

Reflectância, variação da temperatura e conteúdo de água do solo em caatinga degradada na Paraíba

Kyegla Beatriz da Silva Martins^{1*}, Patrícia Carneiro Souto², Jacob Silva Souto², Arliston Pereira Leite²,
Mikaella Meira Monteiro³, Gerlanny Vieira de Morais⁴, Jaltiry Bezerra de Souza²

¹Doutoranda em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Brasil. (*Autor correspondente: kyeglabeatriz10@hotmail.com)

²Doutor em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

³Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

⁴Mestranda em Ciências Florestais, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 02/01/2024 – Revisado em: 22/02/2024 – Aceito em: 29/03/2024

RESUMO

As práticas de manejo utilizadas no preparo dos solos afetam temperatura e conteúdo de água, interferindo nas atividades dos organismos edáficos e fertilidade do solo. Assim, o estudo tem como objetivo analisar a variabilidade da temperatura, conteúdo de água do solo e balanço da radiação em função da pluviosidade e época do ano em três áreas no Núcleo de Desertificação do Seridó, na Paraíba. O experimento foi desenvolvido no período de janeiro – dezembro/2020 na Fazenda Experimental Cachoeira de São Porfírio, Várzea – PB. O conteúdo de água no solo foi avaliado mensalmente, onde coletou-se amostras de solo e, paralelamente mediu-se temperatura do solo utilizando termômetro digital com amostragens na superfície do solo e nas profundidades 10 e 20 cm. No balanço de energia utilizou-se o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), calculado a partir do balanço completo de radiação de energia incidente sobre a superfície terrestre em três áreas distintas: área preservada (I), área com técnicas nucleadoras (II) e área degradada (III). Durante o período de avaliação registrou-se pluviosidade de 767,3 mm com maiores valores do conteúdo de água do solo observados no período entre fevereiro – maio, período chuvoso na região. Os altos índices de temperatura do solo foram registrados na superfície e a amplitude térmica superior na área degradada. Conclui-se que nos meses com maior índice pluviométrico, o conteúdo de água no solo foi superior e com baixa difusividade térmica. Independente da época de avaliação a temperatura do solo foi superior na superfície em todas as áreas avaliadas.

Palavras-Chaves Emissividade, Difusividade térmica do solo, Balanço de energia do solo.

Reflectance, temperature sensitivity and soil water content in a degraded caatinga in Paraíba

ABSTRACT

The management practices used in soil tillage affect its temperature and its water content, interfering in the activities of edaphic organisms and, consequently, soil fertility. Thus, the study aims to analyze the variability of temperature, soil water content and radiation balance as a function of rainfall and time of year in three areas in the Seridó Desertification Center, Paraíba. The experiment was carried out from January to December/2020 at the Experimental Farm Cachoeira de São Porfírio, in the municipality of Várzea - PB, which is inserted in the Seridó Desertification Center. The soil water content was evaluated monthly, and soil samples were collected at three depths, on the surface, 10 cm and 20 cm, which were weighed and then calculated using the equation. At the same time, soil temperature was measured using a digital thermometer, with samples taken on the soil surface and at depths 10 cm and 20 cm. In the energy balance, the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) algorithm was used, calculated from the complete balance of incident energy radiation on the earth's surface in three distinct areas: preserved area (I), in the corresponding area the nucleating techniques of artificial perches and galharias (II) and in degraded area without any interference for recovery (III). During the evaluation period, rainfall of 767.3 mm was recorded, with the highest values of soil water content observed from February to May, during the rainy season in the region. The high soil temperature indexes were recorded on the soil surface and the upper thermal amplitude in the degraded area. It was concluded that in the months higher rainfall index the water content in the soil was higher and with low thermal diffusivity. Regardless of the evaluation time, the soil temperature was higher on the surface in all evaluated areas.

Keywords: Emissivity, Thermal diffusivity of the soil, Soil energy balance

Martins, K. B. S., Souto, P. C., Souto, J. S., Leite, A. P. Meira, M. M., Morais, G. V., Souza, J. B. (2024). Reflectância, variação da temperatura e conteúdo de água do solo em caatinga degradada na Paraíba. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.5, n.2, p.43-58.



1. Introdução

A Caatinga é um Bioma exclusivo do Brasil, possui área de localização em praticamente toda a Região Nordeste e apresentando um pequeno fragmento da Região Sudeste, mais precisamente no norte de Minas Gerais, com dominância de clima semiárido (pluviosidade média anual, inferior a 800 mm), resultando em 734 mil km² do território nacional (Koch; Almeida-Cortez e Kleinschmit, 2017; Lima; Silva e Silva 2021). Este Bioma representa o terceiro mais degradado do país por consequência do desmatamento. Estima-se que 80% de sua vegetação original já fora modificada, resultado das ações antrópicas e acarretando em áreas com uma sucessão ecológica de estágio inicial ou intermediário (Gonçalves et al., 2023).

Como resultado das ações, alterações no ecossistema expandem -se de forma descontrolada levando a grandes zonas de desertificação, o que gera relação íntima com a vegetação e os solos locais. Tudo isso resulta em transformações que enfraquecem a presença da cobertura vegetal por períodos prolongados, alargando os processos erosivos e deteriorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Sousa et al., 2020) provenientes também de diversos fatores climáticos e manejo inadequado.

Quando o solo é cultivado de forma intensiva o sistema de preparo do solo causará alterações em sua estrutura física, o que pode levar ao aumento da densidade e, com isso, também serão alteradas outras propriedades físicas tais como: porosidade, retenção de água, aeração e dificuldades no desenvolvimento do sistema radicular (Martins e Silva, 2022; Freire et al., 2023).

As práticas de manejo do solo também afetam a temperatura do solo, que se torna uma parte essencial do balanço de energia da superfície devido às mudanças de temperatura causadas pelo fluxo de calor no solo. Portanto, isso pode justificar o armazenamento e transferência de calor no solo e as trocas entre o solo e a atmosfera. Na determinação da temperatura do solo o conteúdo de água tem se mostrado importante, pois em solos mais úmidos o fluxo de calor é afetado. Dessa forma, o conteúdo de água no solo altera o nível da faixa de temperatura superficial durante a evaporação.

É importante estudar os atributos físicos do solo (temperatura e conteúdo de água) em área degradada e relacionar esses atributos nos processos de restauração, de modo a se constatar se poderá haver melhoria na fertilidade do solo e maiores atividades dos organismos edáficos, interferindo ou não, no processo sucessional da área de estudo. Assim, os estudos sobre comportamento térmico do solo em áreas de Caatinga degradada são cada vez mais requisitados, tendo em vista que a interação entre a temperatura do solo e o seu conteúdo de água são importantes para o entendimento sobre a presença de água e como afeta o fluxo de calor no solo.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade da temperatura, conteúdo de água do solo em função da pluviosidade e da época do ano e avaliar o balanço da radiação em função da profundidade em três áreas no Núcleo de Desertificação do Seridó, na Paraíba.

2. Material e Métodos

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Cachoeira de São Porfírio, no município de Várzea - PB, localizada nas coordenadas geográficas 06° 48' 32,1" S; 36° 57' 17,4" W e altitude de 271 m, onde foram instaladas técnicas nucleadoras (poleiros artificiais, enleiramento de galhadas, transposição de solo e técnica "bocaj") afim da promoção de restauração. De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo BSh, apresentando temperatura média anual de 25 °C e pluviosidade média anual inferior a 1000 mm (Alvares et al., 2013).

A área está em avançado estágio de degradação por causa do manejo inadequado praticado por várias décadas, como o cultivo de fumo e algodão que eram explorados intensivamente. Possui relevo suave ondulado, contendo boa representatividade de afloramentos rochosos e Neossolo Flúvico Ta distrófico como solo predominante (Lucena, 2019).

A caatinga existente é do tipo hiperxerófila com intenso antropismo composta por indivíduos arbóreo-arbustivo dispersos a exemplo da jurema preta, faveleira, pinhão manso, marmeleiro com estabelecimento em solos pedregosos e erodíveis (Souto et al. 2017).

2.2 Avaliações realizadas na área experimental

O estudo foi desenvolvido no período de janeiro a dezembro de 2020. Os dados de pluviosidade foram obtidos mensalmente pelo site da Agência Executiva de Gestão da Água (AESAs, 2020).

Para avaliação do conteúdo de água no solo, mensalmente foram coletadas em latas de alumínio amostras de solo na superfície do solo e nas profundidades de 10 e 20 cm, as quais foram pesadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/CSTR/UFCG, onde se obteve o peso da massa úmida (Pmu). Em seguida, as latas foram colocadas em estufa a 105° C por um período de 24 horas, obtendo-se desta forma o peso de massa seca (Pms).

O conteúdo de água no solo foi calculado pela seguinte equação:

$$\%U = \frac{Pmu - Pms}{Pms} \times 100 \quad (2)$$

onde: %U = conteúdo de água no solo; Pmu = massa do solo úmido; Pms = massa do solo seco.

Concomitantemente foi aferida a temperatura do solo utilizando termômetro digital, tipo espeto, na superfície do solo e nas profundidades de 10 cm e 20 cm, sendo a medição e leitura realizada às 09:00h.

2.3 Análise de balanço energético de radiação

Para determinação do balanço de energia o algoritmo faz-se a partir do balanço completo de radiação de energia incidente sobre a superfície terrestre convertendo (W.m-2) para (mm), utilizando a seguinte fórmula:

$$LE = R_n - G - H \quad (2)$$

onde:

LE = balanço de radiação de energia; Rn = saldo de radiação Rn; G = densidade de fluxo de calor no solo; H = densidade de fluxo de calor sensível.

A análise do balanço energético de radiação do solo foi avaliada em três áreas distintas: área preservada (I), área correspondente as técnicas nucleadoras de poleiros artificiais e galharias (II) e área degradada sem nenhuma interferência para recuperação (III).

Em diferentes horários (06:00; 09:00; 12:00; 15:00; 18:00 horas) foram realizadas as medições de temperatura e coleta de solo para cálculo de teor de umidade. Para temperatura foram aferidas as temperaturas na superfície e nas profundidades de 7,5 e 15 cm nas três áreas.

Foram escolhidas imagens do satélite Landsat 8, nas bandas 4, 5, 6 e 7 ao longo do dia 27 de março de 2021 de acordo com a cobertura de nuvens no espaço avaliado.

Para o processamento das imagens e cálculo automático do balanço de energia de acordo com as bandas necessárias foi utilizado o software Open Source Qgis versão 3.10 (QGIS, 2021).

2.4 Análise estatística

Os dados coletados referentes a temperatura e conteúdo de água no solo foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e quando significativos analisou-se pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o software – SAS/STAT 9.3 (2011). Foi realizada análise de correlação de Pearson para comparação da

temperatura em cada uma das profundidades, pluviosidade e conteúdo de água no solo. Para a avaliação do balanço de energia do solo foi realizada a análise de regressão em função dos horários para cada área e profundidades avaliadas

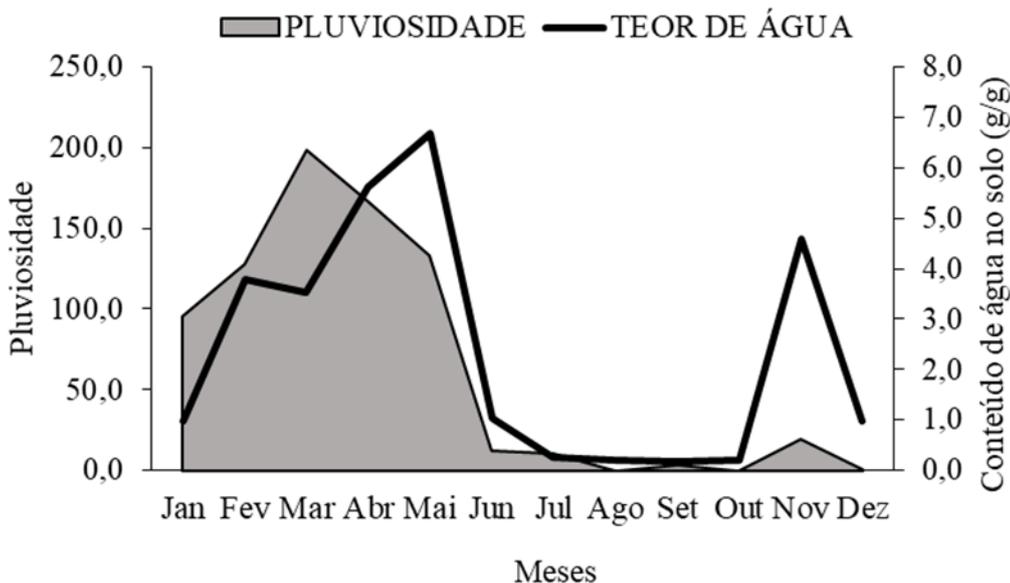
3. Resultados e Discussão

3.1 Pluviosidade, conteúdo de água e temperatura no solo

Durante o período de avaliação (janeiro a dezembro de 2020) registrou-se uma pluviosidade de 767,3 mm, com destaque para os meses de março e abril que obtiveram os maiores valores para pluviosidade na área. Com relação ao conteúdo de água do solo, dados obtidos por meio de análises mensais, os maiores percentuais foram registrados no período de fevereiro a maio, o que é justificado pelo período chuvoso na região (Figura 1). É interessante ressaltar a redução drástica no conteúdo de água do solo no mês de junho, indicando déficit hídrico no solo que desencadeia o processo de caducifolia da maioria das espécies da caatinga aumentando a exposição da superfície do solo à ação da radiação solar (Almeida; Carvalho; Araújo, 2019).

Figura 1 – Pluviosidade mensal (mm) e teor de água mensal (%) registradas no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB durante o ano de 2020.

Figure 1 - Monthly rainfall (mm) and monthly water content (%) recorded in the Seridó-PB Desertification Nucleus during 2020.

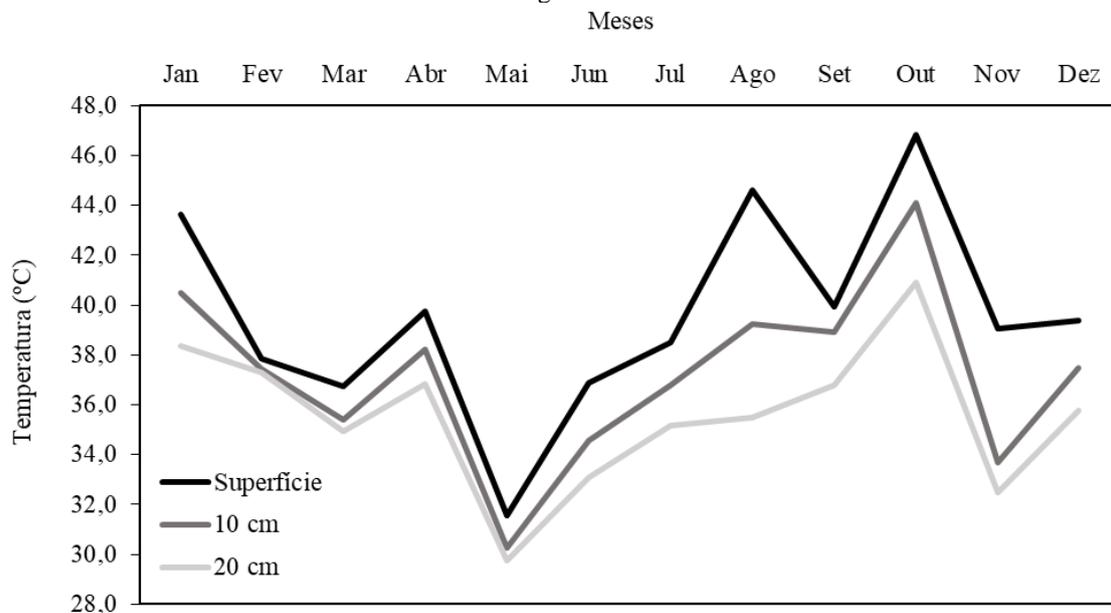


Fonte: Autores
Source: Authors

A umidade do solo também foi superior nos primeiros meses do ano, por motivos dos maiores índices pluviosidade registrados nas áreas. Segundo Santos, Montenegro e Silva (2011) isso ocorre porque quando se registra as maiores insolações verifica-se uma menor nebulosidade, resultando assim, em uma relação inversa entre as variáveis de radiação solar global e os teores de conteúdo de água, onde poderá ser verificado também pela variação das condições meteorológicas ao longo do tempo.

A temperatura do solo na área de estudo apresentou-se superior na superfície do solo (Figura 2) em todos os meses de avaliação.

Figura 2 – Temperatura (°C) do solo em diferentes profundidades (cm), registradas no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB durante o ano de 2020.
 Figure 2 - Soil temperature (°C) at different depths (cm), recorded in the Seridó Desertification Nucleus-PB during 2020.



Fonte: Autores
 Source: Authors

No mês de outubro/2020, onde as temperaturas máximas foram registradas, a temperatura da superfície registrou 46,9°C, já as temperaturas a 10 e 20 cm de profundidade registraram 44,1°C e 40,9°C, respectivamente. Isso deve-se, possivelmente, pela alta exposição do solo, onde na área de estudo há pouca cobertura vegetal na superfície do solo, o que favorece os altos índices de temperatura. Características essa que no estudo de Belan et al. (2013) também foi encontrada, na qual a temperatura do perfil encontrada teve variação em função das profundidades e da presença de cobertura vegetal.

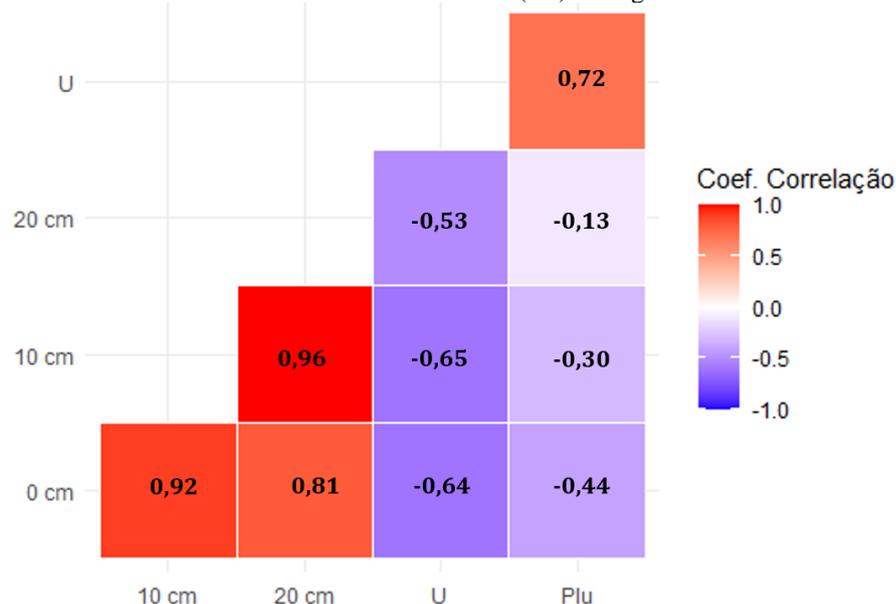
Segundo Gasparim *et al.* (2005) isso deve-se porque a energia oriunda da radiação solar, que é incidente na superfície terrestre, é absorvida pelo solo fazendo com que sua temperatura se eleve, apesar do solo ser um péssimo condutor térmico. Para Dantas *et al.* (2017) a temperatura do solo muda continuamente, estando relacionado ao ciclo de radiação que produz variações diárias significativas nos primeiros 30 cm abaixo da superfície do solo.

Estudo realizado por Leite *et al.* (2019), na mesma área de estudo, revelaram que a presença de técnicas nucleadoras é fundamental para manter a estabilidade da temperatura do solo e reduzir perdas no conteúdo de água do solo, pois a cobertura vegetal que se originou com a aplicação das técnicas protege a superfície do solo contra o impacto direto das chuvas e da radiação solar.

Na figura 3, verifica-se uma alta correlação entre a temperatura na superfície com a temperatura nas diferentes profundidades avaliadas, com correlação de 0,92 na camada de 10 cm e de 0,81 na camada de 20 cm de profundidade. A temperatura na superfície teve uma correlação inversamente proporcional com a umidade ($r=-0,64$) e com a pluviosidade ($-0,44$).

Figura 3 – Correlação de Pearson (r) entre as diferentes profundidades, conteúdo de água e pluviosidade em dados registrados no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB durante o ano de 2020.

Figure 3 - Pearson's correlation (r) between the different depths, water content and rainfall in data recorded at the Seridó Desertification Center (PB) during 2020.



Fonte: Autores
Source: Authors

Nesse estudo a pluviosidade e o conteúdo de água no solo apresentam uma alta correlação entre si ($r=0,72$) (Figura 3) e devido a isso os maiores valores de umidade foram encontrados nos meses que apresentaram maiores índices pluviométricos.

A alta correlação entre a maior temperatura e a menor temperatura encontrada nas camadas subsuperficiais são justificadas pela difusidade térmica do solo, que controla a velocidade em que as ondas de calor são transmitidas para camadas inferiores do solo. Uma difusidade baixa do solo pode ser usada para explicar temperaturas mais elevadas em camadas superficiais e mais baixas em camadas mais profundas, devido a não penetração de calor. No seu estudo Silans, Silva e Barbosa (2006) averiguaram que a difusividade térmica do solo se relaciona com a sua habilidade de absorver e transferir calor para camadas mais profundas.

Essa difusidade térmica pode ter variação de acordo com alguns fatores, como por exemplo o tipo de vegetação que cobre o solo, sendo a difusidade menor em solos que apresentam algum tipo de vegetação se comparado ao mesmo tipo de solo descoberto. A difusidade da temperatura foi inferior nos meses em que a pluviosidade foi inferior, isso em virtude de conteúdo de água no solo ser um fator influenciador na difusidade.

Outros fatores que influenciam a difusidade de um solo são a densidade e a composição do solo. A umidade tem influência nesse processo de difusidade até um ponto máximo. A partir desse ponto a umidade do solo não influencia nos processos de difusidade. A probabilidade de encontrar temperaturas elevadas à medida que se aumenta a profundidade dos solos é maior quando as camadas superficiais estão aquecidas.

Através dos processos de difusidade e capacidade térmica dos solos é possível confirmar a alta correlação entre a temperatura nas camadas mais profundas se correlacionar positivamente com a temperatura da camada superficial, sendo que características externas ao solo são mais eficientes no controle dessa temperatura como a matéria orgânica, conteúdo de água no solo, balanço de energia e densidade do solo. Os fatores ligados ao próprio solo que contribuem na capacidade térmica podem ser resumidos na composição

mineralógica (Maciel Neto et al., 2015).

Fatores antrópicos também podem favorecer ou não a capacidade térmica de um solo. A compactação, por exemplo, aumenta a densidade de um solo, diminuindo a porosidade e consequentemente a temperatura é dissipada mais facilmente para as camadas mais profundas do solo (Kato,1998).

A temperatura avaliada em 10 cm de profundidade do solo também apresentou alta correlação com a temperatura a 20 cm de profundidade ($r=0,96$) e correlações inversamente proporcionais com o teor de água no solo ($r=-0,65$) e pluviosidade ($r=-0,30$). A correlação do teor de água e pluviosidade com a temperatura da camada de 20 cm de profundidade do solo, assim como nas demais camadas, também apresentou correlação inversamente proporcional nessa camada (Figura 3).

O conteúdo de água de um solo é o principal fator que influencia na capacidade, difusividade e condutividade térmica de um solo. Dessa forma, quanto maior for o conteúdo de água do solo, menor será a temperatura. Porém, apesar da temperatura ser inferior, a velocidade de transmissão de calor para camadas mais profundas aumenta, gerando um equilíbrio de temperatura entre as camadas. A quantidade de calor será reduzida à medida que aumenta essa profundidade.

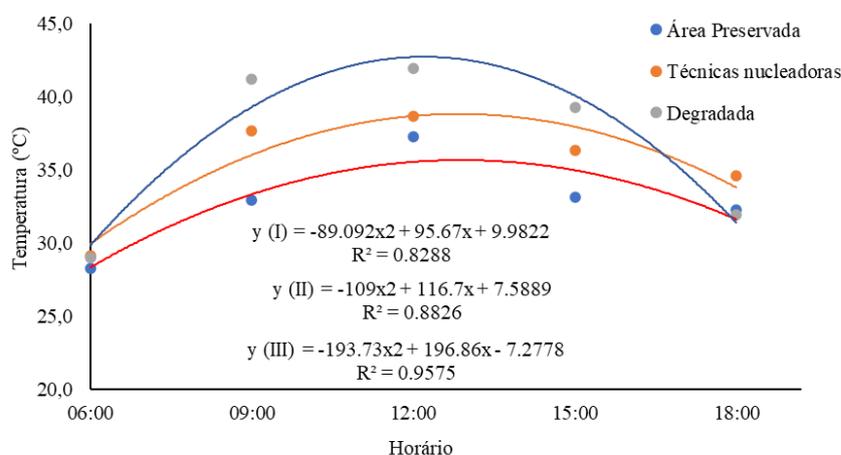
A umidade apresentou alta correlação com a pluviosidade ($r=0,72$) indicando que a umidade encontrada nas diferentes camadas tem total relação com o regime de chuvas (Figura 3), isso acontece devido a umidade do solo ser influenciada pela quantidade de chuva de uma determinada região.

3.2 Variação de temperatura e umidade do solo ao longo do dia

Houve efeito significativo para regressão quadrática para a variável temperatura em todas as áreas avaliadas. Também houve efeito positivo para a temperatura avaliada em cada área nas diferentes profundidades de avaliação e efeito significativo para a regressão quadrática para as áreas nas avaliações em cada profundidade (Figuras 4, 5 e 6).

Em todas as áreas a temperatura apresentou o mesmo comportamento, sendo inferior às 06h00 e com aumento da temperatura até as 12h54. A partir desse horário houve uma redução gradual da temperatura em todas as áreas avaliadas. Esse aumento de temperatura à medida que o dia avança ocorre devido ao balanço de energia acumulado pelo solo, em que o calor absorvido é superior ao calor que é refletido novamente para a atmosfera (Figura 4).

Figura 4 – Variação da temperatura (°C) em diferentes áreas no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB, 2021
Figure 4 - Temperature variation (°C) in different areas in the Seridó Desertification Nucleus-PB, 2021.



Fonte: Autores

Source: Authors

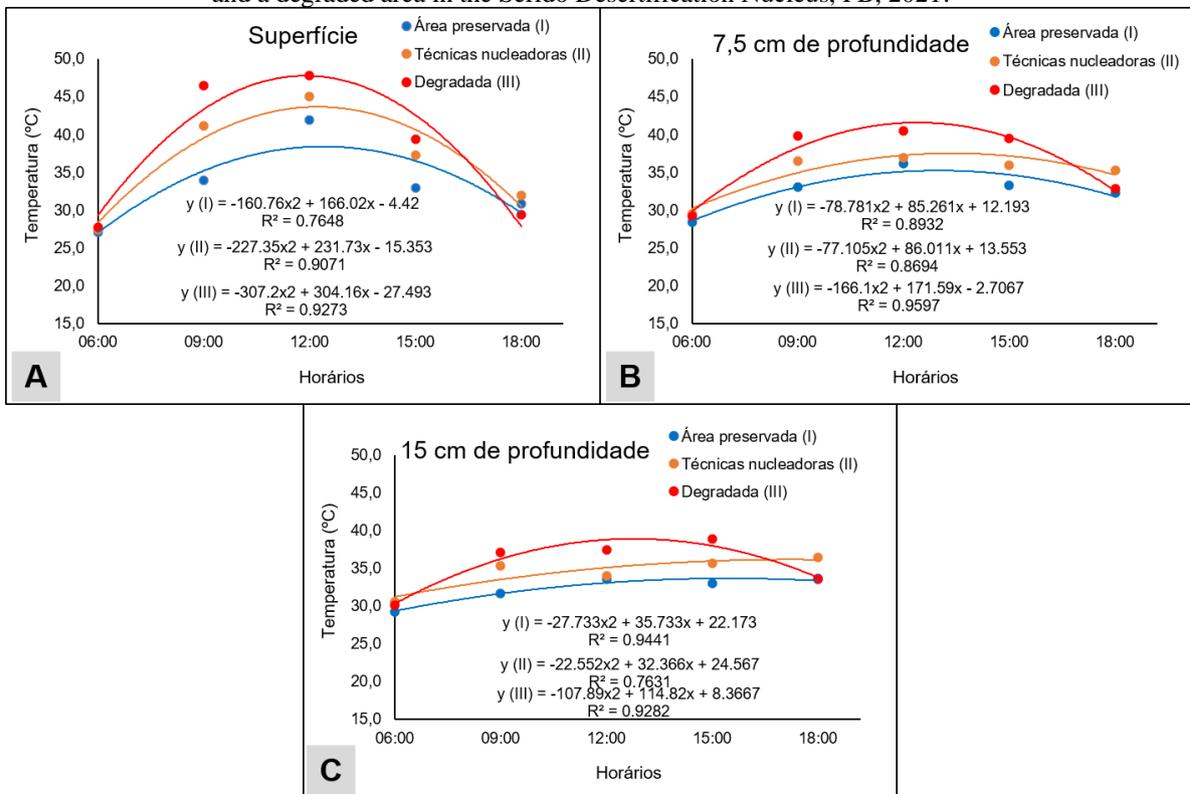
Ainda na figura 4 é possível observar que no início e final do dia a temperatura em todas as áreas eram constantes, mas a amplitude térmica em cada uma das áreas se comportou de maneira diferente. Na área preservada as temperaturas mínimas e máximas foram 26,3°C e 39,8°C, respectivamente. Na área com as técnicas nucleadoras registrou-se 26,9°C e 48°C; já na área degradada as temperaturas mínima e máxima obtidas foram 27°C e 56,8°C durante o período de avaliação.

A amplitude térmica foi superior na área degradada, sendo intermediária nas áreas com as técnicas nucleadoras e inferior na área conservada. A área conservada apresenta árvores de médio porte, além do estrato herbáceo, diferentemente das outras áreas. Esse fator, possivelmente, contribuiu com a menor amplitude térmica nessa área em relação as demais. Para Silva *et al.* (2017) a vegetação corrobora com muitos benefícios ao meio ambiente, à saúde com ações purificadoras pela fotossíntese, suavização de temperaturas, filtragem da radiação solar, conservação da umidade do solo, redução da velocidade do vento, manutenção de propriedades do solo como permeabilidade e fertilidade, abrigo à fauna existente, amortecimento de ruídos sonoros e outros.

Para as profundidades do solo houve diferenças na variação de temperatura entre as profundidades avaliadas. A variação térmica na área degradada e os valores absolutos de temperatura foram superiores na área degradada e inferiores na área conservada (Figura 5).

Figura 5 – Variação da temperatura (°C) em diferentes profundidades (cm) em área preservada, área com técnicas nucleadoras e área degradada no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB, 2021

Figure 5 - Temperature variation (°C) at different depths (cm) in a preserved area, an area with nucleation techniques and a degraded area in the Seridó Desertification Nucleus, PB, 2021.



Fonte: Autores
Source: Authors

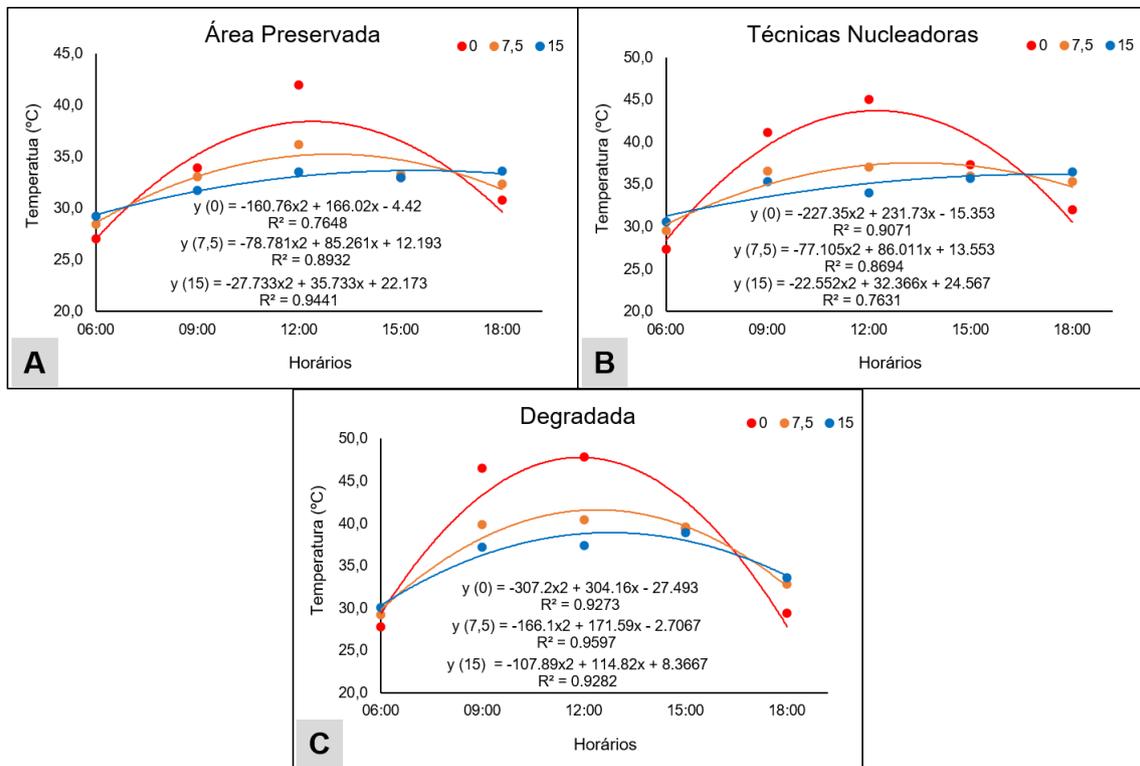
Na área degradada, caracterizada pela ausência de vegetação, apresenta alta capacidade de absorção da energia térmica absorvida pelos solos, o que resultou em uma amplitude térmica superior nessa área. A área na qual se aplicou as técnicas nucleadoras apresentou um comportamento similar ao da área conservada, revelando uma eficiência positiva das técnicas nucleadoras implantadas na área.

Além da vegetação outros fatores podem ser levados em consideração no armazenamento de calor do solo. A capacidade de um solo para armazenar e transferir calor é fundamentalmente regida por suas propriedades térmicas intrínsecas, as quais são influenciadas por uma variedade de fatores, incluindo composição mineralógica, textura, teor de umidade e matéria orgânica (Augusto et al., 2022). Além disso, as condições meteorológicas locais desempenham um papel crucial nesse processo, exercendo um impacto significativo sobre a dinâmica térmica do solo. Todos esses processos são intimamente ligados à regulação térmica do solo, que por sua vez é moldada pela interação complexa entre suas propriedades intrínsecas e as condições meteorológicas circundantes (Silveira et al., 2011)

Avaliando as áreas isoladamente é possível identificar que dentre todas as camadas avaliadas a superficial apresentou uma maior amplitude térmica; já a camada mais profunda apresentou menores variações de temperatura ao longo do dia. Independente da camada avaliada é possível constatar que a área degradada apresentou maiores variações térmicas em todas as camadas (Figura 6).

Figura 6 – Variação da temperatura (°C) em diferentes áreas, na superfície do solo, 7,5 e 15 cm de profundidade no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB, 2021.

Figure 6 - Temperature variation (°C) in different areas, on the soil surface, 7.5 and 15 cm deep in the Seridó-PB Desertification Nucleus, 2021.



Fonte: Autores
Source: Authors

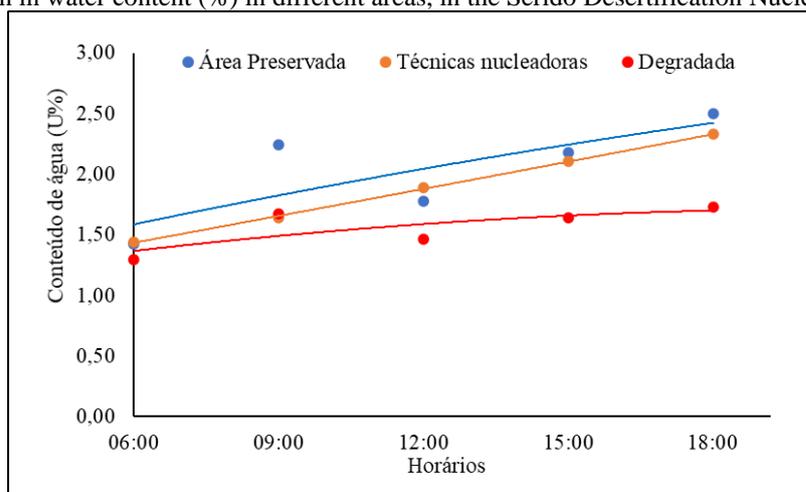
No estudo desenvolvido por Seben et al. (2011), avaliando um perfil do solo, nas profundidades de 5, 15 e 30cm verificaram que a presença de uma densa cobertura morta sobre o solo está associada a uma menor variação da temperatura ao longo do perfil. As práticas de manejo exercem uma influência substancial sobre o padrão de temperatura do solo. Em sistemas conservacionistas, por exemplo, a presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo funciona como um moderador eficaz da variação térmica.

O uso de técnicas nucleadoras vai melhorar as características do solo, aumentando a quantidade de vegetação da área. Com esse aumento de vegetação ocorrerá o impedimento da elevação da temperatura nas camadas do solo devido à pouca exposição e consequente diminuição na taxa de decomposição da matéria orgânica do solo e manutenção da serapilheira por mais tempo na superfície do solo. Esse aspecto é importante em função dos efeitos marcantes que a temperatura do solo exerce na atividade biológica, germinação de sementes, crescimento radicular e absorção de água.

É possível observar na figura 7 que a área preservada (I), se comporta quase que mantendo a estabilidade em todos os horários analisados na variável conteúdo de água no solo. Isso deve-se principalmente pelo fator matéria orgânica, que é um dos principais componentes que mantem a agregação dos solos, de forma que, se preserve a porosidade e a capacidade de absorção e retenção de água. Na área preservada o valor do conteúdo de água variou de 1,42 a 2,50% ao longo do dia. Já na área com as técnicas nucleadoras essa variação foi de 1,44 a 2,33 % e na área degradada os valores mínimos e máximos foram de 1,30 a 1,73%, respectivamente.

Figura 7 – Variação do conteúdo de água (%) em diferentes áreas, no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB, 2021.

Figure 7 - Variation in water content (%) in different areas, in the Seridó Desertification Nucleus-PB, 2021.



Fonte: Autores
Source: Authors

A área preservada apresenta um componente vegetal de indivíduos arbóreos-arbustivos, o que facilita o aumento da matéria orgânica dos solos da área pela deposição de material vegetal correspondentes as frações vegetais de folhas, material reprodutivo e galhos que caem ao solo e se degradam transformando-se em matéria orgânica. Dessa maneira, há uma conservação da umidade e segundo Lopes *et al.* (2012) aumenta a capacidade de absorver e infiltrar a água pelo perfil do solo, além de proporcionar maior atividade microbiana e reduzir riscos de erosão.

Nas florestas, os solos exibem uma maior porosidade, o que permite que a água infiltre para as camadas mais profundas se mantendo armazenada no subsolo. Dessa maneira, a capacidade de infiltração está associada ao grau de ação antrópica e ao tipo de cobertura vegetal.

Mendonça *et al.* (2009) em seu estudo citam que o solo da área preservada são mais propícios a não se desagregarem o que afeta diretamente a capacidade de infiltração do solo, já as áreas degradadas apresentam

solos densos e pouca matéria orgânica, o que afeta a capacidade de aeração e infiltração, prejudica o crescimento radicular, interfere na recuperação de áreas degradadas e afeta a redução do reabastecimento (Figura 7), onde a área degradada apresenta menores taxas absolutas de conteúdo de água no solo.

3.3 Avaliação do balanço energético

O balanço de radiação teve uma amplitude total de 768,0 J com valores inferiores de 954,80 encontrados na área mais degradada e valores superiores de 1722,80 verificados na área conservada. Houve diferenças estatísticas entre as áreas avaliadas, onde a área conservada apresentou valores superiores as demais áreas (Tabela 1; Figura 8).

Tabela 1 – Balanço de radiação em área de Caatinga preservada, área com técnica nucleadoras e área degradada no Núcleo de Desertificação. 2020.

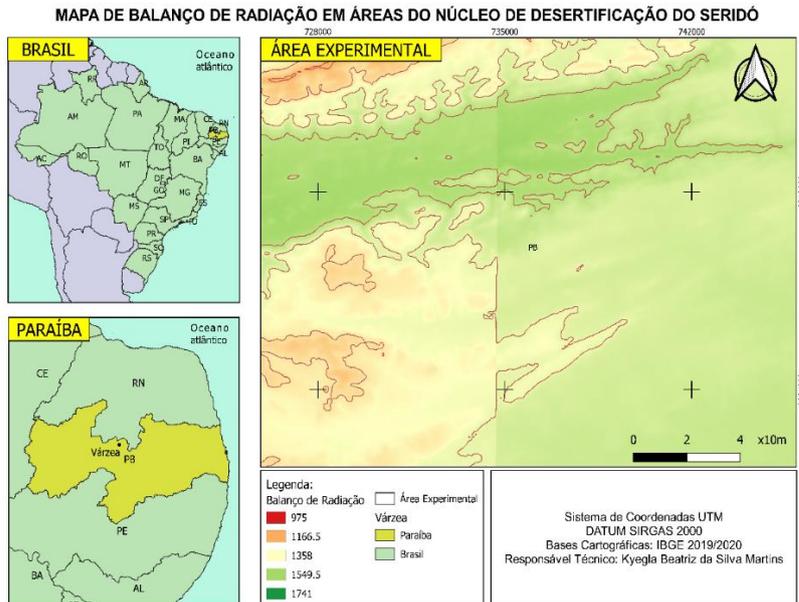
Table 1 – Radiation balance in a preserved Caatinga area, an area with nucleation techniques and a degraded area in the Desertification Core. 2020.

Áreas	Balanço de energia (J . m ²)
Conservada (I)	1722,80 a
Técnicas nucleadoras (II)	1329,40 b
Degradada (III)	954,80 c
Média	1335.67

Fonte: Autores
Source: Authors

Figura 8 – Mapa de balanço da radiação (Rn) em área preservada, área com técnicas nucleadoras e área degradada no Núcleo de Desertificação do Seridó-PB, 2021.

Figure 8 - Radiation balance map (Rn) in preserved area, area with nucleation techniques and degraded area in the Seridó Desertification Nucleus-PB, 2021.



Fonte: Autores
Source: Authors

A aplicação de técnicas nucleadoras podem afetar a maneira de como uma área interage com o ambiente,

já que há uma alteração na interação da energia absorvida e refletida na umidade do solo, na quantidade de CO₂ e diversos gases atmosféricos. Essas mudanças em um ambiente resultam no balanço da energia da superfície, dependendo do tamanho da área reflete nos ciclos biogeoquímicos e, especialmente, no hidrológico, pois sua partição de energia é bastante sensível para o processo de formação de nuvens, que resultará em pluviosidade (Ataide; Oliveira; Pinto, 2020).

Através da análise do saldo de radiação é possível sintetizar a contabilidade dos fluxos absorvidos e refletidos, sejam eles de ondas curtas ou de ondas longas que tem interação com a superfície do solo. Essa radiação tem grande importância nos estudos de balanço de energia.

Os valores mais elevados de Rn na área degradada é devido ao acúmulo de energia no solo devido à falta de vegetação. Os valores de irradiação elevados em todas as áreas podem ser explicados em razão da maior irradiação solar verificada nessa época e devido à menor nebulosidade na região semiárida na maior parte dos meses do ano.

Estudos em áreas da Caatinga mostram valores de Rn que variam de 10 a 17 MJ m² na maioria dos dias estudados. De acordo com Oliveira *et al.* (2006) em regiões sob condições limitadas de água (semiáridas) a maior parte da energia disponível é liberada em forma de calor sensível (H).

Os valores da radiação solar incidente estão próximos aos valores encontrados por Silva, Lopes e Azevedo (2005) quando estudaram o balanço de radiação em área de Caatinga e de agricultura através do processamento de imagens do satélite LANDSAT5 - TM, onde obtiveram 884,9 J m⁻² e 896,5 J m⁻². Esses autores enfatizaram que esses valores estão bastante próximos ao valor da radiação solar global observado na estação meteorológica de Bebedouro, localizada em Petrolina – PE (863,0 J m⁻²) às 10 horas da manhã. Souza *et al.* (2015) encontraram resultados de Rn variando de 400 W m⁻² em deserto, para 500 W m⁻² em oásis. Dubayah (1992) obteve Rn com correção de modelo de elevação digital igual a 654 J m⁻² e Rn não corrigido de 643 J m⁻², valores mais próximos aos do presente estudo e aos de Bastiaanssen *et al.* (1998).

Em suma, a aplicação de técnicas nucleadoras pode ter um impacto significativo na interação entre uma determinada área e seu ambiente circundante, alterando a dinâmica de absorção e refletividade de energia, a umidade do solo e a composição atmosférica. Essas mudanças reverberam no balanço de energia da superfície, afetando diretamente os ciclos biogeoquímicos, especialmente o ciclo hidrológico, cuja sensibilidade à formação de nuvens e, conseqüentemente, à ocorrência de precipitação é significativa. A análise do saldo de radiação emerge como uma ferramenta crucial para compreender a contabilidade dos fluxos energéticos absorvidos e refletidos, fundamentais nos estudos de balanço de energia.

Nas áreas degradadas, observou-se um acúmulo de energia no solo devido à falta de vegetação, enquanto os valores elevados de irradiação solar são atribuídos à menor nebulosidade típica das regiões semiáridas. Como apresentado os estudos realizados em áreas de Caatinga e outras regiões áridas corroboram essas observações, destacando a predominância da liberação de energia em forma de calor sensível em condições de limitada disponibilidade de água. A comparação com outros estudos e medições demonstra a consistência dos resultados obtidos, reforçando a importância dessas análises para o entendimento dos processos energéticos em diferentes ambientes.

4 Conclusão

Independentemente da área e época avaliada, foi observado que a temperatura do solo tendeu a ser mais elevada na superfície. Além disso, durante os meses de maior pluviosidade, verificou-se uma redução na amplitude térmica entre as diferentes camadas do solo.

A área onde foram aplicadas técnicas nucleadoras demonstrou características mais semelhantes à área preservada do que à área degradada, indicando um potencial de recuperação ou conservação dos padrões naturais do solo.

Os resultados indicaram que a área preservada exerce um papel mais eficaz no controle da absorção de radiação, seguida pela área onde foram aplicadas técnicas nucleadoras. Por outro lado, a área degradada mostrou-se menos eficiente nesse aspecto, sugerindo uma menor capacidade de regulação do balanço energético do ambiente.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) campus Patos-PB, por disponibilizar as instalações e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para realizar o estudo.

6 Referências

- Almeida, C. L., de Carvalho, T. R. A., & de Araújo, J. C. (2019). Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agricultural and Forest Meteorology**, 279, 107705.
- Augusto, M. V. S., Demetrio, G. B., Lajus, C. R., de Azevedo-Ribeiro, P. F., dos Reis Duarte, E., & Sauer, A. V. (2022). Preservação de recursos naturais através de práticas de manejo e seus impactos na qualidade física do solo. **UNICIÊNCIAS**, 26(2), 108-119.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, 22(6), 711-728.
- Ataide, W. L. S., de Oliveira, F. D. A., & Pinto, C. A. D. (2020). Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(06), 2603-2627.
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. **Formulation. Journal of hydrology**, 212, 198-212.
- Belan, L. L., Xavier, T. M. T., Torres, H., Toledo, J. V., & Pezzopane, J. E. M. (2013). Dinâmica entre temperaturas do ar e do solo sob duas condições de cobertura Dynamic between air and soil temperature under two conditions of coverage. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, 11, 147-154.
- Costa, A. O., & Godoy, H. (1962). Contribuição para o conhecimento do clima do solo de Ribeirão Preto. **Bragantia**, 21, 689-742.
- Dantas, D., Barbosa, G. P., Cunha, E. G. S., de Souza, M. J. H., & de Souza, C. M. P. (2017). Temperatura do ar e do solo em diferentes profundidades, em Diamantina-MG/Air temperature and soil in different depths in Diamantina-MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, 9(3), 61-66.
- Dubayah, R. (1992). Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data. **Water resources research**, 28(9), 2469-2484.
- Freire, T. M., Ramos, M. R., dos Santos, D. M. A., & dos Santos Campos, L. (2023). Atributos físicos e biológicos do solo em sistemas consorciados. **Agri-environmental sciences**, 9(2), 14-14.

Gasparim, E., Ricieri, R. P., de Lima Silva, S., Dallacort, R., & Gnoatto, E. (2005). Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 27(1), 107-114.

Gonçalves, G. S. R., Cerqueira, P. V., Silva, D. P., Gomes, L. B., Leão, C. F., de Andrade, A. F. A., & Santos, M. P. D. (2023). Multi-temporal ecological niche modeling for bird conservation in the face of climate change scenarios in Caatinga, Brazil. **PeerJ**, 11, e14882.

Kato, M. (1998). **Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the bragantina region, eastern Amazon: crop performance and phosphorus dynamics**. 1998..

Koch, R., Almeida-Cortez, J. S., & Kleinschmit, B. (2017). Revealing areas of high nature conservation importance in a seasonally dry tropical forest in Brazil: Combination of modelled plant diversity hot spots and threat patterns. **Journal for nature conservation**, 35, 24-39.

Lima, M. S., Silva, D. R., & Silva, M. A. M. (2021). O conceito " bioma" nos livros didáticos de Geografia no ensino médio. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, 16(6), 249-262.

Lopes, H. S. S., Medeiros, M. G. D., Silva, J. R., Medeiros Júnior, F. A., Santos, M. N. D., & Batista, R. O. (2012). Biomassa microbiana e matéria orgânica em solo de Caatinga, cultivado com melão na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ceres**, 59, 565-570.

Leite, I. A., Terto¹, R. S., Guedes¹, A. F., da Costa Silva¹, M. K., Leonardo¹, F. D. A. P., & Souto¹, J. S. (2019). Temperatura e umidade do solo em função do uso de técnica nucleadora no Semiárido. **Agropecuária Científica No Semiárido**, 15(3), 168-175.

Lucena, M. S. (2019). Aspectos ambientais das áreas susceptíveis à desertificação e características socioambientais do núcleo de desertificação do Seridó do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB). **HOLOS**, 5, 1-17.

Maciel Neto, J. D. A., Antonino, A. C. D., de Sousa Lima, J. R., de Souza, E. S., de Albuquerque Soares, W., Alves, E. M., ... & da Silva Neto, J. A. (2015). Caracterização Térmica de Solos no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, Brasil¹. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 8(01), 167-178.

Martins, M. V. E., & do Nascimento Silva, M. L. (2022). Propriedades físico-estruturais do solo em área sob processo de degradação próximo às margens do rio Balsas-MA. **Research, Society and Development**, 11(1), e39711125106-e39711125106.

Mendonça, L. A. R., Vásquez, M. A. N., Feitosa, J. V., Oliveira, J. F. D., Franca, R. M. D., Vásquez, E. M. F., & Frischkorn, H. (2009). Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 14, 89-98.

Oliveira, M. B. L., Santos, A. J., Manzi, A. O., Alvalá, R. D. S., Correia, M. D. F., & De Moura, M. S. B. (2006). Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**. 21: 166–174.

Prevedello, C. L. (1996). **Física do solo com problemas resolvidos**.

Santos, T. E., Montenegro, A. A., & Silva, D. D. (2011). Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15, 670-679.

Seben, G. K., Oliveira Junior, R. C., Tanabe, C. S., Silva, A. D., Martins, I. C. T. (2011). Avaliação da temperatura do solo em três profundidades, sobre diferentes coberturas vegetais em latossolo amarelo muito argiloso do oeste paraense. **Espaço Científico**, 12, 1-2.

Silans, A. P. D., Silva, F. M. D., & Barbosa, F. D. A. D. R. (2006). Determinação in loco da difusividade térmica num solo da região de caatinga (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30, 41-48.

Silva, B. B., Lopes, G. M., & De Azevedo, P. V. (2005). Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(2), 243-252.

Silva, W. T. M., Leonardo, F. D. A. P., Souto, J. S., Souto, P. C., De Lucena, J. D. S., & de Medeiros Neto, P. H. (2016). Deposição de serapilheira em áreas de Caatinga no Núcleo de Desertificação do Seridó. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 12(4), 383-390.

Silveira, L. R. D., Brito, A. D. S., Mota, J. C. A., Moraes, S. O., & Libardi, P. L. (2011). Sistema de aquisição de dados para equipamento de medida da permeabilidade intrínseca do solo ao ar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 429-436.

Sousa, F. Q., Souto, J. S., Leite, A. P., de Holanda, A. C., Agra, P. F. M., & dos Santos, L. C. (2020). Transposição do banco de sementes do solo para restauração ecológica da caatinga no Núcleo de Desertificação do Seridó. **Brazilian Journal of Development**, 6(7), 50120-50138.

Souto, J. S., Nascimento Neto, J. H., Leonardo, F. A. P., Souto, P. C., Borges, C. H. A. (2017) Uso da técnica restauradora “BOCAJ” em áreas de Caatinga no Seridó da Paraíba, Brasil. **Revista Agropecuária científica no Semiárido**, 13 (2), 154-161.

Souza, L. D., Mmoura, M. D., Sediya, G. C., & Silva, T. D. (2015). Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 8(1), 41-55.