

O papel do dossel de uma floresta estacional semidecidual na definição microclimática próximo ao solo

O microclima florestal influencia diversos processos ecológicos como a ciclagem de nutrientes e o crescimento das plantas. Objetivou-se caracterizar o microclima do sub-bosque de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em comparação a um campo aberto durante a primavera em um remanescente florestal da Floresta Nacional de Pacotuba, localizado em Cachoeiro de Itapemirim – ES, sendo para isso, instaladas duas estações meteorológicas: uma no interior da floresta e uma na área aberta adjacente. Durante outubro e dezembro de 2019, foram realizadas medições diárias de saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da superfície do solo e temperatura do solo a 2 cm, 5 cm, 10 cm e 20 cm. A transmissão de radiação solar foi atenuada no interior florestal durante o dia, resultando em menor disponibilidade energética para os fluxos de calor sensível, calor latente e fluxo de calor no solo. À noite, porém, o dossel atuou como um anteparo a radiação de onda longa, conservando a energia no sistema, e tornando a variação microclimática reduzida no interior em comparação a área aberta.

Palavras-chave: Índice de área foliar; Microclimatologia florestal; Radiação solar.

The role of the canopy of a seasonal semideciduous forest in the microclimatic definition close to the ground

The forest microclimate influences several ecological processes such as nutrient cycling and plant growth. This study aimed to characterize the understory microclimate of a remnant of Seasonal Semideciduous Forest and an open field during spring. The study was carried out in a forest remnant of the Pacotuba National Forest, located in Cachoeiro de Itapemirim – ES, where two meteorological stations were installed: one inside the forest and one in the adjacent open area. From October to December 2019, in both areas, daily measurements were taken of photosynthetically active radiation, radiation balance, temperature and relative humidity, soil surface temperature and soil temperature at 2 cm, 5 cm, 10 cm and 20 cm. The transmission of solar radiation was attenuated in the forest interior during the day, resulting in lower energy availability for sensible heat fluxes, latent heat and soil heat flux. At night, however, the canopy acted as a screen for long-wave radiation, conserving energy in the system, and making microclimatic variation reduced indoors compared to the open area.

Keywords: Leaf area index; Forest microclimatology; Solar radiation.

Topic: Ciências Florestais

Received: 02/10/2021

Approved: 25/10/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Megg Catterm Moreno 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6921114901832892>
<http://orcid.org/0000-0001-5044-1558>
meggmoreno@hotmail.com

Patrícia Borges Dias 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1194831380343570>
<http://orcid.org/0000-0002-5227-8341>
patriciaborgesdias@yahoo.com.br

José Eduardo Macedo Pezzopane 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3640768649683482>
<http://orcid.org/0000-0003-0024-4016>
pezzopane2007@yahoo.com.br

Genilda Canuto Amaral 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0868640938003832>
<http://orcid.org/0000-0002-8601-7780>
genildacanuto@gmail.com

Caroline Tavares Firmino 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4241362843309126>
<http://orcid.org/0000-0002-6905-4838>
tavares.carolini@gmail.com

João Vitor Toledo 

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6698808632715962>
<http://orcid.org/0000-0002-9712-4776>
jvitor_agr@yahoo.com.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0004

Referencing this:

MORENO, M. C.; DIAS, P. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, G. C.; FIRMINO, C. T.; TOLEDO, J. V.. O papel do dossel de uma floresta estacional semidecidual na definição microclimática próximo ao solo. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.10, p.35-46, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0004>

INTRODUÇÃO

O microclima florestal é compreendido como a caracterização do ambiente entre a superfície do solo e a copa das árvores (GEIGER, 1980), sendo de suma importância para o entendimento dos processos ecológicos (HARDWICK et al., 2015; MEZA-ELIZALDE et al., 2021; FRENNE et al., 2021). A presença do dossel determina as condições biofísicas, como temperatura, água e radiação solar que, por sua vez, determinam a composição das espécies, crescimento e desenvolvimento das plantas, regeneração, ciclagem de nutrientes do solo, decomposição da matéria orgânica e produtividade primária (HARDWICK et al., 2015; ZELLWEGER et al., 2020; SILVA et al., 2021).

No interior das florestas o microclima é caracterizado por temperaturas amenas e umidade relativa do ar mais alta quando comparado a ambientes abertos ou com solo exposto (BAKER et al., 2014; ZELLWEGER et al., 2020; FRENNE et al., 2021). Durante o dia, o dossel reflete e absorve parte da radiação solar, fazendo com que menos energia chegue ao solo abaixo da copa (GEIGER, 1950). Já durante a noite, o calor infravermelho liberado tanto pelo solo, como pelas plantas, é parcialmente retido pelo dossel (GEIGER, 1950) e, conseqüentemente, as áreas de floresta esfriam menos. Alguns autores relatam que este efeito de suavização nas amplitudes diárias de temperaturas é mais acentuado em dias quentes e ensolarados e em florestas mais densas. Além disso, depende de configurações fisiográficas como altitude, declividade e orientação de encostas (JUCKER et al., 2018), distância da borda da floresta (HOFMEISTER et al., 2019; MEZA-ELIZALDE et al., 2021) e umidade do solo (SILVA et al., 2021).

A medida em que é aquecido próximo ao dossel durante o dia, o ar é forçado a se deslocar em direção ao solo por meio de movimentos convectivos (HARDWICK et al., 2015). Dosséis mais densos tendem a absorver o impulso do ar, diminuindo a velocidade do vento e a mistura do ar conforme se avança em profundidade no dossel (FRENNE et al., 2021), resultando em um ar mais frio próximo ao solo. A evapotranspiração mantém o ar no interior da floresta mais úmido, porém, a quantidade de vapor de água retida no ar é altamente influenciada pela temperatura (HARDWICK et al., 2015).

Em área aberta, a diferença da umidade ao longo do dia é maior ao meio-dia e no início da tarde, quando os valores mínimos diários são registrados (GEIGER, 1950). Além disso, embora a umidade relativa seja geralmente mais alta, as amplitudes diárias abaixo do dossel são geralmente menores do que na área aberta próxima (FRENNE et al., 2021).

Informações sobre comparações do microclima de sub-bosque e campo aberto ainda são incipientes na literatura (JUCKER et al., 2018), especialmente em Florestas Estacionais Semidecíduais avaliando dias de céu limpo e nublados. Desta forma, este estudo objetivou caracterizar o microclima do sub-bosque de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual e um campo aberto durante a primavera, considerando a temperatura (do ar, da superfície e do solo), a radiação e a umidade do ar durante primavera. Para isso, testou-se a hipótese de que o microclima no sub-bosque da floresta será mais ameno em comparação ao campo aberto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em um remanescente florestal da Floresta Nacional de Pacotuba (FLONA de Pacotuba), localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, Sul do estado do Espírito Santo (20°45'S e 41°17'W) (Figura 1). Com área de 450 hectares e altitude de 100 metros, a FLONA é considerada um remanescente florestal de grande relevância para a Floresta Atlântica capixaba (ABREU et al., 2013).

A vegetação do remanescente é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana (ABREU et al., 2013), caracterizada por duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, que condicionam a sazonalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes. Essa definição fisionômica confirma a classificação de Köppen para a região, cujo clima enquadra-se no tipo Cwa, apresentando chuva mal distribuída ao longo do ano, com verão chuvoso e inverno seco. Os meses de novembro e dezembro apresentam maior pluviosidade, enquanto no mês de agosto se registra menores índices pluviométricos, sendo a precipitação média anual de 1.200 mm (ALVARES et al., 2013). A região é caracterizada por extensas áreas planas com esparsas e suaves elevações, aparecendo afloramentos rochosos em pontos distintos. O solo predominante da região é classificado Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) (ABREU et al., 2013).

Coleta e análise de dados

Para o estudo microclimático foram instaladas duas estações meteorológicas: uma estação no interior do remanescente florestal e outra fora da área da floresta, em ambiente aberto. As avaliações microclimáticas foram realizadas simultaneamente a fim de possibilitar uma comparação entre os ambientes. O período de coleta dos dados foi na estação da primavera, entre os dias de 22 de outubro a 14 de dezembro de 2019, totalizando 58 dias.

Foram coletados os dados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura e umidade do ar, saldo de Radiação (SR), temperatura da superfície do solo, temperatura do solo em quatro profundidades (2, 5, 10 e 20 cm) e precipitação. Na Tabela 1 apresenta-se o resumo dos equipamentos (modelos de sensores) utilizados em cada estação para cada variável microclimática. Antes de serem levados a campo cada sensor foi testado e calibrado no laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo.

Tabela 1: Variáveis microclimáticas envolvidas no estudo, modelo de sensores utilizados e local de medição. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Variável microclimática	Equipamento Utilizado	Local de medição	
		Área aberta	Interior
Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)	PAR Sensor KIPP & ZONE	x	x
Saldo de radiação (SR)	NR – LITE 2 Net Radiometer	x	x
Temperatura e Umidade relativa	CS500 CAMPBELL	x	x
Temperatura da superfície	Radiômetro Infravermelho Apogee SI111	x	x
Temperatura do solo	Type T Thermocouple	x	x
Precipitação	Pluviômetro TB4/TB4MM	x	

Além das variáveis medidas diretamente no campo, calculou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) a partir da diferença entre a pressão de saturação de vapor de água (e_s) e a pressão parcial de vapor (e_a) (PEREIRA et al., 2002). A pressão de saturação de vapor d'água foi obtida por meio da equação de Tetens e a pressão parcial de vapor foi calculada a partir dos valores de umidade relativa registrados em cada estação meteorológica.

Os sensores foram instalados a um metro de altura da superfície do solo e conectados a “dataloggers” (Campbell Scientific Inc., CR-1000), alimentados por bateria 12V, cujo carregamento era mantido por meio de placa solar de 10w. Os “dataloggers” foram programados para coletar dados a cada 10 segundos e registrar média a cada 10 minutos.

Determinou-se o índice de área foliar (IAF) do remanescente florestal por meio de um analisador de dossel (LAI-2.050 - LI-COR®), conectado a um “datalogger” (LAI-2.000 - LI-COR®). O sensor foi programado para realizar uma leitura a céu aberto e cinco leituras sob o dossel ao redor da estação. O processo foi repetido duas vezes, sendo o IAF final a média do IAF das duas leituras.

Foram realizadas análises comparativas para o interior e fora do remanescente florestal entre os diferentes dias escolhidos, por meio de análises de regressão simples. Todas as análises descritas foram realizadas no *software* do Microsoft Excel 2016.

RESULTADOS

O período de avaliação foi marcado pela ocorrência de chuvas, com 50% dos dias chuvosos. A precipitação total na FLONA de Pacotuba foi de 360,94 mm durante os 54 dias avaliados, sendo o dia 06/12/2019 de maior precipitação, com 38 mm, cerca de 11% do volume de chuva total.

Durante o estudo (22/10/2019 à 18/12/2019) a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no interior da floresta foi 99% menor quando comparada com a área aberta, sendo observados valores médios de $0,31 \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ no interior da floresta e de $37,17 \text{ mol.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ na área aberta. Este resultado denota a alta densidade do dossel no interior do remanescente, cujo Índice de Área Foliar (IAF), próximo ao local onde se encontrava instalada a estação meteorológica foi de 5,07. Em virtude disso, a predominância da nebulosidade durante o período experimental afetou a transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) mais expressivamente na área aberta.

A diferença na incidência de radiação entre a área aberta e o interior resultou em diferenças de mesma magnitude na disponibilidade energética dos ambientes (Figura 1). Enquanto a área aberta apresentou valores médios de saldo de radiação de $9,11 \text{ w.m}^{-2}$, o interior apresentou apenas $0,03 \text{ w.m}^{-2}$. Além disso, o saldo de radiação (SR) mostra que cerca de 50% do período estudado foi marcado por dias com presença de alta nebulosidade (Figura 1), resultado evidenciado pelo comportamento do saldo de radiação noturno no período de 11/11/2019 à 21/11/2019, onde os valores foram menos negativos, tanto no interior do remanescente florestal como na área aberta.

O comportamento da temperatura do ar (máxima, média e mínima) e da amplitude térmica no interior da floresta e na área aberta podem ser observados na Figura 2. Percebe-se que a temperatura média

apresentou resultados levemente maiores na área aberta (Figura 2A). Isso ocorreu em função das maiores temperaturas máximas ocorrerem na área aberta (Figura 2B). A similaridade entre as temperaturas mínimas do interior e da área aberta (Figura 2C), e, o fato de as temperaturas máximas serem maiores na área aberta resultaram em maior amplitude térmica na área aberta (Figura 2D).

Ao analisar as temperaturas mínimas (Figura 2C), percebe-se menor dissemelhança entre os valores do interior da floresta e da área aberta, sendo que durante o período avaliado a temperatura mínima no interior da floresta foi em média 0,9 °C maior que na área aberta. A amplitude térmica da superfície do solo, portanto, oscilou em função da temperatura máxima. Observa-se que na área aberta a amplitude térmica atingiu valores superiores a 35°C, enquanto no interior da floresta não ultrapassou 16°C (Figura 2D).

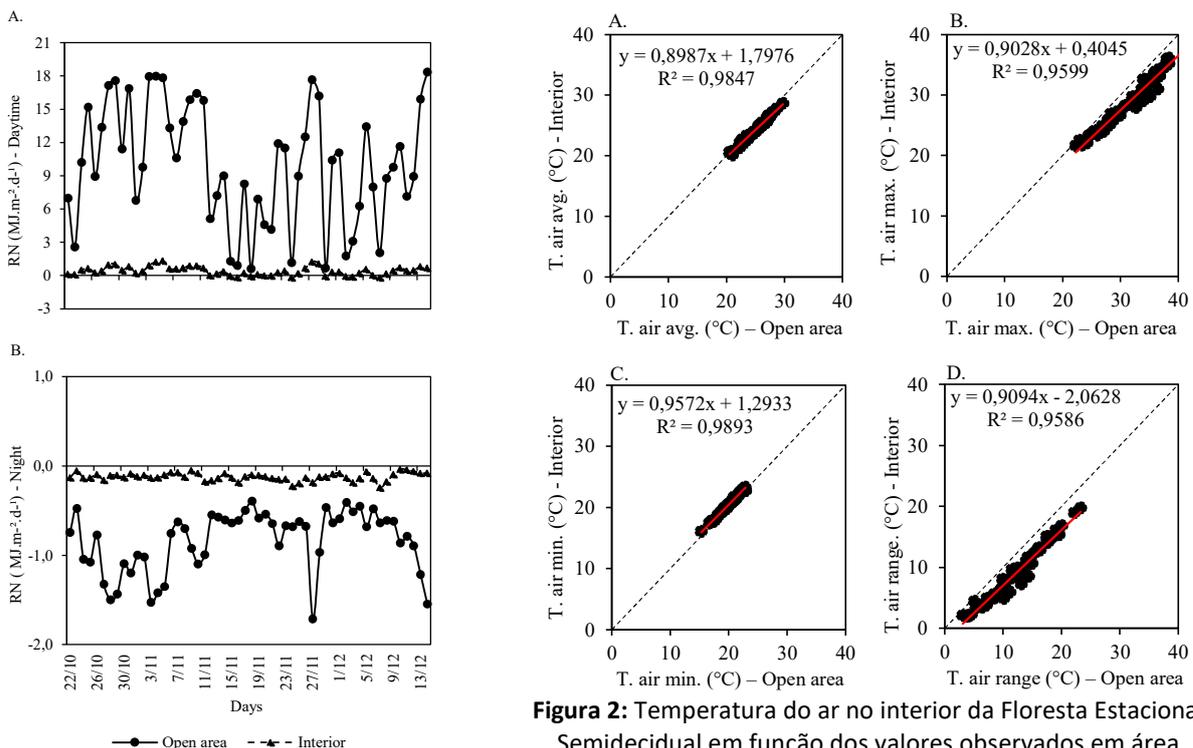


Figura 1: Saldo de radiação medido em área aberta e no interior de uma Floresta Estacional Semidecidual, no período de 22/10/2019 a 14/12/2019. (A) Saldo de radiação diurno. (B) Saldo de radiação noturno. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Figura 2: Temperatura do ar no interior da Floresta Estacional Semidecidual em função dos valores observados em área aberta no período de 22/10/2019 a 14/12/2019. (A) Temperatura média do ar. (B) Temperatura máxima do ar. (C) Temperatura mínima do ar. (D) Amplitude térmica. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

As temperaturas tanto do interior da floresta como da área aberta afetaram diretamente o comportamento do déficit de pressão de vapor (DPV) (Figura 3). Temperaturas mais altas na área aberta resultaram em maior DPV médio e máximo nessa área. Entretanto, a maior diferença entre os valores de DPV máximo da área aberta e do interior da floresta, resultou em uma reta menos inclinada (Figura 3B).

O comportamento da temperatura da superfície do solo no interior da floresta e na área aberta (Figura 4) indicam o quanto a presença a cobertura florestal influencia a manutenção do fluxo de calor do ambiente. Temperaturas médias da superfície da área aberta foram maiores que as do interior da floresta (Figura 4A), ultrapassando 32°C enquanto no interior da floresta se manteve abaixo de 30°C. Os resultados de temperatura máxima também foram superiores na área aberta, chegando a atingir valores de 60°C,

enquanto no interior da floresta a temperatura máxima não ultrapassou 40°C (Figura 4B).

A temperatura do perfil do solo, analisada em diferentes profundidades, mostra o quanto a floresta atenua a quantidade de radiação que chega à superfície do solo (Figura 5).

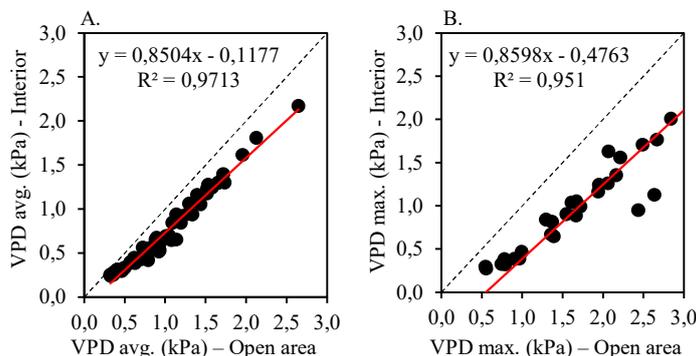


Figura 3: Déficit de pressão de vapor (DPV) no interior da Floresta Estacional Semidecidual em função dos valores observados em área aberta no período de 22/10/2019 a 14/12/2019. (A) DPV médio. (B) DPV máximo. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

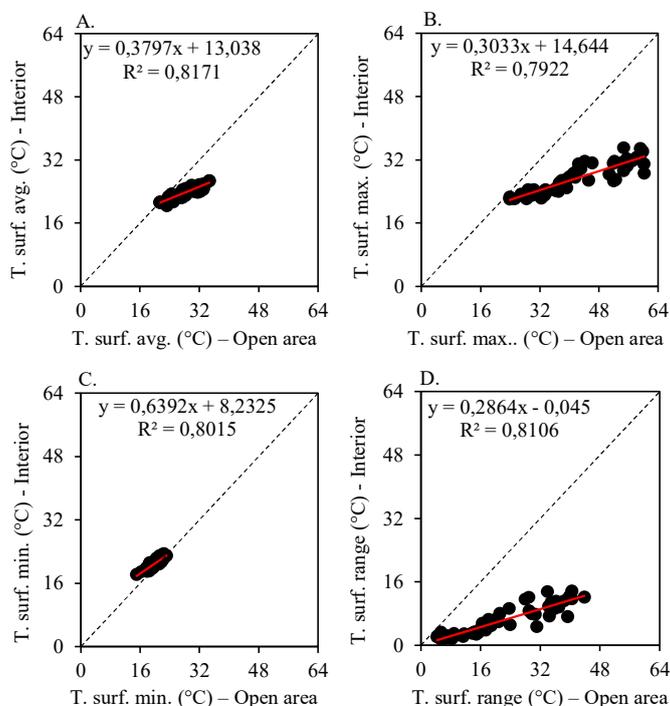


Figura 4: Temperatura da superfície do solo no interior da Floresta Estacional Semidecidual em função dos valores observados em área aberta no período de 22/10/2019 a 14/12/2019. (A) Temperatura média da superfície. (B) Temperatura máxima da superfície. (C) Temperatura mínima da superfície. (D) Amplitude térmica da superfície. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

Observando a temperatura média de cada profundidade, percebe-se um comportamento semelhante ao longo do perfil do solo, sendo que, independentemente da profundidade, no interior da floresta a temperatura média variou no intervalo de 20 a 25°C, enquanto na área aberta a temperatura média esteve no intervalo de 25 a 34°C (Figura 5A, D, G, J).

Concernente as temperaturas máximas do solo (Figura 5B, E, H, K), pode-se observar que a camada mais superficial do solo (2 e 5 cm) apresentaram maiores temperaturas, variando de 26 a 41°C na área aberta e de 22 °C a 25°C no interior da floresta.

As temperaturas mínimas do perfil do solo assim como as outras temperaturas observadas foram

mais altas na área aberta (Figura 5C, F, I, L). Na área aberta as temperaturas não atingiram 30°C nas profundidades 2 e 5 cm, enquanto no interior da floresta nessas mesmas profundidades não atingiram 25°C. Ao analisar a maior profundidade (20 cm) percebe-se que o comportamento no interior da floresta se manteve, não atingindo 25°C, por outro lado, na área aberta as menores temperaturas mínimas ultrapassaram 30°C.

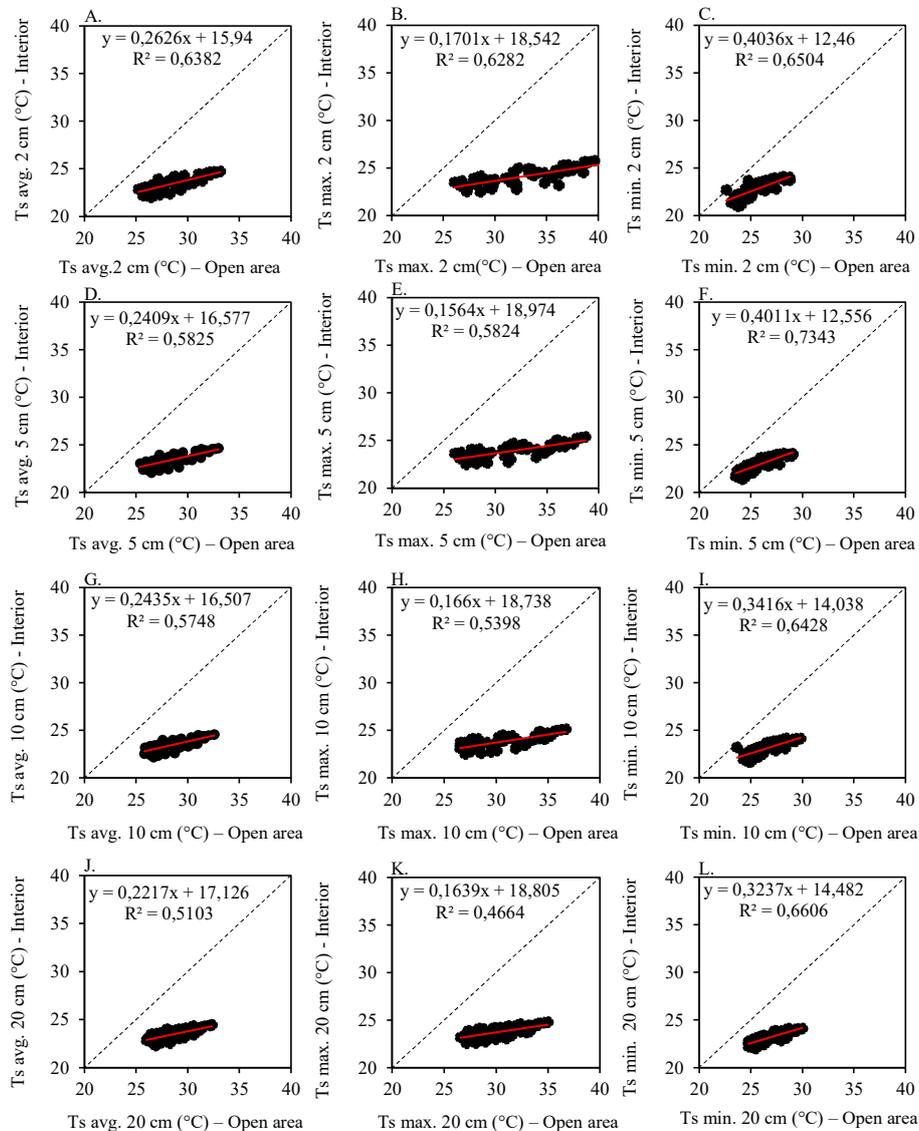


Figura 5: Temperatura do solo no interior da Floresta Estacional Semidecidual em função dos valores observados em área aberta no período de 22/10/2019 a 14/12/2019. Temperatura média do solo a 2 cm (A), 5 cm (D), 10 cm (G) e 20 cm (J). Temperatura máxima do solo a 2 cm (B), 5 cm (E), 10 cm (H) e 20 cm (K). Temperatura mínima do solo a 2 cm (C), 5 cm (F), 10 cm (I) e 20 cm (L). Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

A influência da precipitação e da nebulosidade na temperatura do ar, no déficit de pressão de vapor e na temperatura da superfície do solo foram evidenciadas por meio da análise de médias horárias de cada variável em três dias típicos, sendo um dia de céu limpo, um nublado e um de céu limpo pós chuva (Figura 6).

A média horária da temperatura do ar em dia de céu limpo na área aberta atingiu máxima de 35,5 °C, sendo 2,1 °C maior do que a máxima do interior da floresta (Figura 6A). Em dia nublado a temperatura do ar, tanto da área aberta quanto do interior da floresta, apresentou grande redução, registrando máximas de

25,4 °C e 24,0 °C, respectivamente (Figura 6D). A média horária da temperatura do ar em dia de céu limpo pós chuva (Figura 6G) mostra que na área aberta a temperatura máxima foi de 33,2 °C, enquanto no interior da floresta foi de 30,7°C. Ao comparar a temperatura do dia de céu limpo com dia de céu limpo pós chuva, nota-se atenuação da temperatura em 2,3 e 2,7 °C na área aberta e interior da floresta, respectivamente.

Em relação ao déficit de pressão vapor (DPV), em dia de céu limpo se observou na área aberta DPV máximo de 4,1 kPa, superior ao interior da floresta em 0,8 kPa (Figura 6B). Em dia nublado, a variação do DPV ao longo do dia foi reduzida, apresentando valores máximos de 1,3 kPa e 0,8 kPa na área aberta e no interior da floresta, respectivamente (Figura 6E). Em dia de céu limpo pós chuva, assim como na temperatura do ar, os valores do DPV ao longo do dia foram atenuados, tanto no interior da floresta como na área aberta, em 0,7 kPa (Figura 6H).

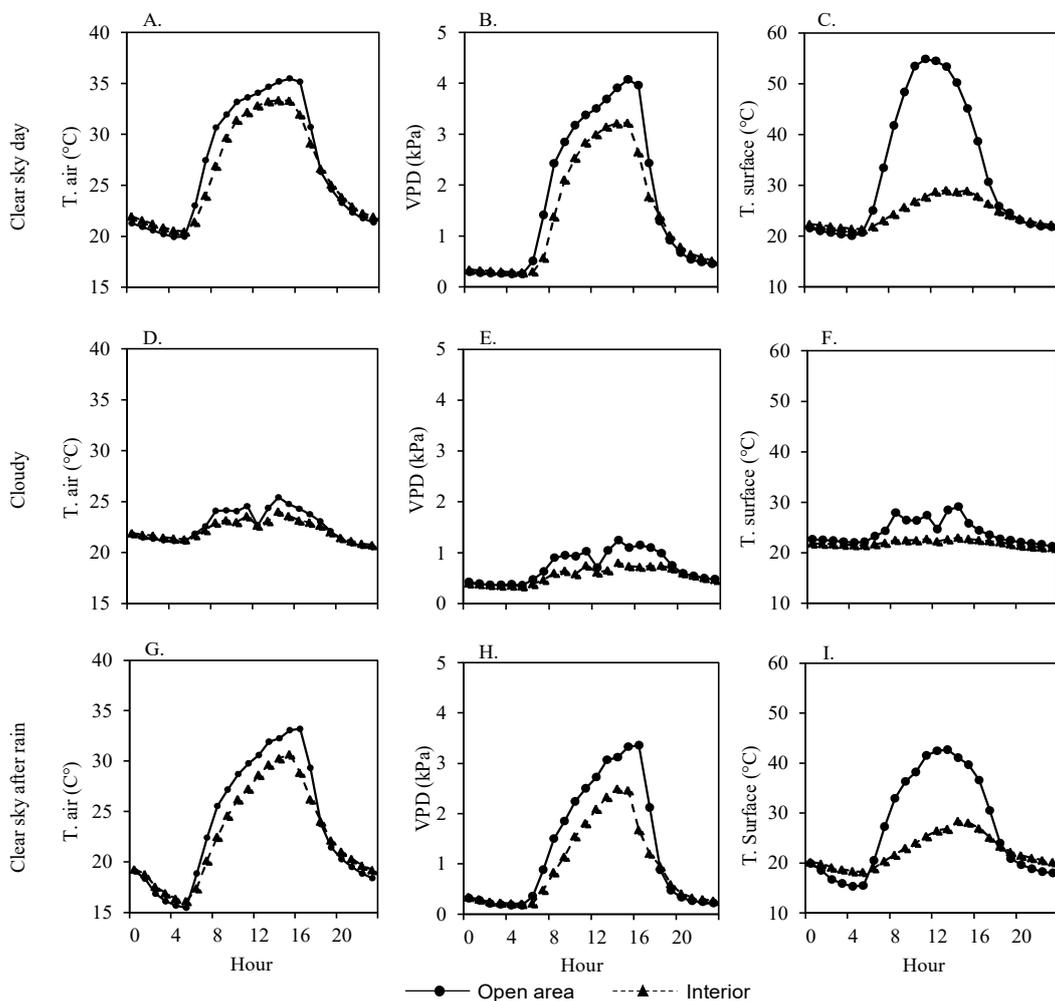


Figura 6: Valores médios horários de temperatura do ar (T ar), déficit de pressão de vapor (DPV) e temperatura da superfície (Tsup) em dia de céu limpo (A, D, G), em dia nublado (B, E, H) e em dia de céu limpo pós chuva (C, F, I), medidos em área aberta e no interior de uma Floresta Estacional Semidecidual. Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

A temperatura da superfície apresentou grande variação entre os ambientes avaliados tanto no dia de céu limpo anterior quanto no dia de céu limpo posterior à chuva (Figura 6C, I). Em dia de céu limpo a temperatura máxima da superfície na área aberta foi de 54,8 °C, com amplitude térmica de 34,8 °C, enquanto no interior da floresta observou-se máxima de 29 °C, com amplitude térmica de apenas 7,7 °C (Figura 6C).

Em dia de céu limpo pós chuva (Figura 6I), foram registradas máximas de 28,4 °C e 42,6 °C no interior da floresta e na área aberta, respectivamente. Nota-se que a máxima no interior da floresta foi pouco afetada quando comparada ao dia de céu limpo anterior à chuva. Entretanto, considerando a média diária houve uma diferença de 2,1 °C entre os dias de céu limpo anterior (24,6 °C) e posterior à chuva (22,5 °C). Em relação a área aberta, a diferença na média diária da temperatura da superfície entre os dias de céu limpo anterior (33,0 °C) e posterior à chuva (27,1 °C) foi de 5,1 °C. A superfície do solo em dia nublado (Figura 6F), não apresentou grandes variações da temperatura no interior da floresta, cuja amplitude térmica foi de 2,1 °C. Com máxima de 29,1 °C, a área aberta apresentou considerável redução na amplitude térmica (7,1 °C).

O comportamento da temperatura ao longo do perfil do solo a 2, 5, 10 e 20 cm avaliado em um dia de céu limpo, nublado e de céu limpo pós chuva pode ser observado na Figura 7. Em dia de céu limpo no interior da floresta a temperatura do perfil do solo tendeu a se igualar a partir da profundidade de 10 cm, independente do horário do dia (Figura 7A). Por outro lado, na área aberta a temperatura nos dois horários apresentam resultados inverso, ou seja, às 6 h o a temperatura do perfil do solo aumenta à medida que aumenta a profundidade, já as 14h à medida que aumenta profundidade a temperatura é reduzida.

Em dia nublado a temperatura do solo no interior da floresta não apresentou espaço-temporal (Figura 7B). Na área aberta a variação temporal foi consideravelmente reduzida, tendendo a isotermia na camada de 20 cm. Em dia de céu limpo pós chuva (Figura 7C), nota-se que ambos os locais apresentaram comportamento semelhante ao dia de céu limpo anterior à chuva. Entretanto, a temperatura do solo a 2 cm e 5 cm no interior da floresta foram reduzidas em 1,3 °C às 06 h e em 1,6 °C às 14 h. Na área aberta a diferença entre os referidos dias nas camadas superficiais do solo (2 cm e 5 cm) foi de 3,4 °C às 06 h e 2,7 °C às 14 h.

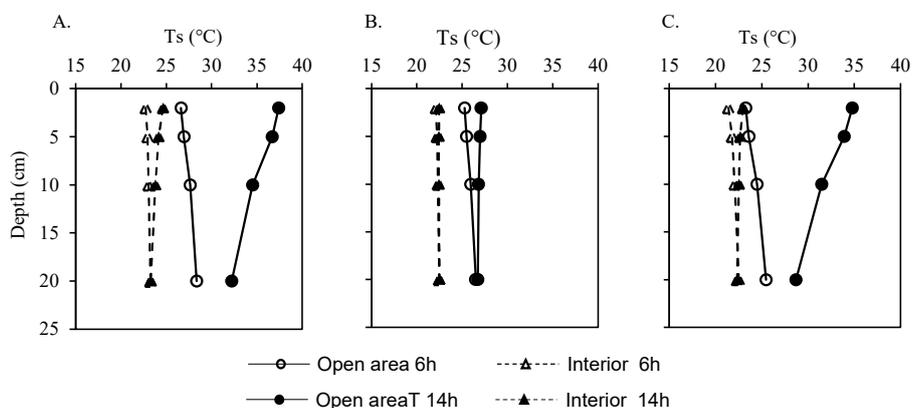


Figura 7: Perfil de temperatura do solo, mínima (6h) e máxima (14h) do solo a 2, 5, 10 e 20 cm em dia de céu limpo (A), em dia nublado (B) e em dia de céu limpo pós chuva (C), medidos em área aberta e no interior da Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil.

DISCUSSÃO

As diferenças observadas nos valores de RFA entre os ambientes evidenciam a influência do estrato arbóreo no regime de radiação de um local. As árvores têm influência significativa no interior da floresta, dessa forma o ângulo do sol e o sombreamento da copa das árvores influenciam a RFA da superfície (FAUSET et al., 2018). Essa diminuição da luz no dossel da floresta é caracterizada pela estrutura vertical dos caules, folhas e suas propriedades ópticas (BINKLEY et al., 2013), o que atenua e torna os valores do saldo de radiação

inferior ao que chega à área fora do remanescente.

Consequentemente, a temperatura que chega na superfície do solo do interior do remanescente é inferior quando comparada com a área de fora. A diferença significativa encontrada entre esses valores pode ser relacionada a temperatura do ar e na umidade relativa do ar, que mesmo não apontando diferenças significativas foram superiores na área fora do remanescente, ocasionando em um déficit de pressão de vapor também maior, uma vez que, a incidência dos ventos no interior do remanescente é bloqueada pela vegetação densa.

O comportamento da radiação solar no interior de um ecossistema tropical depende da sua estrutura. Reiterando o fato de que este trabalho foi realizado em uma floresta estacional semidecidual, alguns autores afirmam que quando as árvores estão completamente revestidas de folhas, as temperaturas extremas tendem a ser mais baixas dentro da mata, assim a temperatura pode afetar o metabolismo das plantas diretamente, o que influencia as taxas de fotossíntese e respiração, alterando o déficit de pressão do vapor ambiente (LLOYD et al., 2008; FAUSET et al., 2018).

A diminuição da radiação solar incidente no interior da floresta através da barreira proporcionada pelo dossel das copas das árvores implica em um menor aquecimento do solo e, ainda, na diminuição da velocidade do vento na medida em que se ganha em profundidade no dossel (ZELLWEGGER et al., 2020). Desse modo, tem-se menor emissão de radiação de onda longa e menor aquecimento do ar no espaço entre o solo e as copas das árvores (SILVA et al., 2021).

As plantas absorvem parte da radiação, a radiação fotossinteticamente ativa (PAR, 400-700 nm), que é de importância crítica para a ecologia fisiológica das plantas, pois é ela que mantém a atividade metabólica no mecanismo fotossintético. As pequenas diferenças na temperatura do ar durante o dia entre as áreas estudadas foram relacionadas a diferenças na irradiância de ondas curtas (CARLSON et al., 1997). Durante o dia a atmosfera aquecida pela radiação de onda curta provinda do sol transfere calor para o solo aquecendo-o. À noite a situação se inverte. A atmosfera é aquecida pela superfície terrestre que está mais quente. Dessa forma, a condição atmosférica do dia e as características da vegetação que cobre o terreno são determinantes nesta transferência de energia entre a atmosfera e a superfície.

Os dados apresentados neste trabalho demonstram a capacidade que a floresta semidecídua tem em manter a umidade relativa mínima do ar mais elevada, principalmente nos períodos mais quentes e úmidos. Segundo Silva et al. (2021), provavelmente essa capacidade está vinculada à menor temperatura e movimentação do ar no interior da mata favorecendo a permanência de condições mais estáveis.

As variáveis microclimáticas, particularmente a radiação solar, a temperatura da superfície do solo e a temperatura do solo, são altamente sensíveis às mudanças no dossel da história e exibem uma variabilidade espacial e temporal relativamente alta dentro de uma floresta (FRENNE et al., 2021). No entanto, assim como observado com a temperatura do ar, no período diurno com um dossel mais aberto a área aberta permite uma maior incidência de radiação aquecendo a superfície do solo, fazendo com que atinja temperaturas máximas maiores do que o interior do remanescente. Durante a noite, sem o anteparo de um dossel mais denso, a superfície do solo da área fora da floresta transfere mais energia para a atmosfera, fazendo com

que a temperatura mínima na superfície do solo decaia, tornando-se mais fria do que a superfície do interior da floresta.

Próximo à superfície se observa de forma mais pronunciada os efeitos dos fenômenos que envolvem a troca de energia entre a atmosfera e a superfície (GEIGER, 1980). Levando em consideração somente a temperatura na superfície, pode-se inferir que os solos se assemelham quanto a temperatura, no entanto deve-se levar em consideração o efeito do vento que atinge a superfície do solo, fazendo com que a temperatura na superfície em média dos dois ecossistemas se aproxime.

Ao longo do perfil do solo no interior da floresta, a temperatura ao longo do dia não oscila tanto quanto na área fora do remanescente. A área aberta, por possuir um maior fluxo de radiação, permite que a amplitude térmica seja mais acentuada, principalmente nas camadas mais próximas à superfície. Carneiro et al. (2014) em um estudo desenvolvido em um fragmento de floresta tropical localizado no nordeste do Brasil, no intuito de verificar a variabilidade da temperatura do solo com e sem a presença de serrapilheira, observaram que nas primeiras camadas do solo houve uma maior variação na temperatura sendo mais pronunciada no período seco.

Os resultados obtidos denotam que ao longo do período estudado a temperatura do solo no interior da floresta é mais estável e com temperatura menos elevada. Provavelmente, a maior variação de temperatura, nas primeiras camadas do solo na área fora provoca condições desfavoráveis à atividade microbiana responsável pela decomposição da matéria orgânica acarretando numa menor disponibilidade de nutrientes disponível para as plantas.

À medida que se ganha em profundidade e que se distancia da superfície/atmosfera, as características do solo passam a exercer um papel regulador da temperatura e a troca de energia é menos intensa. A transferência de calor entre a atmosfera e o solo se dá por condução e as características do solo influenciam a capacidade deste solo em conduzir o calor que atravessa o meio. Solos profundos, com maior teor de argila e matéria orgânica e mais úmido possuem uma capacidade menor em conduzir o calor em comparação àqueles solos pouco profundos, mais arenosos e com baixo teor de matéria orgânica e umidade. Assim, mesmo sendo necessários estudos que comprovem as propriedades físicas e químicas do solo, considera-se que o solo do interior do remanescente conduz o calor mais lentamente do que a área aberta.

De acordo com os resultados obtidos ao longo do período analisado, a temperatura do solo no interior da floresta é mais estável e com temperatura mais baixas. Tais resultados, principalmente na área externa do remanescente, influenciam na microbiota do solo comprometendo a disponibilidade de nutrientes para a planta.

CONCLUSÕES

O microclima no interior do remanescente florestal constitui um ambiente distinto ao externo devido ao dossel florestal, favorecendo menor incidência da radiação solar; alta umidade relativa do ar, devido à evapotranspiração e a serrapilheira que tornam o solo mais úmido.

A preservação da Floresta Nacional de Pacotuba é de suma importância para espécies animais e

vegetais, além da microbiota do solo, dependentes desse ambiente com características microclimáticas amenas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P.; SILVA, G. F.; SILVA, A. G.. Análise fitossociológica da Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro de Itapemirim, ES-Brasil. **Cerne**, v.19, n.1, p.157-168, 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6 p.711-728, 2013.
- BAKER, T. P.; JORDAN, G. J.; STEEL, E. A.; FOUNTAIN-JONES, N. M.; WARDLAW, T. J.; BAKER, S. C.. Microclimate through space and time: Microclimate variation at the edge regeneration forest ever daily, yearly and decadal time scale. **Forest Ecology and Management**, v.334, p.174-184, 2014.
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; GSPALTL, M.; FORRESTER, D. I.. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. **Forest Ecology and Management**, v.288, p 5-13, 2013.
- CARLSON, D. W.; GROOT, A.. Microclimate of clear-cut, forest interior and small openings in trembling aspen forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.87, n.4, p.313-329, 1997.
- FAUSET, S.; FREITAS, H. C.; GALBRAITH, D. R.; SULLIVAN, M. J. P.; AIDAR, M. P. M.; JOLY, C. A.; PHILLIPS, O. L.; VIEIRA, S. A.; GLOOR, M. U.. Differences in leaf thermoregulation and water use strategies between three co-occurring Atlantic forest tree species. **Plant, Cell & Environment**, v.41, n.7, p.1618-1631, 2018.
- FRENNE, P.; LENOIR, J.; LUOTO, M.; SCHEFFERS, B. R.; ZELLWEGER, F.; AALTO, J.; ASHCROFT, M. B.; CHRISTIANSEN, D. M.; DECOCQ, G.; DPAUW, K.; GOVAERT, S.; GREISER, C.; GRIL, E.; HAMPE, A.; JUCKER, T.; KLINGES, D. H.; KOELEMEIJER, I. A.; LEMBRECHTS, J. J.; MARREC, R.; MEEUSSEN, C.; OGÉE, J.; TYSTJÄRVI, V.; VANGANSBEKE, P.; HYLANDER, K.. Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. **Global Change Biology**, v.27, n.11, p.2279-2297, 2021.
- GEIGER, L.. **Manual de microclimatologia**: O clima da camada de ar junto ao solo. 4 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.
- GEIGER, R.. **The climate near the ground**. 2 ed. Cambridge: Harvard University Printing Office, 1950.
- HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; TURNER, E. C.; NILUS, R.; EWERS, R. M.. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.201, p.187-195, 2015.
- HOFMEISTER, J.; HOŠEK, J.; BRABEC, M.; ŠTRÁLKOVÁ, R.; MÝLOVÁ, P.; BOUDA, M.; PERRIT, J. L.; RYDVAL, M.; SVOBODA, M.. 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.
- JUCKER, T.; HARDWICK, S. R.; AMBOS, S.; ELIAS, D. M.; EWERS, R. M.; MILODOWSKI, D. T.; SWINFIELD, T.; COOMES, D. A.. Canopy structure and topography jointly constrain the microclimate of human-modified tropical landscapes. **Global Change Biology**, v.24, n.11, p.5243-5258, 2018.
- LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D.. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.363, n.1498, p.1811-1817, 2008.
- MEZA-ELIZALDE, M. C.; ARMENTERAS-PASCUAL, D.. Edge influence on the microclimate and vegetation of fragments of a north Amazonian forest. **Forest Ecology and Management**, v.498, p.119546, 2021.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.. **Agrometeorologia**: Fundamentos e aplicações práticas. Porto Alegre: Agropecuária, 2002.
- SILVA, T. G. F.; QUEIROZ, M. G.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B.; SOUZA, C. A. A.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO, G. G. L.; STEIDLE NETO, A. J.; SANTOS, T. S.; MELO, A. L.; CRUZ NETO, J. F.; SILVA, M. J.; ALVES, H. K. M. N.. Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. **Soil and Tillage Research**, v.207, p.104852, 2021.
- ZELLWEGER, F.; FRENNE, P.; LENOIR, J.; VANGANSBEKE, P.; VERHEYEN, K.; BERNHARDT-RÖMERMANN, M.; BAETEN, L.; HÉDL, R.; BERKI, I.; BRUNET, J.; VAN CALSTER H.; CHUDOMELOVÁ, M.; DECOCQ, G.; DIRNBÖCK, T.; DURAK T.; HEINKEN, B.; JAROSZEWICZ, M.; KOPECKÝ, F.; MÁLIŠ, M.; MACEK, M.; MALICKI, T.; NAAF, T. A.; NAGEL, A.; ORTMANN-AJKAI, P.; PETRŘÍK, R.; PIELECH, K.; PECZYŃSKA, W.; SCHMIDT, T.; STANDOVÁR, K.; ŚWIERKOSZ, B.; TELEKI, O.; VILD, M.; WULF, M.; COOMES, D.. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. **Science**, v.368, n.6492, p.772-775, 2020.