

Microclima em fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe

Benjamin Leonardo Alves White¹ , Maria Flaviane Almeida Silva² 

¹Instituto Federal Baiano, Rodovia BA 052, km 468, s/n – Zona Rural, Xique-Xique, Bahia, CEP 47400-000

²Universidade Federal de Sergipe, Rodovia Engenheiro Jorge Neto, km 3, Silos, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, CEP 49680-000

*Autor correspondente:
benjmk@hotmail.com

Termos para indexação:

Incêndio florestal
Meteorologia florestal
Prevenção de incêndio

Index terms:

Fire prevention
Forest meteorology
Wildfire

Histórico do artigo:

Recebido em 22/05/2019
Aprovado em 13/05/2020
Publicado em 27/08/2020

Resumo - Equipamentos capazes de mensurar as condições meteorológicas estão cada vez mais acessíveis. No entanto, ainda são raros estudos que quantificam, com precisão, as condições microclimáticas em ecossistemas florestais. Este estudo teve por objetivo descrever e analisar as variações na temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura do solo em um fragmento de Mata Atlântica localizado no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe, Brasil. Estações meteorológicas, programadas para registrarem os dados a cada 30 min durante o período de um ano, foram instaladas em uma área florestal composta por espécies sucessionais tardias de copas densas e em uma clareira de 0,1 ha. Os resultados apontaram microclima com menor variabilidade na área florestal, enquanto na clareira as variações diárias e sazonais foram mais intensas. As temperaturas médias do ar e do solo foram, respectivamente, 0,6 °C e 2,5 °C superiores na clareira e a umidade relativa do ar foi 6,9% superior na área florestal. O índice de Angstrom indicou maior perigo de ocorrência de incêndios florestais na clareira, em comparação à área de floresta densa.

Microclimate in an Atlantic Forest fragment, in the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil

Abstract - Equipments used to register weather conditions became more accessible. However, studies that accurately quantify microclimatic conditions in forest ecosystems are still rare. This study aimed to describe and analyze the variations in the air temperature, air relative humidity and soil temperature in an Atlantic Forest fragment located in Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe, Brazil. Weather stations programmed to record every 30 min over a period of one year were installed inside a forest area, composed by late successional species forming dense canopy, and in a 0.1 ha forest gap. Results showed that the microclimate in the dense canopy forest was less variable than in the forest gap, where daily and seasonal variations were more intense. The average air and soil temperatures were 0.6 °C and 2.5 °C higher in the forest gap, while the average air humidity was 6.9% higher in the dense forest. The Angstrom index indicated a higher risk of wildfire occurrence in the gap.



Introdução

A Mata Atlântica é um dos biomas que vem sofrendo intensa fragmentação ao longo da história. De acordo com Ribeiro et al. (2009), cerca de 88,3% da cobertura original da Mata Atlântica já foi perdida, sendo que mais

de 80% dos fragmentos atualmente existentes possuem uma área inferior a 50 ha.

O processo de fragmentação de ecossistemas florestais resulta em mudanças microclimáticas. Em uma área sem cobertura vegetal, as condições microclimáticas estão diretamente relacionadas com as características fisiográficas da região. No entanto, no interior de um

fragmento florestal, o microclima também depende da estrutura e composição da floresta, criando condições de elevada umidade, baixa velocidade do vento e reduzida entrada e saída de radiação solar (Geiger et al., 2009). Nas bordas de fragmentos florestais, as condições microclimáticas também são distintas das encontradas em seu interior, já que nelas há uma maior incidência de radiação solar, sendo que as variações podem ser registradas até 100 m da borda em direção ao interior do fragmento (Hofmeister et al., 2019). Essas variações podem ocasionar diversos desequilíbrios nas espécies da fauna e da flora, como: alterações na riqueza, diversidade, abundância, mortalidade, dinâmica sucessional, densidade populacional, dentre outros (Tabarelli et al., 2010; Magura et al., 2017; Hofmeister et al., 2019).

Os efeitos que distintos gradientes microclimáticos exercem na biota já foram comprovados em estudo com espécies de besouros (e.g. Grimbacher et al., 2006) e briófitas (e.g. Stewart & Mallik, 2006). Além disso, alguns trabalhos verificaram os efeitos do microclima em processos funcionais ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes e os ciclos da água (e.g. Riutta et al., 2012). Particularmente em regiões tropicais, onde diversas espécies já vivem em condições térmicas próximas aos seus limites, a transformação do uso do solo acarreta alterações na fauna local (Jucker et al., 2018).

As condições microclimáticas e vegetacionais alteradas, a partir do desmatamento e abertura de clareiras em ecossistemas florestais, podem resultar no aumento da ocorrência de incêndios nestes ambientes. Quando a cobertura arbórea é removida, aumenta-se a radiação solar incidente e espécies pioneiras se estabelecem. Tais espécies apresentam caules herbáceos de pequeno diâmetro, que secam rapidamente durante o período seco, tornando-se altamente inflamáveis (White et al., 2013, 2017).

Apesar de florestas tropicais, a exemplo da Mata Atlântica, serem sensíveis ao fogo, já que o mesmo provoca mudanças estruturais e florísticas (Pivello, 2011), a ocorrência de incêndios florestais em áreas de floresta tropical com vegetação bem conservada é bastante rara (White, 2018b). Essa baixa ocorrência se deve, principalmente, à abundante precipitação pluviométrica, elevada umidade relativa do ar e elevado teor de umidade da vegetação. Porém, as alterações antrópicas vêm modificando a diversidade e a densidade da vegetação e, conseqüentemente, seu microclima,

o que resulta em uma vegetação mais susceptível à ocorrência de incêndios florestais (Pivello, 2011; White, 2018b).

Para determinar o perigo de ocorrência de incêndios florestais existem índices que, baseando-se em variáveis climáticas medidas diariamente, determinam se as condições meteorológicas estão propícias ou não para a ocorrência destes eventos (Soares & Batista, 2007; White & Ribeiro, 2010). Diversos autores apontam o índice de Angstrom como um eficiente indicador do perigo de ocorrência de incêndios florestais (White & Ribeiro 2010; Holsten et al., 2013; White et al., 2015). Esse destaca-se por sua simplicidade, baseando-se apenas em dados diários de temperatura e umidade relativa do ar (Soares & Batista, 2007; White & Ribeiro, 2010).

A maioria dos trabalhos já publicados que avaliam o microclima buscam quantificar e prever como a temperatura próxima ao solo varia em função das características do mesmo, assim como do relevo. No entanto, são raros os estudos que avaliam o efeito da vegetação sobre as condições microclimáticas (Meineri & Hylander, 2016; Greiser et al., 2018). Em função da importância que o microclima exerce na biota, o presente estudo teve por objetivo analisar e descrever as variações microclimáticas das temperaturas do ar e do solo, e da umidade relativa do ar, em uma área florestal conservada com dossel denso e em uma clareira, ambas situadas no interior de um fragmento de Mata Atlântica localizado no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, Sergipe. Além disso, verificou-se qual a interferência que o microclima exerce no perigo de ocorrência de incêndios florestais nas duas áreas avaliadas.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco (RVSMJ) é uma Unidade de Conservação (UC) estadual de proteção integral, com área de 897 ha, localizada no município de Capela, SE (Figura 1). Possui elevado interesse ecológico, por abrigar um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica do estado, no qual é possível encontrar espécies raras, endêmicas e com alto risco de extinção, como é o caso do macaco-guigó (*Calicebus coimbrai*) (White et al., 2017).

O clima na UC, com base na classificação de Köppen-Geiger atualizada (Kottek et al., 2006), é equatorial com

verão seco (As). A temperatura média anual da cidade de Capela é 24,3 °C, com pequenas variações ao longo do ano (há uma variação de 4 °C na temperatura média do mês mais quente para a do mês mais frio). A precipitação pluviométrica média anual da cidade é de 1.229 mm. Novembro é o mês mais seco do ano, com precipitação média de 36 mm, enquanto maio é o mais chuvoso, com média de 213 mm (Climate-Data.Org, 2018).

Apesar de ser protegida legalmente, a UC sofre com atividades ilegais de desmatamento e com a ocorrência de incêndios florestais. Geralmente, os incêndios iniciam a partir de queimadas realizadas em plantações de cana-de-açúcar em sua zona de amortecimento (White et al., 2017).

Coleta e Análise dos Dados

A temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidas em duas estações meteorológicas modelo *Misol WS-DS100-1 Data Logger*. Uma delas foi instalada nas coordenadas 10°32'04" S e 37°03'39" W com altitude de 171 m, em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas (IBGE, 2012) em bom estado de conservação. A vegetação desse remanescente apresenta dossel fechado, bastante homogêneo, podendo chegar a 30 m de altura. No sub-bosque a luminosidade é baixa e a umidade é alta, sendo encontradas poucas espécies herbáceas e espécimes florestais jovens (Oliveira et al., 2018).

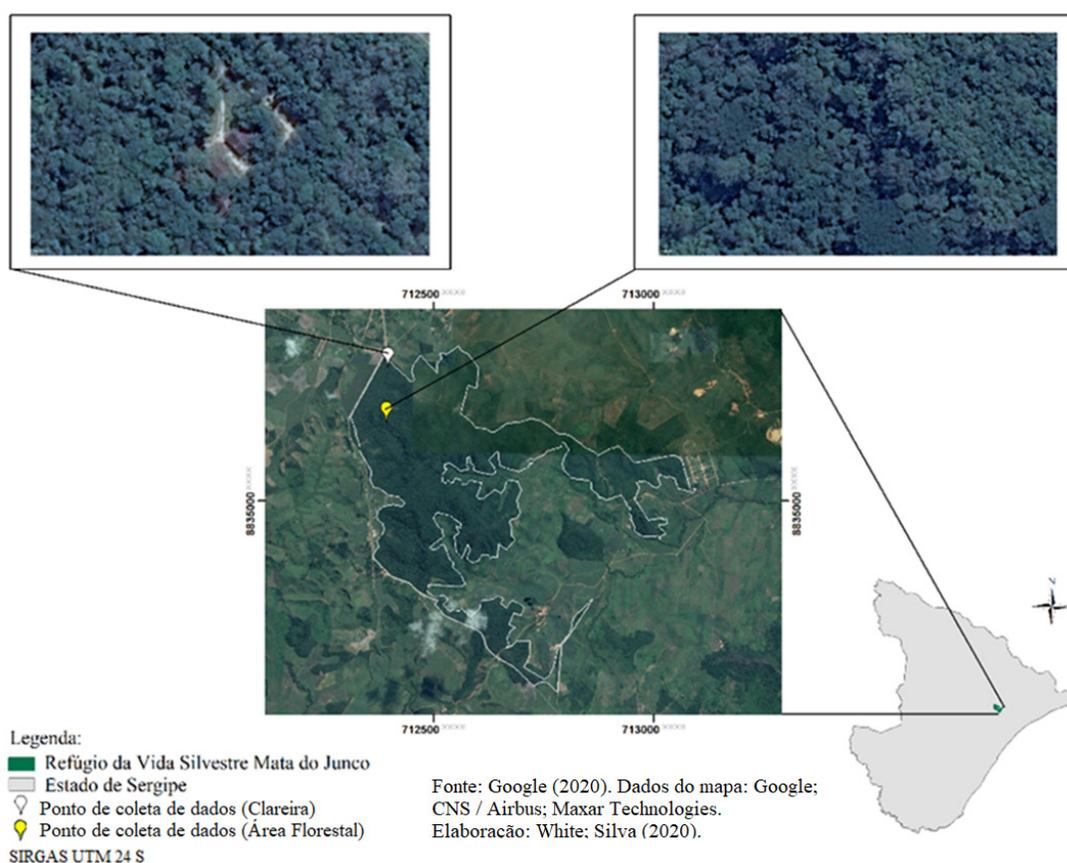


Figura 1. Imagens aéreas do fragmento de Mata Atlântica localizado no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE, indicando a área de clareira e a área florestal com dossel denso avaliadas neste estudo. Fonte: Google (2020). Dados do mapa: Google, CNS / Airbus, Maxar Technologies.

Figure 1. Aerial images of the Atlantic Forest fragment located in the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, SE, indicating the forest gap and closed forest sites evaluated in this study. Font: Google (2020). Map data: Google, CNS / Airbus, Maxar Technologies.

A segunda estação, do mesmo modelo, foi instalada a 600 m de distância da primeira, em uma clareira de 0,1 ha sem cobertura arbórea, situada no interior do fragmento florestal nas coordenadas 10°31'48" S e 37°03'32" W, com altitude de 172 m (Figura 1). As duas estações foram instaladas a 1,8 m acima do solo.

A temperatura do solo foi mensurada, em cada área, com auxílio de termômetro modelo *RIBI Data Logger*, com sensor externo enterrado a 2 cm de profundidade. O solo da área florestal no ponto de amostragem estava recoberto por aproximadamente 3 cm de serapilheira. Na clareira, o solo estava revestido por gramíneas e herbáceas de pequeno porte com altura inferior a 5 cm.

Todos os equipamentos foram previamente calibrados antes de serem instalados em campo.

Os solos que tiveram suas temperaturas mensuradas são classificados como podzólico vermelho-amarelo eutrófico (argissolo). Com relação à granulometria, estão na classe “franco siltoso”, com 36% de areia, 12% de argila e 52% de silte (Souza et al., 2012).

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura do solo foram programados para registro a cada 30 min. Os resultados do presente trabalho foram baseados em dados registrados de primeiro de julho de 2017 até o final de junho de 2018, totalizando 365 dias.

Os dados armazenados nas estações foram transferidos mensalmente para um microcomputador. A análise dos dados foi feita com auxílio do *software* JMP Statistical Package (versão 10.0; SAS Institute, Cary, NC).

O teste t de *student* foi utilizado para verificar a existência de diferença significativa entre a temperatura do ar, temperatura do solo e umidade relativa do ar registrados no interior da área florestal e na clareira. Valores médios, máximos e mínimos também foram definidos para posterior comparação e discussão.

Análise do perigo de ocorrência de incêndio florestal

Foi utilizado o índice de Angstrom (B), a fim de verificar o perigo de ocorrência de incêndios florestais na área florestal e na clareira. Esse índice foi escolhido por não ser cumulativo e por utilizar apenas duas variáveis climáticas: temperatura e umidade relativa do ar (Equação 1). Sempre que $B < 2,5$ há perigo de incêndios, isto é, as condições atmosféricas do dia são favoráveis à ocorrência de incêndios (White & Ribeiro, 2010).

$$B = 0,05 * H - \left(\frac{T - 27}{10} \right) \quad (1)$$

Em que: B = índice de Angstrom; H = umidade relativa do ar (%); T = temperatura do ar (°C).

Ao se analisar o perigo de ocorrência de incêndios florestais, deve-se levar em consideração não apenas os parâmetros meteorológicos médios para uma determinada região, mas, principalmente, os valores extremos (White et al., 2013; White & Silva, 2018). Por esse motivo, aplicou-se o índice com os parâmetros médios de temperatura e umidade relativa do ar obtidos ao longo de um ano e com os percentis de 75, 90 e 99%.

Resultados

Ao total, cada estação meteorológica registrou 17.520 dados para cada variável meteorológica avaliada neste estudo. A média anual da temperatura do ar na área florestal foi de 23,7 °C, enquanto na clareira foi de 24,3 °C ($t = 17,29$; $p < 0,001$; $n = 35.040$) (Tabela 1). A média anual da umidade relativa do ar foi de 89,5% na área florestal e 82,6% na clareira ($t = 44,36$; $p < 0,001$; $n = 35.040$). A média anual da temperatura do solo na área florestal foi de 25,1 °C, e na clareira 27,6 °C ($t = 64,38$; $p < 0,001$; $n = 35.040$). Os valores médios de todas as variáveis analisadas foram significativamente diferentes quando comparados entre a área florestal e a clareira.

O microclima na área florestal apresentou menor variabilidade ao longo do ano, apresentando uma variação de 14,5 °C entre os valores máximo e mínimo de temperatura do ar, uma variação de 9,9 °C entre a temperatura do solo máxima e mínima, e uma variação de 49% entre a umidade relativa do ar máxima e mínima (Tabela 1). Na clareira, esses valores foram de, respectivamente, 19,2 °C, 25 °C e 59%.

Dinâmica mensal

No tocante à sazonalidade, todas as variáveis microclimáticas mensuradas neste estudo, quando agrupadas em função dos meses do ano, diferiram significativamente entre clareira e área florestal em todos os meses avaliados.

A temperatura do ar no mês de dezembro de 2017 foi a mais quente, com valores médios de 26,3 e 25,4 °C para a clareira e área florestal, respectivamente (Figura 2). Julho foi o mês mais frio, com temperaturas médias de 22,1 °C na clareira e 21,4 °C na área florestal.

Tabela 1. Valores médios, máximos e mínimos da temperatura do ar, temperatura do solo e umidade relativa do ar quantificados ao longo de um ano nas duas áreas avaliadas no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE.

Table 1. Mean, maximum and minimum values of air temperature, soil temperature and air relative humidity quantified over one year in both study sites at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, SE.

Variável		Clareira	Área florestal
Temperatura do ar (°C)	Média	24,3 (± 4,15)	23,7 (± 2,95)
	Máxima	37,1	33,5
	Mínima	17,9	19,0
Temperatura do solo (°C)	Média	27,6 (± 4,77)	25,1 (± 1,85)
	Máxima	46,9	31,3
	Mínima	21,9	21,4
Umidade relativa do ar (%)	Média	82,6 (± 15,89)	89,5 (± 12,31)
	Máxima	99	99
	Mínima	40	50

Nota: valores entre parêntesis = desvio padrão.

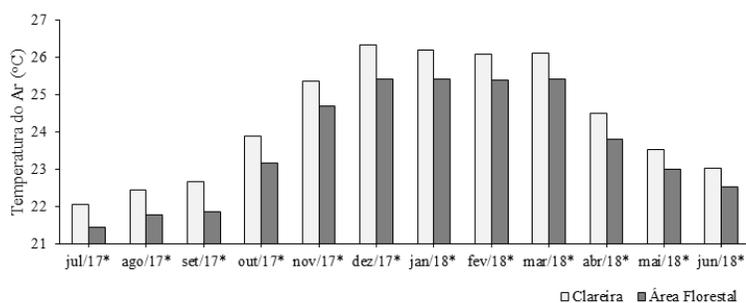


Figura 2. Média mensal da temperatura do ar na clareira e na área florestal ao longo de um ano, em fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa no mês entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 2. Average monthly air temperature observed in the gap and in the closed forest, for one year, in an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference in the month between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).

Figura 3. Média mensal da temperatura do solo observada na clareira e na área florestal ao longo de um ano, em fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa no mês entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 3. Average of monthly soil temperature observed in the gap and in the closed forest, during one year, in an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference in the month between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).

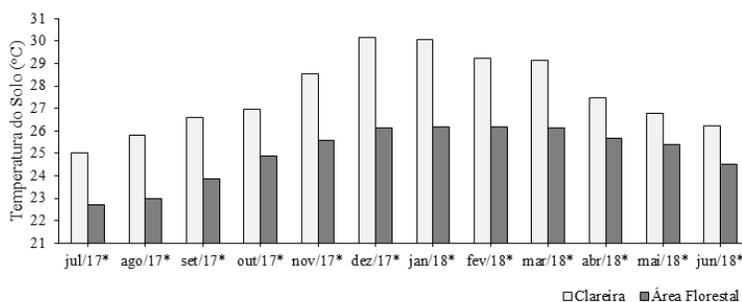
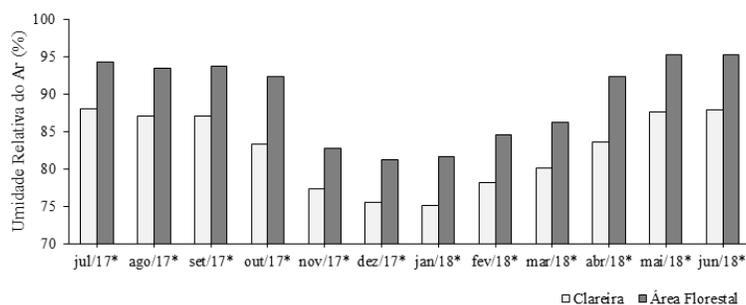


Figura 4. Média mensal da umidade relativa do ar observada na clareira e na área florestal, ao longo de um ano, em fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa no mês entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 4. Average of monthly air relative humidity observed in the gap and in the closed forest, during one year in an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference in the month between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).



A variação anual da temperatura do solo foi semelhante à variação da temperatura do ar. O mês com maior temperatura média foi dezembro (30,2 °C na clareira e 26,2 °C na área florestal), enquanto as menores temperaturas foram registradas em julho, apresentando valor médio de 25,0 °C na clareira e 22,7 °C na área florestal (Figura 3).

Dezembro foi o mês em que foram registrados os menores valores da umidade relativa do ar na área florestal (média de 81,2%), enquanto na clareira foi janeiro (média de 75,1%) (Figura 4). Os meses que apresentaram valores médios mais altos foram junho, na área florestal (95,2%), e julho, na clareira ((88,0%).

Dinâmica diária

Com base nos dados de temperatura do ar obtidos ao longo de 365 dias, foi traçado o perfil médio diário (Figura 5). Nas duas áreas estudadas, os valores máximos da temperatura diária do ar foram registrados por volta de 12 h 30 min (média anual neste horário de 31,2 °C na clareira e 27,7 °C na área florestal), e os valores mínimos por volta das 5 h 30 min (média anual neste horário de 20,9 °C na clareira e 21,5 °C na área florestal). Próximo de 6 h 30 min, a temperatura do ar nas duas áreas não apresentou diferença significativa. No entanto, na clareira a temperatura aumentava rapidamente e permanecia superior à temperatura da área florestal até aproximadamente às 17 h 30 min. Entre 17 h 30 min e 18 h 30 min não foi observada diferença significativa

entre as áreas. Após este horário, a temperatura do ar na clareira se tornava inferior à da área florestada e continuava inferior até cerca de uma hora após o nascer do sol, o que ocorreu, em média, por volta de 5 h 30 min da manhã.

A temperatura do solo também apresentou valores máximos com maior frequência por volta das 12 h 30 min (média anual neste horário de 35 °C na clareira e 27,7 °C na área florestal) e valores mínimos às 5 h 30 min (média anual neste horário de 24,9 °C na clareira e 23,8 °C na área florestal), como pode ser observado na Figura 6. Os valores médios da temperatura do solo na clareira ao longo do dia foram superiores e significativamente diferentes daqueles na área florestal. Os valores mais próximos foram registrados durante o final da noite e madrugada (entre 21 h 30 min e 5 h 30 min), com uma diferença média entre áreas de 1,2 °C. A variação média da temperatura do solo na área florestal ao longo do dia foi de 3,9 °C, enquanto na clareira foi de 10,1 °C.

Os valores médios da variação diária da umidade relativa do ar demonstram que os registros mínimos na clareira foram verificados por volta das 12 h 30 min (média anual de 58%), enquanto na área florestal, por volta das 13 h 30 min (média anual de 76,3%) (Figura 7). Nas duas áreas, os valores máximos da umidade relativa do ar foram registrados com maior frequência às 6 h, com valores médios anuais de 97,2% na clareira e 97,8% na área florestal.

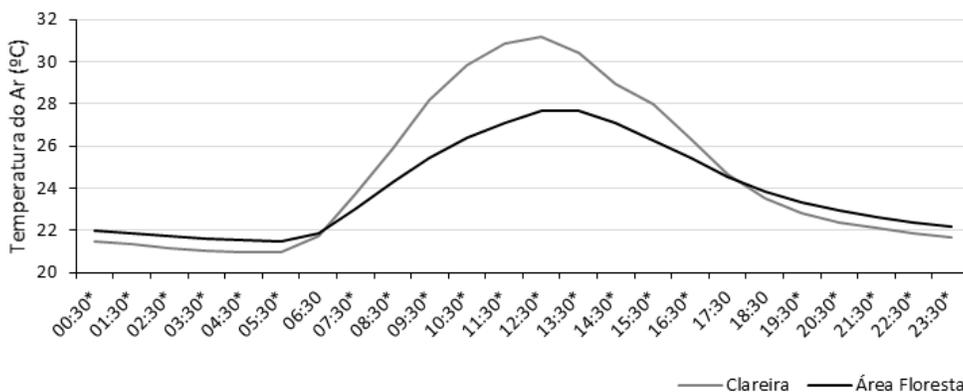


Figura 5. Dinâmica diária da temperatura do ar com base em valores médios mensurados durante um ano (01/07/2017 – 30/06/2018) na clareira e na área florestal de um fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa na respectiva hora entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 5. Dynamics of daily air temperature based on mean values measured during one year (01/07/2017 - 06/30/2018) in the gap and in the closed forest sites inside an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference at the respective time between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).

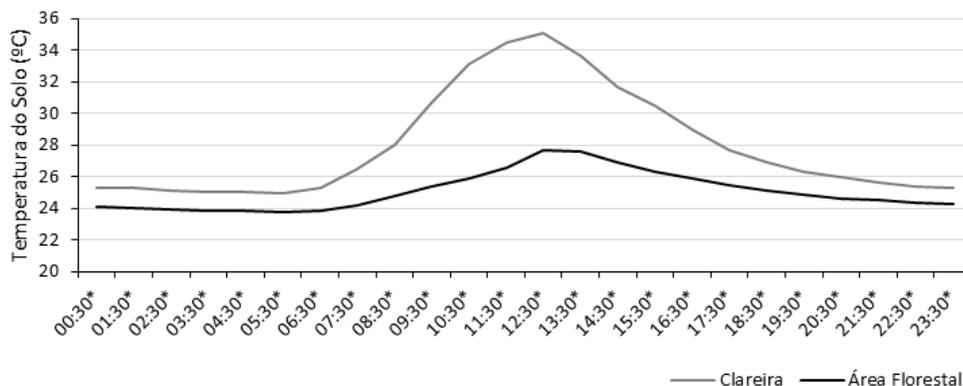


Figura 6. Dinâmica diária da temperatura do solo com base em valores médios mensurados durante o período de um ano (01/07/2017 – 30/06/2018) na clareira e na área florestal de um fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa na respectiva hora entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 6. Dynamics of daily soil temperature based on mean values measured during one year (01/07/2017 - 06/30/2018) in the gap and in the closed forest sites inside an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference at the respective time between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).

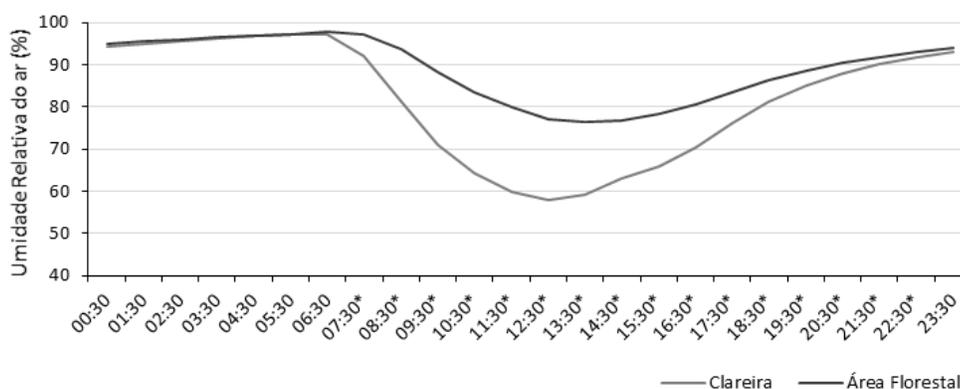


Figura 7. Dinâmica diária de umidade relativa com base em valores médios mensurados durante o período de um ano (01/07/2017 – 30/06/2018) na clareira e na área florestal de um fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE. * = Diferença significativa na respectiva hora entre a clareira e a área florestal ($p < 0,01$).

Figure 7. Dynamics of daily air relative humidity based on mean values measured during one year (01/07/2017 - 06/30/2018) in the gap and in the closed forest sites inside an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil. * = Significant difference at the respective time between the forest gap and the forested area ($p < 0.01$).

A umidade relativa do ar na clareira começava a decrescer rapidamente após às 6 h 30 min, com o nascer do sol. Na área florestal ela só começava a decrescer com maior intensidade depois das 7 h 30 min. Após às 13 h 30 min, a umidade do ar subia nas duas áreas. Entre 23 h 30 min e 6 h 30 min a umidade relativa do ar nas duas áreas não apresentou diferença significativa (Figura 7).

Análise do perigo de ocorrência de incêndios florestais

Para calcular o índice de Angstrom (B) foi necessário, inicialmente, definir os valores médios e os percentis de 75, 90 e 99% da temperatura e umidade relativa do ar (Tabela 2). Os percentis de 75, 90 e 99% da temperatura do ar tiveram uma diferença de 1,8, 2,7 e 3,6 °C, respectivamente, entre a área florestal e a

clareira, sendo os valores mais altos verificados nesta última. Os percentis de 75, 90 e 99% relativos à umidade relativa do ar tiveram uma diferença de 11, 12 e 10%, respectivamente, entre a área florestal e a clareira, sendo os valores mais baixos verificados nesta última.

Em todos os cenários avaliados, os valores de B foram maiores na área florestal do que na clareira, indicando, portanto, maior perigo de ocorrência de incêndios florestais na clareira (Tabela 3). A área florestal apresentou $B < 2,5$ apenas no cenário do percentil 99%. Na clareira, os valores de B indicam perigo de ocorrência de incêndios florestais nos percentis 90% e 99%.

Tabela 2. Valores médios e percentis de 75 %, 90 % e 99% da temperatura e umidade relativa do ar quantificados ao longo de um ano na área florestal e na clareira de um fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE.

Table 2. Mean values and percentiles of 75, 90 and 99% of the air temperature and relative humidity quantified over a year in the closed forest and in a forest gap inside an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil.

Valor	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)	
	Clareira	Área florestal	Clareira	Área florestal
Média	24,3	23,7	82,6	89,5
Percentil 75%	27,2	25,4	71	82
Percentil 90%	30,9	28,2	58	70
Percentil 99%	37,0	33,4	41	51

Tabela 3. Valores do índice de Angstrom em quatro cenários simulados para a área de clareira e florestal de um fragmento de Mata Atlântica no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Capela, SE.

Table 3. Angstrom index values in four scenarios simulated for the closed forest and forest gap sites inside an Atlantic Forest fragment at the Mata do Junco Wildlife Refuge, Capela, Sergipe State, Brazil.

Cenário	Valor do índice de Angstrom (B)		
	Área florestal	Clareira	Diferença (%)
Valores médios	4,81	4,40	8,5%
Percentil 75%	4,26	3,48	18,3%
Percentil 90%	3,38	<u>2,46</u>	27,2%
Percentil 99%	<u>1,91</u>	<u>1,05</u>	45,0%

*Nota: Valores sublinhados apresentam perigo de ocorrência de incêndios florestais.

Discussão

São poucos os trabalhos encontrados na literatura que avaliam variações microclimáticas em ecossistemas florestais. Na análise do microclima em uma antiga área de floresta que foi convertida em pastagem no norte do Pantanal, Biudes et al. (2012) concluíram que a conversão ocasionou diminuição de 5,7% da umidade relativa do ar e aumento de aproximadamente 1 °C na média da temperatura máxima do ar. Em outro estudo realizado na Bacia do Rio Itapemirim, ES, foi verificado que a média da temperatura do ar na área de dossel denso foi 1,1 °C inferior à média da temperatura em uma pequena clareira, enquanto nenhuma mudança significativa foi observada com relação à umidade relativa do ar entre as duas áreas (Martineli et al., 2004). Na avaliação do microclima em um fragmento de Mata Atlântica no município de São Cristóvão, SE, os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar, mensurados em uma clareira de 4 ha ao longo de um ano, foram, respectivamente, 1,3 °C superior e 10,2% inferior, quando comparados com os valores mensurados no interior de uma floresta conservada com dossel denso adjacente (White & Silva, 2018). Apesar desses estudos apontarem um incremento de 1,0 a 1,3 °C na temperatura média do ar decorrente da retirada da vegetação arbórea, o valor inferior encontrado no presente estudo (0,6 °C) pode ser justificado pelo pequeno tamanho da clareira (0,1 ha), o que leva a crer que a pequena área sem vegetação avaliada, sofreu influência suficiente da vizinhança florestal circundante e, conseqüentemente, do microclima desta última, a ponto de reduzir as diferenças.

Em um estudo que avaliou o microclima em distintas florestas na Tasmânia, Austrália, Baker et al. (2014) concluíram que uma floresta conservada exerce influência no microclima de regiões adjacentes sem vegetação ou em processo de regeneração, sendo que quanto maior a distância da floresta matriz, menor a influência. Assim como o microclima de uma floresta pode exercer influência no microclima de áreas próximas sem cobertura vegetal, o microclima de áreas sem cobertura arbórea também irá interferir no das bordas das florestas (Latimer & Zuckerber, 2017). É importante levar em conta que em clareiras pequenas e muito próximas à floresta matriz, durante algumas horas do dia, em função do ângulo do solo, as sombras das árvores da floresta podem reduzir a incidência de radiação solar na

clareira, afetando, conseqüentemente, o seu microclima (Godefroid et al., 2006). Considerando-se a influência que o tamanho da clareira e sua distância em relação à floresta matriz exercem no microclima, é essencial que tais informações sejam bem detalhadas em estudos que buscam avaliar as condições microclimáticas em clareiras.

Em todos os estudos consultados na literatura, foram verificados valores inferiores de umidade relativa do ar em áreas sem cobertura arbórea, quando comparadas com áreas arborizadas (Eg. Fortuniak et al., 2006; Biudes et al., 2012; Martini et al., 2013; White & Silva, 2018). Porém, esta variação não foi tão homogênea quanto à variação da temperatura. Segundo Fortuniak et al. (2006), áreas que apresentam vegetação arbórea possuem maiores taxas de evapotranspiração, o que contribui com o aumento da umidade relativa do ar. Todavia, esses autores mencionam que o processo de saturação do ar, as características da variação de umidade e os erros de medição tornam a determinação do conteúdo de vapor d'água no ambiente mais complexa do que da temperatura.

A variação da temperatura do solo nas camadas mais superficiais entre áreas com e sem cobertura arbórea costuma ser mais intensa que a variação da temperatura do ar (White & Silva, 2018). Em uma Floresta Estacional Semidecídua, em Viçosa, MG, a temperatura do solo a 2 cm de profundidade foi, em média, 5,6 °C menor no interior da floresta do que na área aberta adjacente e à mesma profundidade (Pezzopane et al., 2005). Na Bacia do Rio Itapemirim, ES, a temperatura do solo, também a 2 cm de profundidade, apresentou uma diferença de 3 °C entre a área florestal com dossel denso e a clareira (Martineli et al., 2004). White & Silva (2018) registraram um valor médio da temperatura do solo a 2 cm de profundidade de 25,5 °C na mata fechada e 29,1 °C na clareira (diferença de 3,6 °C). Acredita-se que uma menor diferença na média da temperatura do solo entre as duas áreas avaliadas neste estudo (2,5 °C), também se deve ao pequeno tamanho da clareira e sua proximidade com a floresta matriz.

Dentre as variáveis microclimáticas avaliadas, a temperatura do solo a 2 cm de profundidade foi a que, proporcionalmente, apresentou maior diferença entre as áreas avaliadas, sendo seu valor médio 10% superior na clareira. Em uma área sem cobertura vegetal, com o solo exposto, grande parte da radiação solar é absorvida pelas camadas mais superficiais do solo, resultando em

valores de temperatura maiores que a temperatura do ar (Alvalá et al., 2002). Em uma floresta conservada com o dossel denso, parte da radiação solar é refletida pela copa das árvores, reduzindo assim a disponibilidade de energia para aquecer o ar e o solo (Geiger et al., 2009). Além disso, a vegetação permite que os processos de infiltração d'água no solo sejam mais eficientes. Desta forma, ocorre o aumento da capacidade do solo de transmitir a energia absorvida, retardando o tempo de aquecimento do ar.

A serapilheira também exerce papel fundamental em relação à temperatura do ar e do solo. A mesma atua como um isolante térmico, o que dificulta a troca de energia entre solo-atmosfera, mantendo a sua temperatura estável com pequenas variações ao longo do dia (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007; Rodrigues et al., 2010; Carneiro et al., 2014). É importante frisar que em maiores profundidades, a variação da temperatura do solo em áreas com ou sem cobertura arbórea costuma ser mínima (Carneiro et al., 2014). Abaixo de 10 cm de profundidade, a temperatura do solo será mantida constante, não sofrendo alterações significativas ao longo do dia (Geiger et al., 2009). Características como teor de umidade, composição e estrutura do solo também interferem na temperatura das camadas superficiais, principalmente em solos expostos (Alvalá et al., 2002).

As variações microclimáticas descritas neste estudo são relevantes, a ponto de afetarem a estrutura vegetacional nas duas áreas. Na clareira, a elevada radiação solar direta incidente e os picos de temperatura do ar e do solo impedem o estabelecimento das espécies sucessionais tardias, pois as plântulas dessas espécies são sensíveis a esses fatores (Geiger et al., 2009). Portanto, as espécies pioneiras predominam em tais áreas, já que são mais resistentes às condições microclimáticas encontradas nas clareiras.

As análises das variações microclimáticas ao longo do ano e ao longo dos dias realizadas no presente estudo, indicam maior estabilidade microclimática no sub-bosque da área florestal, com menores variações dos parâmetros avaliados. A razão para tal é a atuação reguladora da vegetação (Geiger et al., 2009). Durante o dia, em áreas florestais, a disponibilidade de energia para aquecer o ar e o solo é mais baixa, quando comparada com áreas sem cobertura arbórea. Durante a noite, a perda de calor armazenado no solo para a atmosfera é mais eficiente na clareira e a temperatura cai rapidamente. Na floresta, a vegetação atua como uma

barreira, reduzindo a perda de calor e mantendo por mais tempo o ar aquecido. Portanto, é normal que durante a noite e madrugada a temperatura do ar no sub-bosque de uma floresta densa se mantenha superior à de uma área sem cobertura arbórea.

Com relação à umidade do ar, as flutuações também são menos intensas no sub-bosque florestal e, assim como na clareira, estão diretamente relacionadas com a temperatura do ar. Quando o ar se aquece, aumenta a sua capacidade de conter vapor d'água, reduzindo assim o valor da umidade relativa do ar (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). À noite, com o ar mais frio, a sua capacidade de conter vapor d'água é reduzida e, geralmente, nas primeiras horas da manhã se torna saturado, atingindo o ponto de orvalho.

Existem poucos estudos já publicados que caracterizam detalhadamente as variações sazonais e diárias dos parâmetros microclimáticos avaliados neste estudo. Em uma área próxima e com o mesmo padrão climático, Carneiro et al. (2014) avaliaram a temperatura do solo em remanescente de Mata Atlântica, em Coruripe, AL, e observaram que a temperatura mínima é registrada no fim da madrugada e início da manhã, com valores médios de 20,7 °C entre 4 h e 7 h nas profundidades entre 1 a 20 cm. De acordo com os mesmos autores, foram observadas diferenças entre o período chuvoso (inverno) e o seco (verão), sendo que durante a estação seca a temperatura média foi maior e apresentou maior amplitude térmica em função da maior incidência de radiação solar.

O trabalho de White & Silva (2018), desenvolvido em área distante apenas 50 km deste estudo, e com características vegetacionais e climáticas semelhantes, merece destaque. As temperaturas médias do ar na clareira e na área florestal registradas pelos autores foram, respectivamente, 2,3 °C e 1,6 °C superiores às registradas neste estudo. As temperaturas médias do solo nas duas áreas avaliadas foram, respectivamente, superiores em 1,5 °C e 0,4 °C às obtidas neste estudo. A umidade relativa do ar, por sua vez, foi inferior às médias registradas neste estudo, apresentando uma diferença de 9,4% e 6,1% para a clareira e área florestal, respectivamente. Embora a altitude possa justificar parte desta diferença, já que as áreas avaliadas neste estudo estão localizadas em altitude 125 m superior, destaca-se também que a diferença do tamanho das clareiras é fundamental para explicar as distinções.

Em se tratando do perigo de ocorrência de incêndios florestais, sabe-se que um dos fatores que exerce maior influência é o teor de umidade do material combustível morto e fino de 1 h de *timelag*, ou seja, a umidade de folhas e pequenos galhos (diâmetro inferior a 0,7 cm) mortos e depositados na serapilheira de uma floresta (White et al., 2016, 2018a). Em função da constante troca de umidade entre o material combustível e a atmosfera, em situações com temperaturas altas e menor conteúdo de vapor d'água no ambiente, o material vegetal torna-se mais seco e, conseqüentemente, apresenta maior facilidade de entrar em ignição e propagar o fogo (Soares & Batista, 2007; White et al., 2016, 2018a). Portanto, as mudanças microclimáticas causadas pela remoção da cobertura arbórea, conforme verificado neste estudo, elevam o perigo de ocorrência de incêndios florestais.

Além da influência no microclima, a abertura do dossel florestal resulta em maior intensidade de radiação solar no solo, favorecendo o desenvolvimento de espécies pioneiras de ciclo de vida curto. Exemplo são gramíneas do gênero *Brachiaria*, as quais desidratam com bastante facilidade durante o período seco, tornando-se altamente inflamáveis e, conseqüentemente, elevando ainda mais o perigo de ocorrência de incêndios florestais na área (White & Silva, 2018).

O desmatamento e a fragmentação florestal também podem afetar o clima em sua meso-escala. Áreas que passaram por um grande processo de desmatamento têm uma significativa redução no volume de precipitação pluviométrica, tornando-se mais secas (Brooks, 1928; Geiger et al., 2009; Araujo & Ponte, 2016). Considerando que a umidade da vegetação está diretamente relacionada com a precipitação pluviométrica, uma redução na precipitação implica em material combustível mais seco e em aumento no risco de ocorrência de incêndios florestais.

O aumento no registro de incêndios florestais no Brasil em áreas de Floresta Tropical nas últimas décadas, está intimamente relacionado com a constante fragmentação dos ecossistemas florestais, proporcionado, assim, condições abióticas e bióticas mais favoráveis à ignição e propagação do fogo (White et al., 2017; White & Silva, 2018).

Conclusões

Em área florestada com dossel denso do bioma Mata Atlântica, as condições microclimáticas foram mais

estáveis em comparação com as condições registradas em uma pequena clareira no seu interior. Como na clareira a quantidade de radiação solar que atinge o solo foi mais elevada, as temperaturas do ar e do solo apresentaram-se mais altas do que na área florestada.

As amplitudes de variações microclimáticas ocasionadas pela existência de uma clareira elevaram o perigo de ocorrência de incêndios florestais, principalmente durante os dias mais quentes e secos do ano. Portanto, a redução do desmatamento e a restauração de áreas degradadas são atividades essenciais a fim de se minimizar a incidência de incêndios florestais na Mata Atlântica.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE) pelo financiamento desta pesquisa.

Referências

- Alvalá, R. C. S. et al. Intradurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content, and thermal properties under forest and pasture in Rondônia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. 10-20, 2002.
- Araújo, R. C. & Ponte, M. X. Efeitos do Desmatamento em larga-escala na hidrologia da Bacia do Uraim, Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2390-2404, 2016. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160171>.
- Baker, T. P. et al. Microclimate through space and time: microclimatic variation at the edge of regeneration forests over daily, yearly and decadal time scales. **Forest Ecology and Management**, v. 334, p. 174-184, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.008>.
- Biudes, M. S. et al. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 61-68, 2012.
- Brooks, C. E. P. The influence of forests on rainfall and runoff. **Quarterly Journal**, v. 54, p. 1-13, 1928.
- Carneiro, R. et al. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 99-108, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000100013>.
- Climate-Data.Org. **Clima**: Capela (Brasil). 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sergipe/capela-42979/>>. Acesso em: 2 out. 2018.
- Fortuniak, K. et al. Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Lodz. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 84, n. 1-3, p. 91-101, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0147-y>.
- Geiger, R. et al. **The climate near the ground**. Berlin: Rowman & Littlefield, 2009.
- Godefroid, S. et al. Spatial variability of summer microclimates and plant species response along transects within clearcuts in a beech forest. **Plant Ecology**, v. 185, n. 1, p. 107-121, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01068.x>.
- Google. **Google Earth**. 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 29 maio 2020.
- Greiser, C. et al. Monthly microclimate models in a managed boreal forest landscape. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 250-251, p. 147-158, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.252>.
- Grimbacher, P. S. et al. Beetle species' responses suggest that microclimate mediates fragmentation effects in tropical Australian rainforest. **Austral Ecology**, v. 31, n. 4, p. 458-470, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2006.01606.x>.
- Hofmeister, J. et al. Microclimate edge effect in small fragments of temperate forests in the context of climate change. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 48-56, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.069>.
- Holsten, A. et al. Evaluation of the performance of meteorological forest fire indices for German federal states. **Forest Ecology and Management**, v. 287, p. 123-131, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.035>.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.
- Jucker, T. et al. Canopy structure and topography jointly constrain the microclimate of human-modified tropical landscapes. **Global Change Biology**, v. 24, n. 11, p. 5243-5258, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14415>.
- Kottek, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- Latimer, C. E. & Zuckerberg, B. Forest fragmentation alters winter microclimates and microrefugia in human-modified landscapes. **Ecography**, v. 40, n. 1, p. 158-70, 2017. <https://doi.org/10.5061/dryad.rk398>.
- Magura, T. et al. Edge responses are different in edges under natural versus anthropogenic influence: a meta-analysis using ground beetles. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 3, p. 1009-1017, 2017. <https://doi.org/10.1002/ece3.2722>.
- Martini, L. et al. Influência da abertura de clareiras no microclima de Floresta Semidecidual Secundária na bacia do rio Itapemirim, ES. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 8., 2004, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2004. p. 572-575.
- Martini, A. et al. Variação diária e estacional do microclima urbano em ruas arborizadas de Curitiba-PR. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 460-469, 2013. <https://doi.org/10.4322/foram.2013.045>.
- Meineri, E. & Hylander, K. Fine-grain, large-domain climate models based on climate station and comprehensive topographic information improve microrefugia detection. **Ecography**, v. 40, n. 8, p. 1003-1013, 2016. <https://doi.org/10.1111/ecog.02494>.

- Mendonça, F. & Danni-Oliveira, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.
- Oliveira, M. V. N. et al. Quantificação do material combustível em fragmento de Mata Atlântica no nordeste brasileiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, e201701449, p. 1-8, 2018. <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701449>.
- Pezzopane, J. E. M. et al. Caracterização da radiação solar em fragmento da Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 1, p. 11-19, 2005.
- Pivello, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>.
- Ribeiro, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-115, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.
- Riutta, T. et al. Experimental evidence for the interacting effects of forest edge, moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 49, p. 124-131, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.028>.
- Rodrigues, B. D. et al. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em área degradada. **Revista Árvore**, v. 34, p. 65-73, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000100008>.
- Soares, R. V. & Batista, A. C. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. 264 p.
- Souza, H. T. R. et al. A Relação solo e clima no monitoramento ambiental da Unidade de Conservação de Proteção Integral Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco (Capela-SE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 4, p. 791-806, 2012.
- Stewart, K. J. & Mallik, A. U. Bryophyte responses to microclimatic edge effects across riparian buffers. **Ecological Applications**, v. 16, n. 4, p. 1474-1486, 2006. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1474:BRTMEE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1474:BRTMEE]2.0.CO;2).
- Tabarelli, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.02.005>.
- White, B. L. A. et al. Avaliação e simulação do comportamento do fogo em diferentes fitofisionomias de uma área de Mata Atlântica do Nordeste Brasileiro. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 247-256, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v47i3.50844>.
- White, B. L. A. et al. Building fuel models and simulating their surface fire behavior in the “Serra de Itabaiana” National Park, Sergipe, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 27-38, 2013. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i1.28034>.
- White, B. L. A. et al. Empirical models for describing fire behavior in Brazilian commercial eucalypt plantations. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 397-406, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622042227>.
- White, L. A. S. et al. Evaluation of forest fire danger indexes for eucalypt plantations in Bahia, Brazil. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, article ID 613736, 2015. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/613736>.
- White, B. L. A. Modelos matemáticos de previsão do teor de umidade dos materiais combustíveis florestais finos e mortos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 432-445, 2018a. <https://doi.org/10.5902/1980509831622>.
- White, B. L. A. & Ribeiro, A. S. Análise da eficiência dos índices de perigo de ocorrência de incêndios florestais para o Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe. In: Santos, A. C. et al. (Ed.). **Pensar a (in)sustentabilidade**: desafios à pesquisa. Porto Alegre: Redes, 2010.
- White, B. L. A. & Silva, M. F. A. Variações microclimáticas e perigo de ocorrência de incêndios florestais em fragmento de Mata Atlântica no município de São Cristóvão, Sergipe. **Nativa**, v. 6, n. especial, p. 729-736, 2018. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5798>.
- White, B. L. A. Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 4, p. 358-367, 2018b.