

SERRAS EM TERRAS SECAS: FONTES DE UMIDADE

Rebecca Luna Lucena¹
Taisa Maria Brito dos Santos²
Tácio Henrique de Freitas Santos³
Alíbia Deysi Guedes da Silva⁴
Emerson Galvani⁵

RESUMO

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO/ONU), as montanhas nas áreas áridas e semiáridas do mundo têm um valor estratégico excepcional pois atuam como reservatórios de água para as zonas de planícies secas circundantes. Apesar de sua importância, essas áreas ainda são pouco estudadas e conhecidas. No Semiárido brasileiro, não se sabe a contribuição das áreas elevadas (serras, planaltos e chapadas) no gradiente térmico, na captação de umidade e fornecimento de água, da mesma forma que não há uma definição exata para as áreas de altitude e sob quais cotas altimétricas se tem início os fenômenos orográficos, tão importantes na adição de água na superfície. Nesse contexto, o projeto de pesquisa em questão, teve por objetivo principal investigar, mapear, caracterizar e monitorar os climas de altitude, com ênfase em regiões que apresentam semiaridez, como no Nordeste setentrional brasileiro (NSB). Através do uso de geotecnologias foram identificadas as áreas mais elevadas do NSB e as temperaturas a elas associadas. O potencial agrícola e turístico dessas áreas elevadas foi preconizado através da aplicação de índices de aridez e de índices bioclimáticos de conforto térmico humano. A precipitação oculta, medida através do orvalho está sendo monitorada e esta etapa do trabalho se encontra em andamento. Os resultados confirmam a importância das serras em terras secas como fonte de umidade uma vez que nelas, os processos de condensação ocorrem em maior frequência, modificando todo o ambiente dessas áreas elevadas e influenciando em diversos aspectos geográficos locais.

Palavras-chave: gradiente vertical de temperatura, brejos serranos, semiárido brasileiro.

ABSTRACT

According to data from the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO/UN), mountains in arid and semi-arid areas of the world are of exceptional strategic value as they act as water reservoirs for the surrounding dry plains. Despite their importance, these areas are still poorly studied and understood. In the Brazilian semi-arid region, the contribution of elevated areas (mountains, plateaus and tablelands) to the thermal gradient, moisture capture and water supply is unknown, just as there is no exact definition for altitude areas and at what altitudes orographic phenomena, so important in adding water to the surface, begin. In this context, the main objective of the research project in question was to

¹ Pós-doutoranda em Geografia Física pela Universidade de São Paulo - USP, Professora de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, rebecca.luna@ufrn.br ;

² Graduada em Filosofia pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN e graduanda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, maria.brito.701@ufrn.edu.br ;

³ Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, taciogeo89@gmail.com ;

⁴ Doutoranda em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente pela Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, alibiadeysi.prof@gmail.com ;

⁵ Doutor em Agronomia – UNESP e professor pela Universidade de São Paulo - USP, egalvani@usp.br .

investigate, map, characterise and monitor altitude climates, with an emphasis on semi-arid regions, such as in northern Brazilian Northeast (NSB). Through the use of geotechnologies, the highest areas of the NSB and their associated temperatures were identified. The agricultural and tourist potential of these high areas was assessed through the application of aridity indices and bioclimatic indices of human thermal comfort. Hidden precipitation, measured through dew, is being monitored and this stage of the work is ongoing. The results confirm the importance of mountains in drylands as a source of moisture, since condensation processes occur more frequently in them, modifying the entire environment of these elevated areas and influencing various local geographical aspects.

Keywords: vertical temperature gradient, mountain wetlands, Brazilian semi-arid region.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas (AR6), do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) a mudança climática induzida pela ação humana já está afetando extremos climáticos como ciclones tropicais, precipitações intensas, ondas de calor e secas (IPCC, 2023). O AR6 do IPCC também aponta que um aumento da temperatura terrestre a partir de 1,5°C provoca mudanças significativas não só no clima, mas também impõe grandes dificuldades na prática do desenvolvimento sustentável e nos esforços para erradicar a pobreza (IPCC, 2023). Nessa perspectiva, Ramos et al (2020), afirmam que as medições de temperatura feitas no Brasil, mostraram que 2019 ficou entre os quatro anos mais quentes já registrados, e que desde 2012, a temperatura média do ar oscilou em torno de 0,9°C acima da Normal Climatológica.

O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, afirma que o bioma Caatinga sofrerá um aumento de 0,5°C a 1°C na temperatura do ar e decréscimo entre 10% e 20% na chuva, durante as próximas três décadas (até 2040). As projeções ainda indicam “agravamento do déficit hídrico regional com diminuição de praticamente metade (40 a 50%) da distribuição de chuva”, até 2100 (PBMCI, 2014, p. 21). Dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, destacam que o desastre natural que acomete o maior número de pessoas no Brasil é a seca e a estiagem.

A seca, tanto meteorológica quanto hidrológica, é um fenômeno comum na região de domínio climático semiárido, polígono que representa 12% do território nacional (EMBRAPA, 2010; CEPED, 2012). Essa região do país está submetida a forte exposição dos raios solares, o que contribui para a alta evaporação e evapotranspiração, deficiência hídrica e alta susceptibilidade climática ao processo de desertificação. As condições climáticas, somadas às características pedológicas, mas também aos aspectos econômicos e sociais, ocasionam

constantemente situações de crise e emergência hídrica nesse domínio de natureza do Brasil (Malvezzi, 2007).

Diante dos prognósticos climáticos, o semiárido brasileiro aparece como uma região extremamente vulnerável, uma vez que naturalmente já apresenta altas temperaturas, baixa umidade e déficit hídrico. De acordo com Salimon; Anderson (2018), “atualmente, o Nordeste do Brasil é uma região semiárida propensa à seca, com alta variabilidade de chuvas, caracterizada por arbustos xéricos (savana) e florestas esparsas de árvores espinhosas decíduas (florestas secas)” (p. 2122). Apesar disso, existem áreas no semiárido onde as temperaturas são mais amenas e a umidade do ar mais elevada por efeito da altitude (Medeiros e Cestaro, 2019). Essas áreas também comportam uma vegetação mais densa e arbórea e necessitam de atenção especial pois, por suas particularidades, devem ser tratadas como verdadeiros “oásis” no domínio dos sertões secos (Ab Saber, 2003). Logo, devem ser melhor estudadas, compreendidas e monitoradas, especialmente em região onde há vulnerabilidade hídrica. Deve-se considerar também que essas “ilhas de frescor e umidade” operarão como verdadeiros “oásis” na perspectiva de um futuro mais quente e seco, projetado para o Semiárido brasileiro (Pepin et al, 2022).

Nesse contexto, o projeto de pesquisa em questão, tem por objetivo principal investigar, mapear, caracterizar e monitorar os climas de altitude, com ênfase em regiões que apresentam semiaridez, como no Nordeste setentrional brasileiro.

METODOLOGIA

Área de estudo

A figura 01 destaca os estados do Nordeste setentrional onde está sendo desenvolvida a referida pesquisa. A delimitação espacial, incluindo os quatro estados supracitados, se deu em detrimento de semelhança geográfica entre os mesmos, bem como por sua proximidade, tendo em vista a realização de trabalhos de campo, instalação de equipamentos e medições *in loco*, quando necessárias.

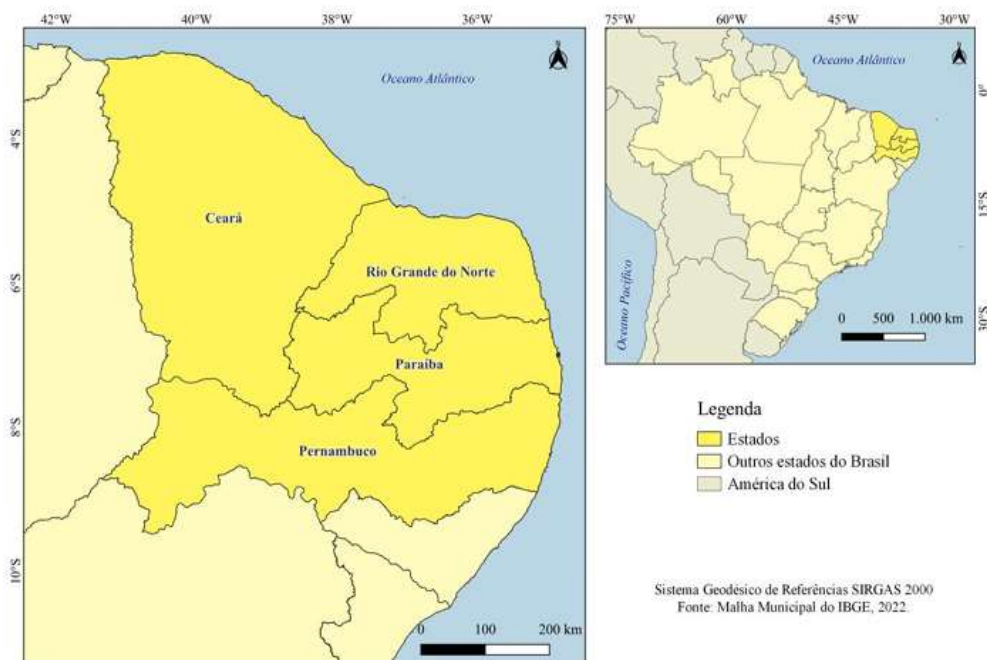


Figura 01: Localização da área de estudo (Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará - Nordeste setentrional). Fonte: elaborado pelos autores.

Procedimentos metodológicos

Para sua realização, diversos procedimentos metodológicos foram adotados, como segue:

1 - Delimitação da cota altimétrica igual ou superior a 500 metros e aplicação do gradiente vertical de temperatura através do uso de geotecnologias. Para elaboração do mapa altimétrico, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) compreendendo os estados PE, PB, RN e CE, proveniente do *The Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponível na plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE). A cota altimétrica de 500 metros com relação ao nível médio do mar foi estabelecida como limite mínimo para delimitação de áreas serranas e brejos de altitude do semiárido. Essa cota se baseou na produção científica disponível sobre o tema (Ab' Saber, 2003; Souza e Oliveira, 2006; Medeiros e Cestaro, 2019; Lucena *et al*, 2022). Com o mapa altimétrico elaborado, aplicou-se, a partir da extração das diferentes cotas, o coeficiente de 0,6 °C na temperatura do ar para cada 100 m de altitude (Ynoue *et al*, 2017).

2 – Análise de correlação entre a altitude e a temperatura do ar considerando dados altimétricos e térmicos de estações climatológicas. Para analisar essa relação, utilizou-se o Coeficiente de correlação de Pearson (formula 01), com significância de 0,05 (t. Student), o coeficiente de correlação e o desvio padrão.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X) \cdot var(Y)}}$$

f.01

Este coeficiente assume valores que variam de -1 a 1. Quando:

$r = 1$ Significa uma correlação perfeita positiva entre duas variáveis; $r = -1$ Significa uma correlação negativa perfeita entre duas variáveis, isto é, se uma aumenta outra diminui; $r = 0$ Significa que duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

3 – Coleta de dados climatológicos de séries temporais de 30 anos de estações localizadas acima da cota altimétrica estabelecida e de estações localizadas nas áreas rebaixadas adjacentes, para fins de comparação. Os dados são referentes a estações convencionais do INMET sendo considerada a normal climatológica de 1981-2010.

4 – Análise de umidade do ar e do solo e potencial agrícola através da aplicação do balanço hídrico climatológico e de índices de aridez considerando as áreas elevadas e rebaixadas. Foram aplicados três índices de Aridez: O Balanço Hídrico Climatológico normal proposto por Thornthwaite e Matter; O Índice de Aridez – ÍA anual, adotado pela UNEP (2022) e o Índice de Aridez proposto por Gaussen; Bagnouls também conhecido como índice de mês seco. As formulas e classes climáticas utilizadas estão disponíveis em Lucena et al, (2024).

5 – Aplicação de índices bioclimáticos de conforto térmico humano para as áreas elevadas e rebaixadas. Nessa etapa, foram aplicados os índices bioclimáticos de Temperatura Efetiva (TE), o Índice Térmico Climático Universal (UTCI). O índice TE está descrito em Lucena et al (2020). Já o UTCI foi calculado diretamente na UTCI Calculator, através do link https://www.utci.org/utci_calc.php.

6 – Medição da precipitação oculta (orvalho), por meio da aquisição de sensores de molhamento foliar (etapa em andamento).

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2011), as montanhas nas áreas áridas e semiáridas do mundo têm um valor estratégico excepcional pois atuam como reservatórios de água para as zonas de planícies secas circundantes. Apesar de sua importância, essas áreas ainda são pouco estudadas e conhecidas. No Semiárido brasileiro, não se sabe a contribuição das áreas elevadas (serras, planaltos e chapadas) no gradiente térmico, na captação de umidade e fornecimento de água, da mesma

forma que não há uma definição exata para as áreas de altitude e sob quais cotas altimétricas se tem início os fenômenos orográficos, tão importantes na adição de água na superfície.

McHugh et al (2015) afirmam que em áreas áridas e semiáridas, na ausência de precipitação, existem três mecanismos principais para a adição de água na superfície: a deposição pelo nevoeiro, a formação de orvalho e a absorção de vapor de água pelo solo. O nevoeiro ocorre apenas quando as concentrações atmosféricas de vapor de água atingem a saturação, uma condição pouco comum na maioria das terras secas, porém mais recorrente sob altitudes elevadas. O orvalho forma-se quando a temperatura da superfície é inferior ou igual à temperatura do ponto de orvalho, altura em que o vapor de água do ar em contacto com a superfície fria do solo se condensa, formando o orvalho. Já a absorção do vapor de água se dá a partir da formação de água líquida nos poros do solo, resultante da absorção de vapor de água do ar, e pode ocorrer sempre que a umidade relativa nos poros do solo for inferior à umidade relativa do ar sobrejacente. Todos esses três mecanismos, em regiões quentes, ocorrem principalmente em decorrência da queda de temperatura por efeito da altitude.

A altitude é um fator geográfico do clima que tem grande importância em ambientes naturalmente quentes, como nas zonas intertropicais do planeta. De acordo com Murta et al (2010), quando a radiação solar chega ao planeta Terra, cerca de 30% desta radiação é diretamente refletida para o espaço. O restante da radiação adentra na atmosfera para então atingir a superfície terrestre. Ao passar pela atmosfera a radiação solar não a esquentam de forma considerável. Ao atingir a superfície dos continentes e mares, a radiação solar é absorvida, gerando calor e aumentando a temperatura próximo e na superfície. A atmosfera mostra-se praticamente transparente às radiações oriundas do Sol, de forma que uma fração considerável destas incide na superfície terrestre. Uma vez que a superfície é aquecida, esta passa a gerar calor e o reemite à atmosfera no formato de ondas longas. Ou seja, os continentes, as águas, os objetos esquentam-se bem mais do que o ar atmosférico.

Nas regiões mais baixas do Planeta, a concentração do ar e a capacidade de reter calor proveniente da radiação terrestre, será maior e sua temperatura mais alta pela proximidade das superfícies aquecidas. Com a altitude, o ar quente próximo da superfície ascende e vai perdendo calor, gerando a diminuição da temperatura. (Ramaswamy et al, 2017). Logo, na troposfera a temperatura do ar diminui linearmente com o aumento da elevação. Vários estudos definiram essa taxa de mudança como o gradiente adiabático de temperatura do ar próximo à superfície (Kattel et al, 2019). O valor de $-0,65\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (vertical) é geralmente usado para estimar a temperatura do ar em altitudes mais elevadas. Esta queda de temperatura ocorre na troposfera e sua taxa de pode variar com a localização e a estação do ano, e seu valor depende fortemente

da umidade atmosférica. Por exemplo, o gradiente varia de $\sim 0,4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ perto da superfície nas regiões tropicais úmidas (perto do equador) para valores muito maiores ($\sim 0,8/100\text{m}$ - $0,9^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) nos subtrópicos mais secos (Ramaswamy et al, 2017). Segundo Blandford et al (2005) e Barry; Chorley (2013), os dados de observação desse gradiente são ainda limitados, contudo, sabe-se que a diminuição de temperatura aumenta a probabilidade de ocorrência de fenômenos orográficos e que isso gera uma fonte de umidade em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas.

Neste contexto, nessa pesquisa, a questão norteadora consiste em identificar as particularidades hidroclimatológicas e higrotérmicas existentes em áreas serras nos sertões secos. Buscar-se-á identificar climas de altitude do semiárido através do auxílio de geotecnologias, realizando análises comparativas entre as áreas elevadas e a depressão sertaneja adjacente para encontrar o gradiente vertical de temperatura e suas implicações climáticas e outras características ambientais (balanço hídrico e conforto térmico) resultantes desse gradiente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As técnicas de geoprocessamento permitiram a inferência de forma automatizada dos valores de temperatura em regiões que não possuem estações meteorológicas, através da aplicação do gradiente vertical de temperatura e de técnicas de interpolação e extração de temperatura da superfície. A aplicação do gradiente vertical foi bastante eficiente na estimativa de temperatura em áreas elevadas, assim foram identificados 167 municípios no Nordeste Setentrional com altitudes superiores a 500 metros (figura 02), porém, apenas nove desses municípios possuem estações meteorológicas com normais climatológicas completas (30 ou mais anos de dados).

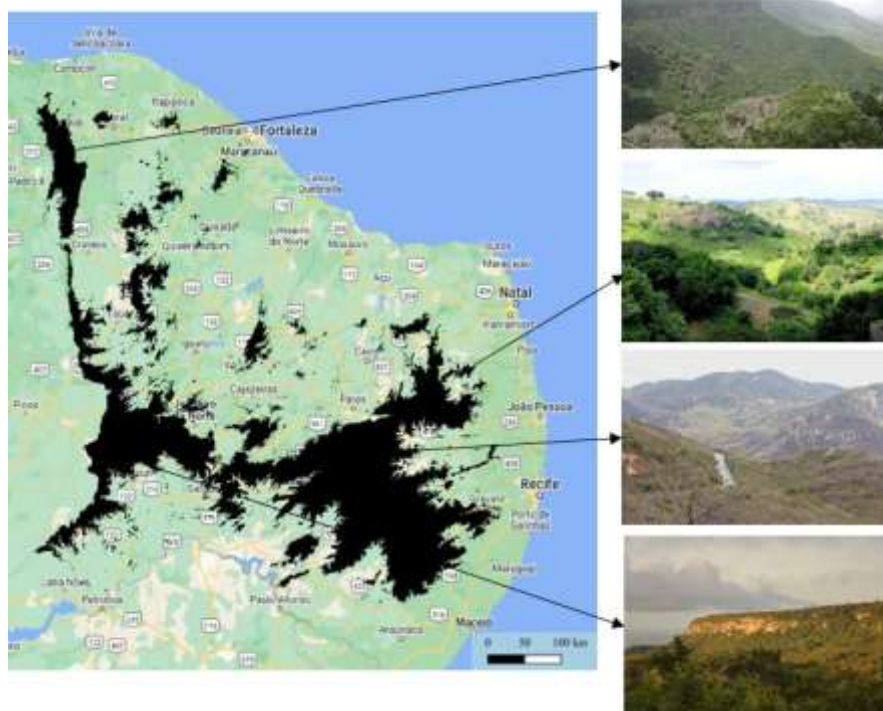


Figura 02: Destaque para áreas com altitude superior a 500 metros no Nordeste setentrional, e algumas paisagens serranas localizadas nessa cota altimétrica. Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 03 exibe o índice de aridez para a região em análise. O Cálculo do balanço hídrico climatológico para áreas serranas e depressões adjacentes comprova que as áreas mais elevadas possuem menor deficiência hídrica do que as áreas rebaixadas da depressão sertaneja, salvo algumas exceções (Campos Sales/CE e Monteiro/PB). Os índices de aridez aplicados mostraram que as áreas mais elevadas possuem, climaticamente, condições mais favoráveis ao desenvolvimento natural da vegetação, e, portanto, ao potencial da atividade agrícola, do que as áreas da depressão sertaneja. Climas subúmidos foram detectados nas áreas mais elevadas enquanto a semiaridez esteve presente com mais intensidade nas áreas rebaixadas, condição possivelmente explicada pela diminuição de temperatura que promove processos de condensação.

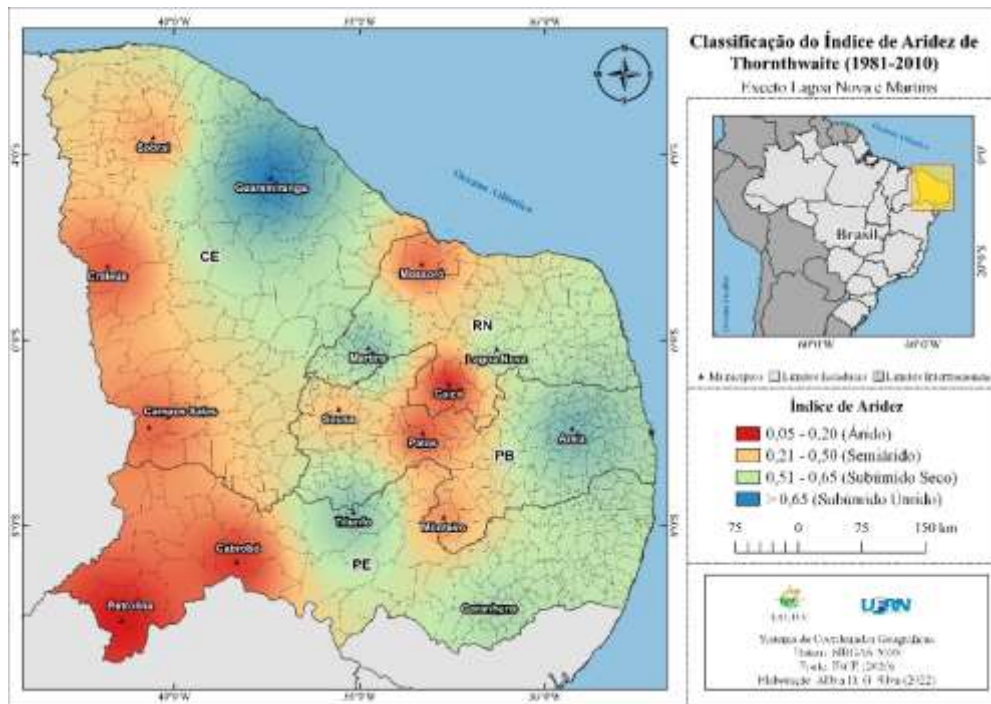


Figura 03: Índice de aridez aplicado à região semiárida do Nordeste setentrional considerando a normal climatológica 1981-2010 (dados de estações convencionais). Fonte: Lucena et al, 2024.

A figura 04 exibe as condições de conforto térmico humano considerando os índices TE (figura 04a) e UTCI (figura 04b). Em azul estão os municípios e suas respectivas estações climatológicas localizados em áreas elevadas e em vermelho os municípios da depressão sertaneja. Com relação à análise mensal (figura 04), pode-se observar que todos os municípios serranos apresentaram neutralidade e clima agradável em todos os meses do ano. Em contraposição aos municípios localizados na depressão sertaneja que somente apresentam neutralidade nos meses de inverno (junho, julho e agosto).

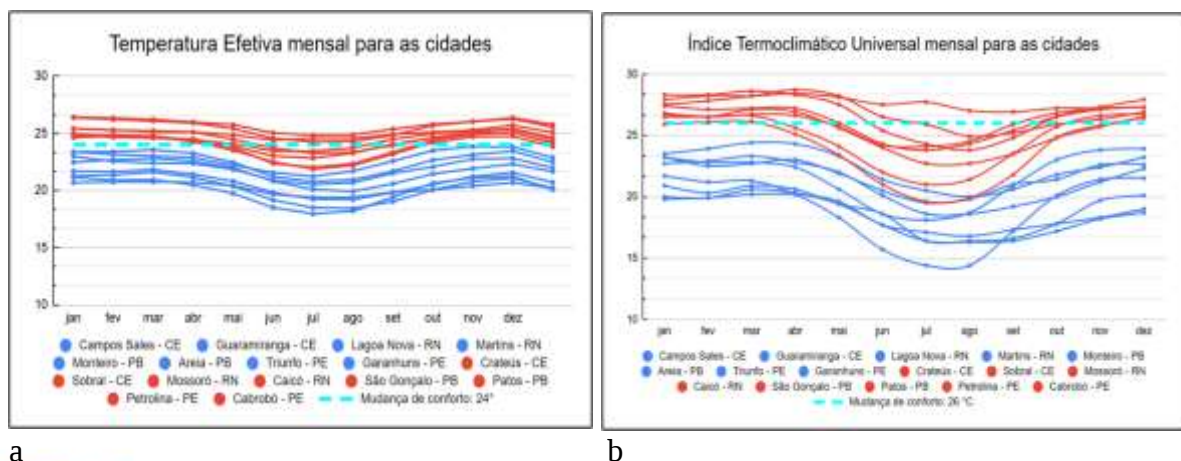


Figura 04: Aplicação dos índices TE (04a) e UTCI (04b), considerando os valores médios mensais de municípios da serra e depressão detentores de estações climatológicas convencionais (normal climatológica 1981-2010). Fonte: autores.

Logo, observou-se que os municípios em altitudes mais elevadas apresentam uma TE e UTCI com resultados mais favoráveis ao conforto térmico humano, onde os cálculos resultaram em uma única faixa de sensação térmica para todos os municípios, definidos como "agradável (neutro)" para o TE e "conforto térmico" para o UTCI. Mesmo durante os meses mais quentes (dezembro a fevereiro), os valores de TE e UTCI não atingem níveis de desconforto nas serras, indicando uma ausência significativa de estresse térmico nessas áreas, ao contrário, do que se observou na depressão sertaneja, onde durante vários meses do ano os mesmos apresentaram clima "moderadamente quente" para TE e "moderado estresse para o calor" quando aplicado o UTCI.

Diante dos resultados apresentados, encontramos que as áreas serranas do semiárido brasileiro possuem temperaturas mais amenas. Através dos valores de temperatura coletados e calculados e realizando a análise comparativa com a depressão sertaneja, é possível concluir que, via de regra, as áreas mais elevadas do semiárido (brejos, serras, planaltos, chapadas), possuem temperaturas menores do que as áreas rebaixadas da depressão sertaneja. Tal constatação vem sendo verificada em diversas pesquisas sobre o tema, das quais podemos destacar os trabalhos de Medeiros (2016), Medeiros e Cestaro (2019), Lucena *et al.*, (2022), Faria *et al.*, (2022), Junior e Caracristi (2022), Lucena *et al.*, (2024), dentre outros. Com relação aos dados de molhamento foliar, estes ainda se encontram em fase de andamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados nesta pesquisa mostram que as áreas elevadas apresentaram maior eficiência hídrica, menor condição de aridez e melhores condições de conforto térmico humano. Apesar de representarem ~20% da área total do Nordeste setentrional, considerando os estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, essas áreas devem ser vistas com atenção e prioridade uma vez que agem como fontes de umidade numa região marcada por altas temperaturas e balanço hídrico negativo. Como perspectiva de trabalho iremos quantificar a condensação das serras em terras secas, através de contabilização do orvalho, gerando

resultados de pesquisa inéditos para o semiárido brasileiro, esta etapa se encontra em andamento.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece ao CNPq pelo financiamento para bolsas de Pós-Doutorado Sênior (Processo n: 102226/2024-5). O quinto autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa e produtividade (1D CA SA).

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 10ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BARRY R. G., CHORLEY R. J. **Atmosphere, weather and climate**, 9th edn. Routledge London, 2013.

BLANDFORD T. R., HARSHBURGER BJ, HUMES KS, MOORE BC, WALDEN VP. **Interpolating surface air temperature for use in semidistributed snowmelt runoff models**. Proceeding of western snow conference, pp 117–122, 2005.

CEPED. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**. Vol Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Mountain Partnership Secretariat, UNCCD, SDC, CDE. **Highlands and Drylands: mountains, a source of resilience in arid regions**. Published by FAO, UNCCD, Mountain Partnership, Swiss Agency for Development and Cooperation, and CDE, with the support of an international group of experts. Roma, 2011.

FARIA, R. M.; LUCENA, R. L.; SOUZA, S. F. F. Mapeamento do conforto térmico no estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Geografia**, v. 12, p. 112-138, 2022.

IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. IPCC Sixth Assessment Report. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>. Acesso em: 12 out. 2023.

JUNIOR, R. R. dos S.; CARACRISTI, I. Análise climática do Maciço de Baturité (CE): subsídio ao planejamento e gestão ambiental. **Ciência Geográfica**. Vol. (4) p. 2227-2258, 2022.

KATTEL, D. B., YAO, T.; ULLAH, K., & RANA, A. S. Seasonal near-surface air temperature dependence on elevation and geographical coordinates for Pakistan. **Theoretical and Applied Climatology**. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02899-5>

LUCENA, R. L.; CABRAL JUNIOR, J. B.; STEINKE, E. T. Índices de (des)conforto humano em um município de clima semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 3287, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3287-3303>

LUCENA, R. L.; SILVA, F. E. B.; APRÍGIO, T. R. de M.; JUNIOR, J. B. C. The Influence of Altitude on the Climate of Semiarid Areas: Contributions to Conservation. **The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses** 14 (2): 81-93, 2022. <https://doi.org/10.18848/1835-7156/cgp/v14i02/81-93>

LUCENA, C. Y. S.; SOUZA, J. J. L. L.; SILVA, B. Q.; REIS, J. S.; LUCENA, R. L. A Serra de Santana no semiárido nordestino: aspectos geográficos e possibilidade de práticas sustentáveis. **Revista Geografica de America Central**, v. 70, p. 449-476, 2023.

LUCENA, R. L., SILVA, A. D. G. da, ESTECA, F. DE C. N., GALVANI, E. The climate and climatological water balance of Brazilian semi-arid mountainous areas and inland depression. *Revista Agrogeoambiental*, 16, 1-14, 2024. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v16nunico20241833>

MALVEZZI, R. **Semi-árido: uma visão holística**. Brasília: CONFEA, 2007.

MEDEIROS J.F. de. **Da análise geossistêmica à Serra dos Martins**: Contribuição Teórico Metodológica aos Brejos de Altitude. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

MEDEIROS J.F, CESTARO L.A. As diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Sociedade e Território** – Natal. Vol. 31, N. 2, p. 97–119, 2019.

MURTA, A., VILELLA, A., D'AVIGNON, A. L. de A., PEREIRA, E. de P., SAMPAIO, G., FIDELIS, N., RIBAS, R. P. **A ciência da mudança do clima**. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. COPPE/UFRJ: FBMC, 2010.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

PEPIN, N. C. et al. Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. **Reviews of Geophysics**, v. 60, n. 1, p. e2020RG000730, 2022.

RAMASWAMY V., HURRELL J.W., WEEHL G.A. **Temperature Trends in the Lower Atmosphere:** Understanding and Reconciling Differences. Disponível em: <https://www.gfdl.noaa.gov/bibliography/related_files/vr0603.pdf> Acesso em: 05 nov. 2017.

RAMOS, ANDREA M. {et al}. **Anuário Climático do Brasil:** 2018. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Instituto Nacional de Meteorologia. Centro de Ciência do Sistema Terrestre. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, 2020.

SALIMON, C., ANDERSON, L. How strong is the relationship between rainfall variability and Caatinga productivity? a case study under a changing climate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, (suppl 1), 2018.

SOUZA, M. J. N. e OLIVEIRA, V. P. V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. **Mercator**. 5 (9), 85-102, 2006.

UNEP - United Nations Environment Programme. **World Status of Desertification.** Disponível em: <https://na.unep.net/siouxfalls/des/uncedp1.php> Acessado em Mar 2022.