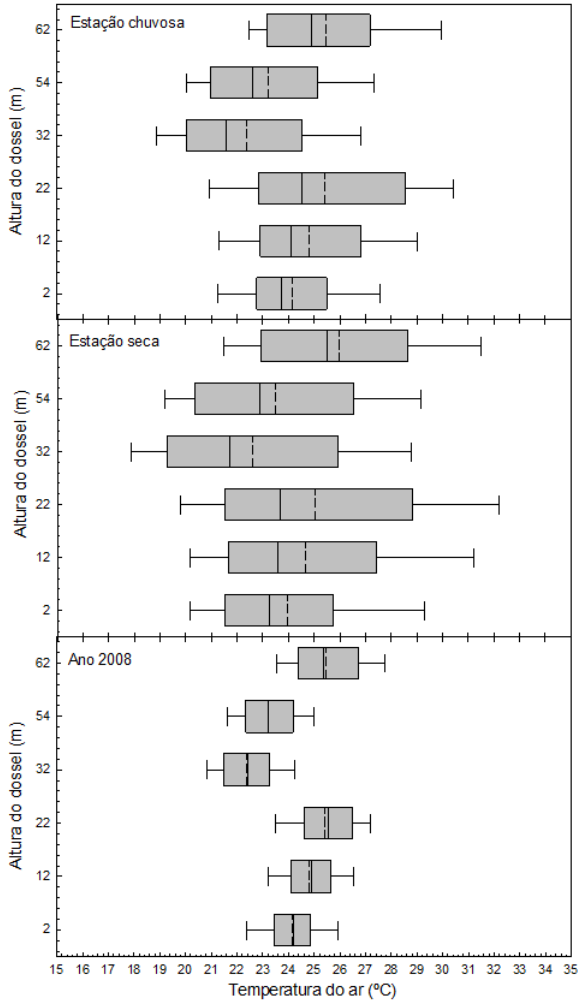


Figura 1. Box-plot da Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) em seis alturas do dossel (2, 12, 22, 32, 54 e 62 m) durante a estação chuvosa, estação seca e o ano 2008 na floresta no sudoeste da Amazônia. O box-plot representa a média (linha tracejada preta), mediana (linha sólida preta) e os percentis 10 $^{\circ}$ , 25 $^{\circ}$ , 75 $^{\circ}$  e 90 $^{\circ}$ .

O mapa temporal do perfil da temperatura, no eixo x é representado a hora local do dia, no eixo y a altura do dossel (m) e a profundidade do solo (m), as cores representam a temperatura do ar e do solo ( $^{\circ}\text{C}$ ) (Figura 3). A média mínima da  $T_{ar}$  foi entre 15 e 20  $^{\circ}\text{C}$  durante as 23 h e 9 h, e as máximas

devido a radiação global solar incidente na parte baixa do dossel ser menor (Santana et al., 2018), em solo florestal permite apenas 5 a 20% da radiação solar de ondas curtas alcança a superfície do solo (Beltrami, 2001), mantendo desse modo as  $T_{ar}$  mais baixas. O Box-plot foi semelhante ao dia médio da  $T_{ar}$ , com as menores  $T_{ar}$  a 32 m e a menor variação a 2 m (Figura 1).

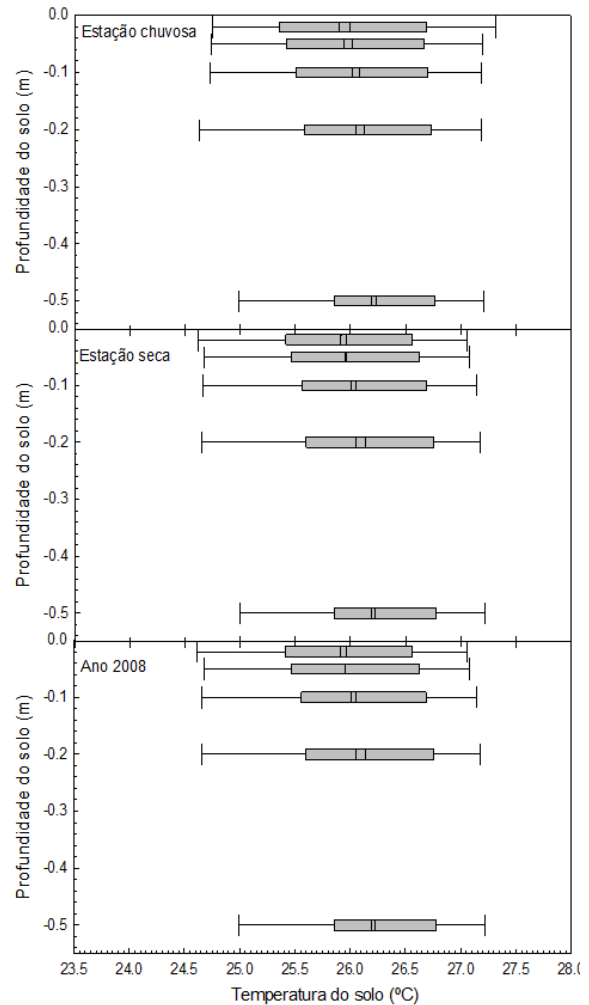


Figura 2. Box-plot da Temperatura do solo ( $^{\circ}\text{C}$ ) em cinco profundidades do solo (2, 5, 10, 20 e 50 cm) durante a estação chuvosa, estação seca e o ano 2008 na floresta no sudoeste da Amazônia. O box-plot representa a média (linha tracejada preta), mediana (linha sólida preta) e os percentis 10 $^{\circ}$ , 25 $^{\circ}$ , 75 $^{\circ}$  e 90 $^{\circ}$ .

$T_{ar}$  durante as 23 h e 9 h e a média da  $T_{ar}$  foi próximo de 30 $^{\circ}\text{C}$ . No entanto, a  $T_{ar}$  entre 30 e 50 m foi menor que nas demais alturas (Figura 3), confirmando assim a influência do aumento de cobertura vegetal sobre a  $T_{ar}$  (Ziter et al., 2019). As temperaturas do ar mais baixa são devido ao

aumento da capacidade de evapotranspiração da área, causado pela transpiração foliar, resultando a difusão do vapor de água através dos poros estomáticos (Taiz e Zeiger, 2009), gerando uma elevação da retenção de água na região, dessa maneira a maior parte da energia recebida pela radiação solar é dissipada em forma de calor latente, ao invés de calor sensível (Yu e Hien, 2006; Albuquerque e Lopes, 2016). No entanto, na mesma altura na estação seca, conforme o horário local, entre as 10 e 17 h, houve uma elevação da  $T_{ar}$ , a ocorrência da elevação nesse período foi explicado pela baixa umidade do ar no período. Na estação seca, a  $T_{ar}$  acima de 5 m apresentou uma temperatura mais baixa entre as 19 h e 9 h, já no intervalo entre 10 e 18 h, ocorreu um aumento na  $T_{ar}$ , com pico as 15 h.

O horário das 15 h, a  $T_{ar}$  foi mais elevada durante as estações, na estação seca, foi aproximadamente 30°C dentro do dossel, entre 30 e 50 m, diferentemente da estação chuvosa, onde houve um aumento da  $T_{ar}$ , porém ela esteve entre 20 °C e 25 °C. A diferença entre a  $T_{ar}$  durante as

estações está relacionada ao regime pluviométrico, consequentemente a umidade relativa do ar.

Durante a estação chuvosa, as  $T_{ar}$  acima do dossel (a 62 m de altura da torre) estiveram em torno a 25°C e na estação seca acima de 30°C, motivo da diferença de temperatura acima do dossel entre a estação seca e úmida, decorreu devido a estação chuvosa ter uma maior quantidade de nuvem em relação a seca (Andrade et al., 2016).

As  $T_{solo}$  entre 0 e 30 cm foram mínimas as 10 h e após as 20h, e máximas entre as 10 h e 20 h. As máximas  $T_{solo}$  ocorreram na estação chuvosa entre as 10h e 23 h, no entanto as mínimas  $T_{solo}$  estiveram entre 0 e 10 h. Na estação seca, entre 14 e 19 h, ocorreram as maiores  $T_{solo}$  e entre as 4h e 10h, a menores.

Pelo teste Kolmogorov-Smirnov verificou-se a não normalidade dos dados, utilizando então para a correlação entre as temperaturas nas alturas, a correlação significativa de Spearman, que foi positiva em todas as  $T_{ar}$  em diferentes alturas, ou seja, se a  $T_{ar}$  em uma determinada altura aumentou, a  $T_{ar}$  nas demais alturas aumentaram (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre as temperaturas do ar nas a 2, 12, 22, 32, 54 e 62 m de altura na REBIO Jaru/RO, no ano 2008.

$T_{ar}$	Estatística	$T_{ar}$					
		2 m	12 m	22 m	32 m	54 m	62m
2 m	$\rho$ .	1,00	0,99	0,94	0,95	0,93	0,89
	p-valor	.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Elementos válidos	51587	51587	48015	51567	51567	51572
12 m	$\rho$	0,99	1,00	0,97	0,96	0,94	0,89
	p-valor	0,00	.	0,00	0,00	0,00	0,00
	Elementos válidos	51587	52621	48015	52601	52601	52606
22 m	$\rho$	0,94	0,97	1,00	0,95	0,92	0,84
	p-valor	0,00	0,00	.	0,00	0,00	0,00
	Elementos válidos	48015	48015	48015	47995	47995	48000
32 m	Coef. de correlação	0,95	0,96	0,95	1,00	0,98	0,94
	p-valor	0,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00
	Elementos válidos	51567	52601	47995	52684	52684	52684
54 m	$\rho$	0,93	0,94	0,92	0,98	1,00	0,97
	p-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	.	0,00
	Elementos válidos	51567	52601	47995	52684	52684	52684
62 m	$\rho$	0,89	0,89	0,84	0,94	0,97	1,00
	p-valor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.
	Elementos válidos	51572	52606	48000	52684	52684	52689

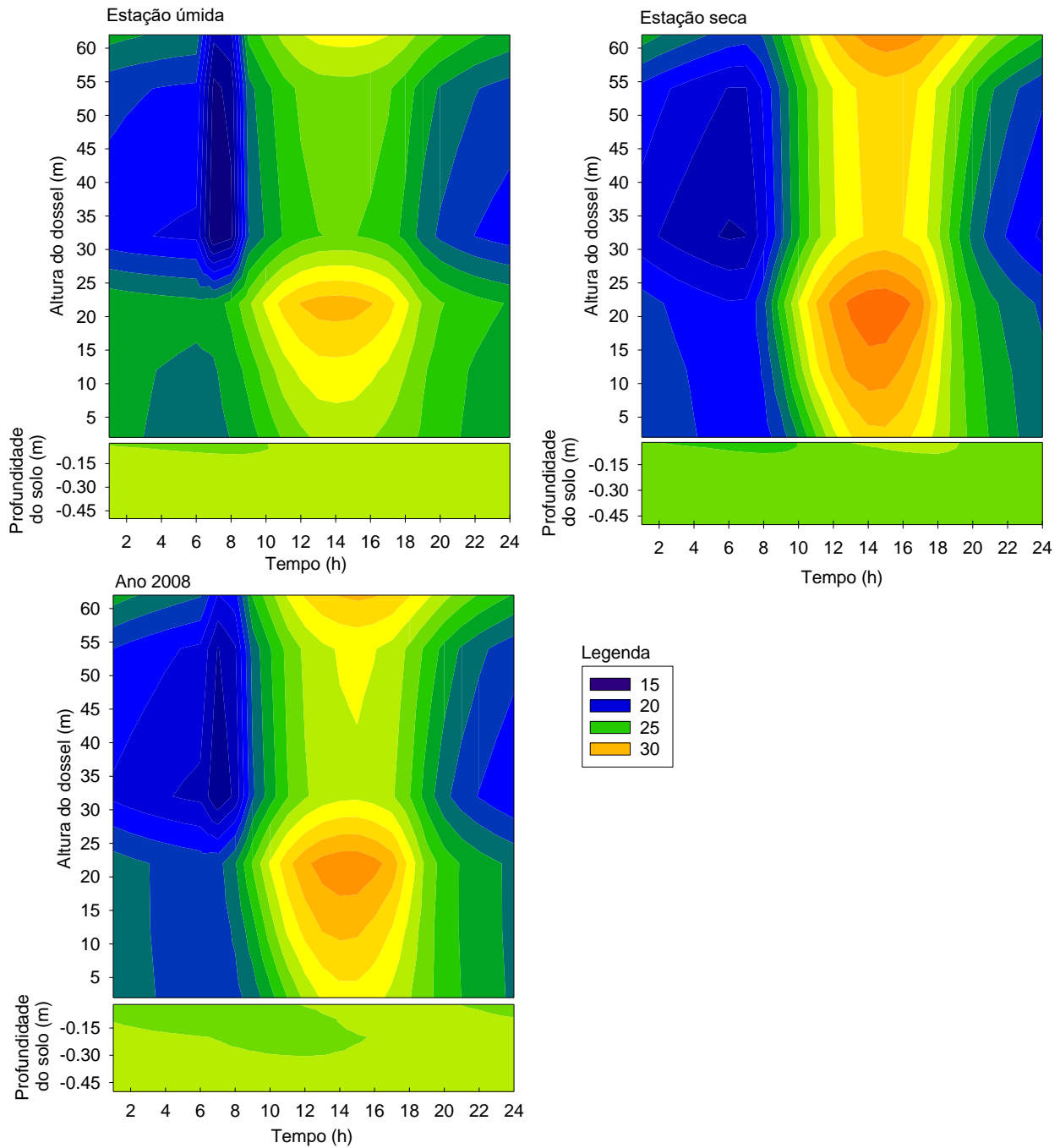


Figura 3. Mapa temporal de um dia típico da temperatura do ar e do solo (°C) durante a estação chuvosa, estação seca e o ano 2008 na floresta no sudoeste da Amazônia.

### Análise geoestatística do perfil da temperatura do ar

A análise espaço-temporal utilizando de semivariograma das  $T_{ar}$  em diferentes alturas (Figura 4) permitiu avaliar a dependência temporal entre as  $T_{ar}$ . O semivariograma analisado, não apresentou o formato de um variograma clássico,

como os modelos esféricos, gaussiano ou hiperbólico.

O semivariograma ao atingir o patamar não estabilizou e aumentou, conforme o formato do variograma durante a estação seca com uma descendência do patamar de maneira bem sutil, onde o modelo onda foi o que melhor descreveu esse comportamento. Modelo semelhante foi

mencionado por Cunha et al. (2018), em que a configuração senoidal em estudos temporal sobre o albedo.

O alcance indicou a distância temporal, onde o crescimento do semivariograma e o patamar na distância 1,2, ponto máximo de crescimento, isso porque as  $T_{ar}$  apresentam um ciclo temporal diário de aproximadamente 10 h, duração da insolação na floresta Amazônica. O efeito pepita foi próximo a zero, devido a dependência forte

entre a  $T_{ar}$  e a hora do dia. Após definidos os semivariogramas, o mapa de contorno da krigagem, indica as isolinhas que representam a variabilidade espacial da temperatura do em relação à altura do dossel (Figura 4), onde o eixo x representou o tempo e o eixo y a  $T_{ar}$  nas diferentes alturas. Como houve um redimensionamento nas escalas houve a conversão dos valores dos eixos x e y.

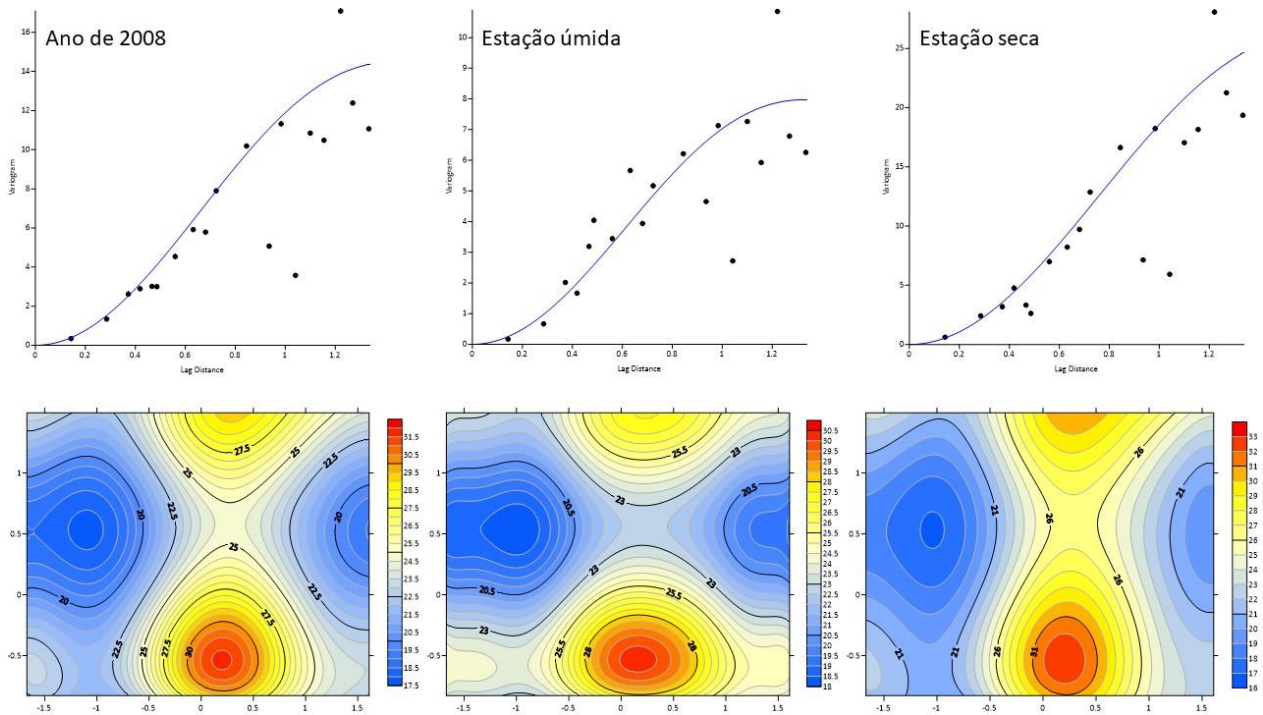


Figura 4. Semivariograma e predição da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) no ano de 2008 na estação chuvosa e na seca.

A  $T_{ar}$  mais baixa, (coloração azul na Figura 4), ocorreu entre as 20 h (1,04) e as 10 h (-0,39) e as  $T_{ar}$  mais altas ocorreram entre as 10h e as 20h (Figura 3). As  $T_{ar}$  mais amenas ocorreram a 32 m (0,1) e 54 m (1,12), conforminando uma característica da região onde a altura média do dossel está entre 30 e 50 m (MMA, 2010).

Durante a estação chuvosa, houve  $T_{ar}$  menor, o evento ocorreu nos horários entre 10h (-0,39) e 20h (1,04), o mesmo aconteceu durante o desenvolvimento do mapa temporal do perfil do  $T_{ar}$  na estação chuvosa (Figura 4).

No entanto, para aferir a predição realizado pela krigagem, realizou-se a validação cruzada. Para a estimativa do período de todo o ano de 2008, a krigagem apresentou uma acurácia de 98,6%, na estação chuvosa o modelo apresentou uma acurácia

maior, cerca de 99,79% e para a estação seca a acurácia foi 99,46%.

### Análise de Componentes Principais

A inter-relação entre as  $T_{ar}$  nas diferentes alturas foi verificada pela Análise de Componentes Principais (ACP). Durante o ano 2008, a primeira dimensão (Dim1) foi responsável por 96,6% da variação total das  $T_{ar}$  nas diferentes alturas, a dimensão 2 (Dim2) influência apenas 2,7% variação total das  $T_{ar}$  nas diferentes alturas e as outras dimensões apresentaram uma influência inferior a 1%.

A ACP no ano de 2008, foi simulada com  $T_{ar}$  durante a estação chuvosa (Figura 5) e seca (Figura 5), onde a dimensão 1 foi a dimensão com a maior representatividade dos dados, assim como

aconteceu na análise dos dados de todo o ano de 2008 (Figura 5).

No entanto quando a análise foi realizada por estação, a dimensão 1 apresentou uma taxa de representatividade dos dados maior que a análise referente a todo o ano de 2008. A dimensão 2, em ambas as estações tiveram uma influência menor que 2,1%, diferente da análise dos dados de todo o ano de 2008, que representou cerca de 2,7%.

Portanto ao utilizar apenas uma dimensão gerada pelo ACP, 96,6% dos dados representaram as  $T_{ar}$  nas diferentes alturas no ano de 2008 da Floresta Amazônica. Este resultado corrobora com um estudo realizado por Pineda-martínez e Carbajal (2017), analisando variáveis climáticas no México, demonstraram que apenas três dimensões foram suficientes para explicar 82,1% dos dados. No entanto, Vindel et al. (2016) apresentaram na ACP da variação dos dados apenas uma dimensão, a qual explica 81% da variância para estimativa do satélite e 91% para modelos numéricos sobre a comparação de estimativas de radiação solar global estimadas por sensoriamento remoto e por modelo numérico de previsão do tempo na Espanha Continental.

As  $T_{ar}$  abaixo do dossel a 12 e 22 m de altura tiveram uma correlação entre si maior do que entre as  $T_{ar}$  a 32, 54 e 62 m (Figura 5). No entanto, a menor correlação entre a  $T_{ar}$ , ocorreu entre a  $T_{ar}$  a 2 m e a 62 m. A  $T_{ar}$  com todos os registros de 2008, teve cada vetor representado por uma variável, de modo que todos os vetores tiveram os mesmos comprimentos e praticamente a mesma direção, isso porque as temperaturas do ar em alturas diferentes foram correlacionadas positivamente. O gráfico Biplot das  $T_{ar}$  nas estações chuvosa e seca (Figura 5), o qual apresentou os vetores com as mesmas direções e comprimentos apresentados pela análise feita no ano de 2008, apresentando a Dimensão 1 como a de maior representatividade nas variáveis em estudo.

No entanto ocorreu uma pequena variação entre as variáveis, na estação chuvosa, a  $T_{ar}$  a 12 m teve uma influência menor na  $T_{ar}$  a 62 m do que a  $T_{ar}$  a 22 m, logo na estação seca a  $T_{ar}$  a 12 m, teve uma influência maior na  $T_{ar}$  a 54 m do que a 22 m.

Já a 22 m ocorreu a  $T_{ar}$  que mais apresentou diferença entre as correlações, em que há uma correlação maior entre a  $T_{ar}$  a 22 m em relação a de 62 m na estação chuvosa, igualmente ocorreu na estação seca e, no entanto, no ano de 2008. Portanto, foi possível identificar as diferenças entre as  $T_{ar}$  nas estações e como são influenciadas nas estações do ano na Floresta Amazônica.

Pelos Biplot (Figura 6), as  $T_{ar}$  em diferentes alturas tiveram correlação significativa entre si, pois os vetores com ângulos foram inferiores a  $90^\circ$  (Hongyu et al., 2016), indicando que cada  $T_{ar}$  teve influência de maior ou menor grau sobre as outras.

Portanto, a expressividade da dimensão 1 na APC foi maior, devido aos vetores das variáveis estarem próximos ao valor 1,0 no eixo x, (Dimensão 1), e foram menores que 0,5 no eixo y (Dimensão 2).

Na correlação entre as dimensões da  $T_{ar}$  no ano de 2008 (Figura 6), observou-se o quanto cada variável foi expressa por cada dimensão, portanto, na dimensão 1, todas as 6 variáveis foram representadas com uma influência acima de 97%, já as demais dimensões não representaram mais que 6% ou até mesmo omitiram alguma das variáveis.

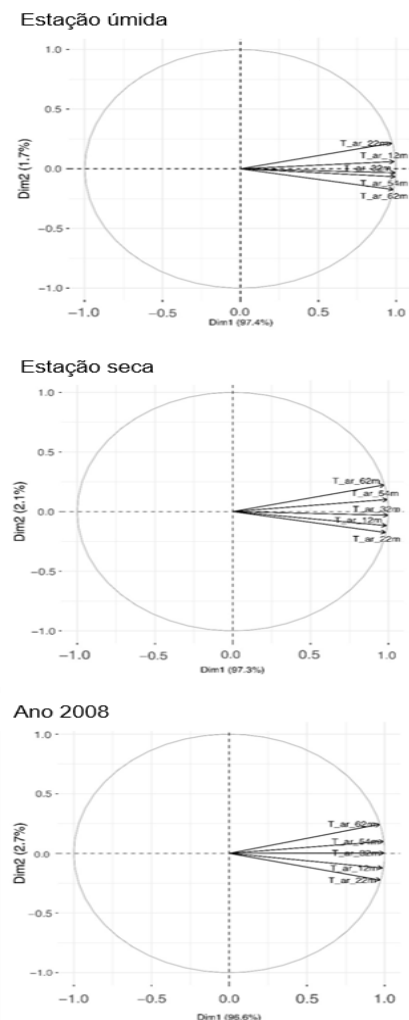


Figura 5. Biplot Dimensão 1 (Dim1) versus Dimensão 2 (Dim2) entre as temperaturas do ar a 12, 22, 32 e 62 m de altura do solo no ano de 2008, na estação chuvosa e na seca.



Figura 6. Biplot Dimensão 1 (Dim1) versus Dimensão 2 (Dim2) entre as temperaturas do ar a 12, 22, 32 e 62 m de altura do solo no ano de 2008, na estação chuvosa e na seca.

Já na correlação entre as dimensões com da  $T_{ar}$  na estação seca e na chuvosa, apresentaram uma

diferença pouco significativa entre a correlação da dimensão 1 (Dim 1) com as  $T_{ar}$  entre estações, ao comparar as  $T_{ar}$  nas estações e as a anuais, observou-se que as diferenças entre as correlações das variáveis com a dimensão foram pequenas, isso porque a dimensão 1 representou a maioria das  $T_{ar}$ , no ano 2008, e nas estações chuvosa e seca.

### Conclusões

Como conclusões tem-se:

A temperatura do ar nas diferentes alturas do dossel do sudoeste da Floresta Amazônica teve sazonalidade, com maior amplitude entre as mínimas e máximas durante a estação seca. E as temperaturas do ar dentro do dossel, foram inferiores as das demais alturas devido a estrutura de vegetação.

Por meio da geoestatística, a temperatura do ar apresentou uma dependência espacial cíclica, indicando dessa maneira um ciclo temporal de aproximadamente 10 h, devido o ciclo de insolação da região.

Na Análise de Componentes Principais, constatou-se que existe uma forte influência entre as  $T_{ar}$  nas diferentes alturas, independente da estação do ano, no entanto apenas uma variável descreve as demais, pois, apesar de sofrerem influências externas devido a altura onde foram mensurados, as temperaturas do ar apresentaram o mesmo padrão de comportamento.

A presença da floresta Amazônica influencia diretamente na temperatura do ar, formando assim o microclima da região, dessa maneira, a floresta de grande importância para o ecossistema da região.

### Referência

- Aguiar, R.G., De Muis, C.R., Aguiar, L.J.G., Martínez-Espinosa, M., Fischer, G.R., 2019. Energy balance closure in the Southwest Amazon forest site-a statistical approach. *Theoretical and Applied Climatology* 136(3-4), 1209-1219, Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-018-2548-8>
- Albuquerque, M.M., Lopes, W.G.R., 2016. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. *Ra'e Ga* 36, 38-68.
- Alves, K.S.S., 2017. Validação da precipitação estimada pelos produtos 3B42 E 3B43 do TRMM sobre a Reserva Biológica Jaru – RO. Dissertação (Mestrado). Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso.
- Alves, K.S.S, Sanches, L, Andrade, N.L.R., Guariente, G.S.S., Zeilhofer, P., 2021.

- Estimation of rainfall based on remote sensing and observation fields in Jaru Biological Reserve at the Brazilian Amazonian forest. *Theoretical And Applied Engineering* 5(2) 1-12, Disponível: <http://dx.doi.org/10.31422/taae.v5i2.38>.
- Andrade, N.L.R., Aguiar, R.G., Sanches, L., Alves, É.C.R.D.F., Nogueira, J.D.S., 2009. Net radiation partition in Amazonian forest and transitional Amazonia-Cerrado forest areas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24(3), 346-355. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000300008>
- Andreae, M.O., Artaxo, P., Brandao, C., Carswell, F.E., Ciccioli, P., Da Costa, A.L., ... Von Jouanne, J., 2002. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 107(D20), LBA-33. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1029/2001jd000524>
- Andrade, N.L.R., Sanches, L., Aguiar, R.G., Souza Ribeiro, J.G., Junior, O.B.P. 2016. Variabilidade sazonal e interanual do microclima em área de floresta no sudoeste da Amazônia. *Ciência e Natura*, 38, 169-176. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x20148>
- Azevedo, G.B., 2014. Composição, Estrutura e Diversidade em Floresta Ombrófila na Reserva Biológica do Jaru-Ro. Dissertação (Mestrado). Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso.
- Barbino, G. C., Antonucci, A., Ventura, D. J. S., Andrade, N. L. R., 2021. Sensoriamento Remoto aplicado ao Índice de Área Foliar e fração da radiação fotossinteticamente ativa em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Ocidental. *Revista brasileira de meio ambiente*, 9(2), 76-90. Disponível: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5550859>
- Basset, Y., Cizek, L., Cuénoud, P., Didham, R. K., Guilhaumon, F., Missa, O., ... Leponce, M., 2012. Arthropod diversity in a tropical forest. *Science* 338(6113), 1481-1484. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1226727>
- Costa, F. R. C., Zuanon, J. A. S., Baccaro, F. B., Almeida, J. S., Menger, J. S., Souza, J. L. P., Borba, G. C., Esteban, E. J. L., Bertin, V. M. 2020. Effects of climate change on central amazonian forests: a two decades synthesis of monitoring tropical biodiversity. *Oecologia Australis*, 24(02), 317-335. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.07>
- Cunha, C.R., De Musis, C.R., Almeida Lobo, F., Vidal, L.A., Martins, A.L., 2018. Aplicação do método geoestatístico de semivariograma no tempo para o albedo de radiação global. *Proficientia*, (11).
- Depiné, H., Castro, N.D.R., Pinheiro, A., Pedrollo, O., Depin, H., 2014. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 19(1), 51-63.
- Gomes, J.B., Webler, A.D., Aguiar, R.G., Aguiar, L.J.G., Nuñez, M.L.A., 2015. Conversion of tropical forests in livestock systems in the Amazon. *Revista Brasileira de Climatologia* 17, (11), 67-81. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42879>
- Guo, Zhiwen, Wang, Xiangping, Fan, Dayong, , 2021. Ecosystem functioning and stability are mainly driven by stand structural attributes and biodiversity, respectively, in a tropical forest in Southwestern China. *Forest Ecology and Management* 481, 118696. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118696>
- Heringer, P., Lucas, T, Pinho Barroso., 2014. The influence of the vegetation in a microclimate within the city of Belo Horizonte, MG. *Caderno de Geografia* 24(42) 56-72. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2014v24n42p56>
- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M., Oliveira Junior, G.J., 2016. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S Engineering and Science* 5(1), 83-90. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18607/es201653398>
- IBAMA, 2006. Plano de prevenção e combate aos incêndios florestais na reserva biológica do Jaru (2006-2007). IBAMA, Ji-Paraná.
- Lawrence, D., Vandecar, K., 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature climate change* 5(1), 27-36. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Leinonen, I., Jones, H.G., 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany* 55(401), 1423-1431. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erh146>
- Malavelle, F.F., Haywood, J.M., Mercado, L.M., Folberth, G.A., Bellouin, N., Sitch, S., Artaxo, P., 2019. Studying the impact of biomass burning aerosol radiative and climate effects on the Amazon rainforest productivity with an Earth system model. *Atmospheric Chemistry*

- and Physics 19(2), 1301-1326. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-19-1301-2019>
- Malhi, Y., Nobre, A.D., Grace, J., Kruijt, B., Pereira, M.G., Culf, A., Scott, S., 1998. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 103(D24), 31593-31612. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1029/98jd02647>
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2002. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. MMA/SBF, Brasília.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2010. Plano de Manejo: Reserva Biológica do Jaru. MMA/SBF, Brasília.
- Nascimento, J. S. M., Aguiar, R.G., Webler, A.D., Fischer, G.R., Aguiar, L.J.G., Ruezzen, C.B., 2016. Meteorological variables in forest and pasture area in the Western Amazon in years of extreme events. *Ciência e Natura* 38, 217-224. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x20185>
- Oliveira, P.J.D., Rocha, E.J.P.D., Fisch, G., Kruijt, B., Ribeiro, J. B.M., 2004. Meteorological effects of a cold spell event over Amazonia: a case study. *Acta Amazônica* 34(4), 613-619. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672004000400013>
- Patton, E.G., Sullivan, P.P., Shaw, R.H., Finnigan, J.J., Weil, J.C., 2016. Atmospheric stability influences on coupled boundary layer and canopy turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences* 73(4), 1621-1647. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1175/jas-d-15-0068.1>
- Pieranti, O.P., Silva, L. H.R.D., 2007. Amazônia and national defense policy. *Cadernos EBAP. BR* 5(1), 01-11. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-39512007000100012>
- Pineda-Martínez, L.F., Carbajal, N., 2017. Climatic analysis linked to land vegetation cover of Mexico by applying multivariate statistical and clustering analysis. *Atmósfera* 30(3), 233-242. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20937/atm.2017.30.03.04>
- Rondon, C.E., 2011. Variabilidade espacial de medidas de iluminância em habitações populares em Cuiabá-MT. Tese (Doutorado). Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso. <https://doi.org/10.1029/2001JD000520>
- Santana, R.A., Dias-Júnior, C.Q., da Silva, J.T., Fuentes, J.D., do Vale, R.S., Alves, E.G., ... Manzi, A.O., 2018. Air turbulence characteristics at multiple sites in and above the Amazon rainforest canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 260, 41-54. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.027>
- Shaw, R.H., Patton, E.G., 2003. Canopy element influences on resolved-and subgrid-scale energy within a large-eddy simulation. *Agricultural and Forest Meteorology* 115(1-2), 5-17. Disponível: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1923\(02\)00165-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1923(02)00165-x)
- Taiz, L., Zeiger, E., 2009. *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre.
- Vindel, J. M., Navarro, A.A., Valenzuela, R.X., Zarzalejo, L.F., 2016. Temporal variability patterns in solar radiation estimations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 143, 1-7. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2016.03.004>
- Yu, C., Hien, W.N., 2006. Thermal benefits of city parks. *Energy and buildings* 38(2), 105-120. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- Zeri, M., Sá, L.D.A., Nobre, C.A., 2015. Contribution of coherent structures to the buoyancy heat flux under different conditions of stationarity over Amazonian forest sites. *Atmospheric Science Letters*, 16(3), 228–233. Disponível: <https://doi.org/10.1002/asl2.544>
- Ziter, C.D., Pedersen, E.J., Kucharik, C.J., Turner, M.G., 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(15), 7575-7580. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1817561116>
- Beltrami, H., 2001. On the relationship between ground temperature histories and meteorological records: a report on the Pomquet station. *Global and Planetary Change* 29(3-4), 327-348. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00098-4)
- Tyagi, B., Satyanarayana, A.N.V., 2010. Modeling of soil surface temperature and heat flux during pre-monsoon season at two tropical stations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 72(2-3), 224-233. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.11.015>