



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 11, nº 1 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n1ID36618>



## **Dinâmica do uso e ocupação da terra e seu efeito na temperatura e na precipitação no bioma Caatinga (Floresta Tropical Sazonalmente Seca) - Brasil**

### ***Land use and occupation dynamics and its effect on temperature and precipitation in the Caatinga biome (Seasonally Dry Tropical Forest) – Brazil***

**Alessandro de Paula<sup>1</sup>; Luiz Fernando Silva Magnago<sup>2</sup>; Cristiano Tagliaferre<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> UESB, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Vitória da Conquista/BA, Brasil. Email: [apaula@uesb.edu.br](mailto:apaula@uesb.edu.br)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3676-3846>

<sup>2</sup> UFSB, Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Itabuna/BA, Brasil. Email: [luiz.magnago@ufsb.edu.br](mailto:luiz.magnago@ufsb.edu.br)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6335-754X>

<sup>3</sup> UESB, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Vitória da Conquista/BA, Brasil. Email: [tagliaferre@uesb.edu.br](mailto:tagliaferre@uesb.edu.br)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4776-473X>

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a existência de influência da dinâmica do uso e ocupação da terra na Caatinga sobre a precipitação e temperatura. Para a determinação da temperatura, precipitação, número de dias sem chuva e áreas das classes, foi utilizada a plataforma Google Earth Engine. A precipitação foi avaliada pelo Índice de Anomalia de Chuva. As análises de tendência foram realizadas pelo teste de Mann-Kendall. Foi calculado o Coeficiente de Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e as classes de uso e cobertura da terra. A dinâmica do uso e ocupação da terra entre 1991 e 2020 demonstrou um avanço das áreas antropizadas. O número de dias consecutivos sem chuva, que entre 1981 e 1990 tinha seu maior valor em setembro, nas décadas posteriores foi observado em outubro. Para a temperatura foi observada uma tendência de aumento entre 1991 e 2020. Não foi possível estabelecer uma relação entre o uso e ocupação da terra e a precipitação. A redução da área ocupada pelas formações de maior porte (florestal e savânica) aumenta a temperatura na região. A mudança do uso e ocupação da terra não afetou a precipitação na região, mas teve impacto direto na temperatura do ar.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Savana-estépica; Semiárido.

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the influence of land use and occupation dynamics in the Caatinga biome on precipitation and temperature. The Google Earth Engine platform was used to determine the temperature, precipitation, number of days without rain and of the areas occupied by the classes. Precipitation variability was assessed by the Rainfall Anomaly Index. Trend analyzes were performed using the Mann-Kendall test. Pearson's Correlation Coefficient was calculated between climate variables and land use and land cover classes. The land use and occupation dynamics between 1991 and 2020 demonstrated an advance in anthropized areas. The number of consecutive days without rain, which between 1981 and 1990 had its highest value in September, was observed in October in subsequent decades. An upward trend was observed for temperature between 1991 and 2020. It was not possible to establish a relationship between land use and occupation and precipitation. The reduction in the area occupied by larger formations (forest and savanna) increases the temperature in the region. The change in land use and occupation did not affect precipitation in the region, but had a direct impact on air temperature.

**Keywords:** Climate change; Steppe-savanna; Semi-arid.

Recebido: 11/06/2024; Aceito: 15/10/2024; Publicado: 17/01/2025.

## 1. Introdução

O grande tema das discussões mundiais atuais está pautado nas mudanças climáticas geradas pela industrialização e pela alteração no uso e cobertura da terra (MIRZABAEV *et al.*, 2022). Dentro deste contexto, a substituição das áreas naturais para o desenvolvimento de atividades antrópicas é um dos principais pontos a serem observados. O avanço das atividades antrópicas pode ser devastador para qualquer bioma, se não estiver pautado no uso racional dos recursos naturais, além de precedido de planejamento e amparado na legislação ambiental. No entanto, dependendo das características do bioma, este processo pode ser ainda mais danoso.

Entre os biomas únicos do mundo, está a Caatinga, que apenas por essa característica já a torna extremamente frágil aos impactos antrópicos (FREIRE *et al.*, 2018; SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015). Além disso, sua vulnerabilidade vem por suas singularidades, como a seca (preponderante na região Nordeste do Brasil), aliada a má distribuição de chuva (SILVA *et al.*, 2017), e a alta densidade populacional (IBGE, 2013). Aproximadamente 57 % da área do semiárido do nordestino brasileiro está severamente degradado devido ao seu uso intensivo (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Um dos efeitos da degradação, a desertificação, já pode ser observada em 62% de sua área (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A Caatinga, quando comparada aos biomas úmidos, geralmente está associada à baixa riqueza florística e reduzida capacidade produtiva, principalmente pela deciduidade de suas folhas no período seco. No entanto, esta é uma das áreas de maior riqueza dentre as florestas tropicais sazonalmente secas (QUEIROZ *et al.*, 2018). Na Caatinga são conhecidas pelo menos 3347 espécies (526 endêmicas), distribuídas em 962 gêneros (29 endêmicos) e 153 famílias (FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2020). Outro fato relevante foi a relação espécie/área observada, sendo quase duas vezes maior ( $4,0 \times 10^{-3}$  espécies/km<sup>2</sup>) quando comparada à floresta amazônica ( $2,5 \times 10^{-3}$  espécies/km<sup>2</sup>).

Outra questão que merece destaque é seu potencial para provisão de serviços ecossistêmicos. Sua biodiversidade de espécies nativas possui diversos usos, sejam alimentares, plantios homogêneos para produção de madeira ou medicinais, como por exemplo: o angico - *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (SILVA; AGUIAR; FREITAS, 2020), o umbu - *Spondias tuberosa* Arruda (DIAS *et al.*, 2019) e a imburana-de-cambão - *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (MEDEIROS *et al.*, 2022).

A importância do bioma Caatinga, também está relacionada a manutenção das populações que vivem na região e utilizam seus recursos naturais para subsistência e como meio produtivo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017; CUNHA *et al.*, 2018; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Contudo, esse uso nem sempre é feito com manejo adequado, assim os efeitos do uso predatório da Caatinga, pode interferir, não só na conservação do bioma, como nas variáveis climáticas, com relevante destaque para a temperatura e a precipitação. As projeções das mudanças do clima provocariam, dentre outras alterações, eventos de seca plurianuais acima da média histórica até 2050 em áreas áridas no mundo. Para o Brasil, a indicação é de um aumento na frequência, na intensidade, na duração média dos eventos de seca (aumentaria em 30 meses) e na magnitude da seca, com eventos podendo chegar a sete anos (JENKINS e WARREN, 2015).

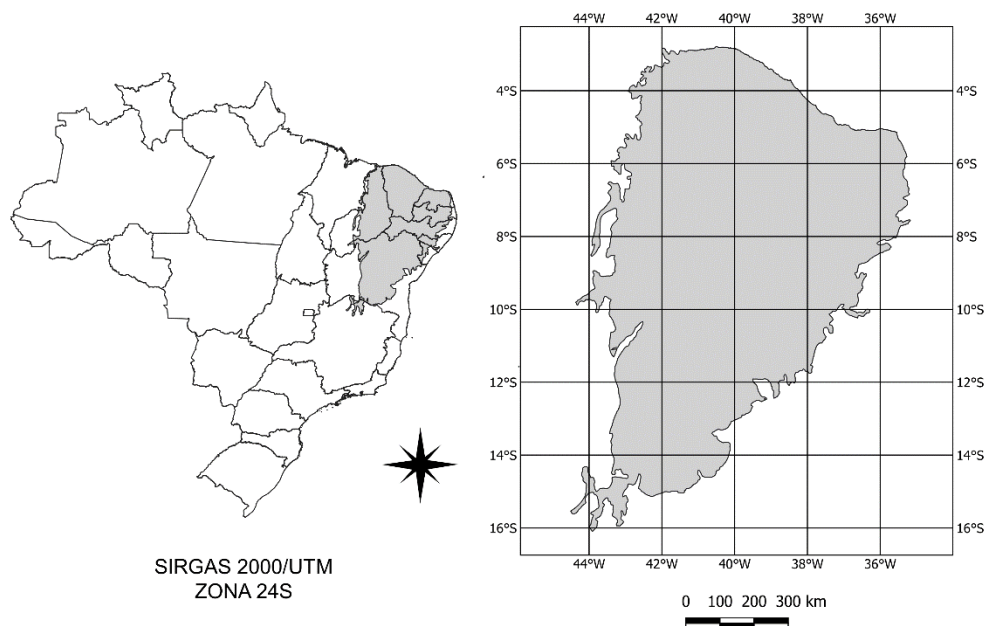
Existe um esforço do meio científico em entender os efeitos da dinâmica do uso e cobertura da terra sobre as variáveis climáticas, geralmente, em sítios específicos no semiárido brasileiro (CUNHA; ALVALÁ; OLIVEIRA, 2013; MARIANO *et al.*, 2018; OLIVEIRA JÚNIOR; PEREIRA; SILVA, 2022; RITO *et al.*, 2017; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2022). Outro enfoque tem sido dado na relação entre o efeito das mudanças climáticas sobre as florestas secas (ALLEN *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2020b; HASNAT, 2022; ROTENBERG e YAKIR, 2010; SANTOS *et al.*, 2014).

Outros fatores e posicionamentos devem ser observados na análise da relação entre o clima e o uso e cobertura da terra. Vários autores consideram que a variabilidade observada nas chuvas do Nordeste do Brasil, ocorrem em parte pela ação do El Niño e La Niña, enquanto outros eventos de seca são atribuídos a uma posição anormalmente ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (CUNHA *et al.*, 2018; HASTENRATH, 2006; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; SILVA *et al.*, 2017; SPARACINO; ARGIBAY; ESPINDOLA, 2021). Outro fator relevante é que a maior contribuição para a precipitação se dá por meio da evaporação dos oceanos, visto que a continental é responsável por cerca de 14% do total (LIMA, 2008).

Sendo assim, compreender a influência que as alterações do uso e cobertura da terra em grandes áreas, como o bioma Caatinga, sobre variáveis climáticas, é fundamental para que as atividades antrópicas sejam ambientalmente sustentáveis e executadas dentro da capacidade de suporte dos ecossistemas. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar como a influência da dinâmica do uso e ocupação da terra no bioma Caatinga sobre a precipitação e a temperatura. Para tanto foi analisada a existência de tendência de aumento ou redução da precipitação e temperatura e estabelecida uma correlação com as áreas das principais classes de uso e cobertura do solo na Caatinga.

## 2. Metodologia

O estudo abrangeu toda a área de domínio da Caatinga, que foi delimitado segundo IBGE (2004). O bioma ocupa uma área de 844.453 km<sup>2</sup>, equivalente a 9,9 % do território nacional (MAPA e SFB, 2019), estando presente em grande parte do Nordeste e norte de Minas Gerais (Figura 1).



*Figura 1 – Mapa de localização do bioma Caatinga, Brasil.  
Fonte: Autores (2024).*

A classificação do clima para a maior parte do bioma, segundo Koppen, é semiárido quente (BSH), com temperatura alta, escassez e irregularidade na distribuição de chuvas, sendo sua maior concentração no verão. As tipologias vegetais que predominam na região são Savana-Estépica (Caatinga) e Savana (Cerrado), com os seus respectivos subgrupos (florestada, arborizada, parque e gramíneo-lenhosa). O termo Savana-Estépica foi criado por Trochain em 1955, que descreveu uma fisionomia formada por árvores, arbustos e ervas, sem o predomínio de árvores. O conceito de Savana foi introduzido por Fernández de Oviedo y Valdes (1851-1855), definindo-a como uma vegetação xerófila, que ocorre em diferentes tipos de clima, em solos lixiviados com presença de alumínio (IBGE, 2012).

A plataforma Google Earth Engine foi utilizada para a determinação das variáveis temperatura média, máxima e mínima (°C) do ar próximo à superfície (2 m) (MUÑOZ-SABATER, 2021), precipitação total anual, do período chuvoso e seco (mm), número de dias sem chuva (DSC) (< 1 mm) e o número de dias consecutivos sem chuva (DCSC) (FUNK *et al.*, 2015), além do processamento das imagens.

Para a determinação da dinâmica da fragmentação florestal, foi utilizado o Projeto MapBiomas – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil (SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2020). Foram calculadas, no período de 1991 a 2020, as áreas ocupadas pelas classes: formação florestal, formação savânica, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras lavouras e outras lavouras perenes.

Adotou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) (VAN ROOY, 1965), adaptado por Freitas (2005), para a análise da variabilidade da precipitação:

$$IAC = 3 \left[ \left( \frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right) \right], \text{ para anomalias positivas}$$

$$IAC = -3 \left[ \left( \frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right) \right], \text{ para anomalias negativas}$$

Em que:

–  $N$  = precipitação anual (mm);

- $\bar{N}$  = precipitação média do período (mm);
- $\bar{M}$  = média das 10 maiores precipitações do período (mm);
- $\bar{X}$  = média das 10 menores precipitações do período (mm);
- anomalias positivas são precipitações (mm) acima da média; e
- anomalias negativas são precipitações (mm) abaixo da média.

As classes de intensidade foram determinadas de acordo com a Tabela 1.

*Tabela 1 – Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).*

IAC	Classe de Intensidade
$\geq 4$	Extremamente chuvoso
$= 2 \text{ e } < 4$	Muito chuvoso
$> 0 \text{ e } < 2$	Chuvoso
0	Neutro
$< 0 \text{ e } > -2$	Seco
$\leq -2 \text{ e } > -4$	Muito seco
$\leq -4$	Extremamente seco

*Fonte: Araújo; Moraes Neto; Sousa (2009).*

Na análise da tendência da precipitação total, DSC, DCSC e temperatura (média, máxima e mínima) foi utilizado o teste de Mann-Kendall ( $\alpha = 0,05$ ), que de acordo com Bombardi e Carvalho (2017) é um método considerado robusto por ser não-paramétrico e, portanto, não depender de uma distribuição normal.

No intuito de avaliar a existência de tendências anteriores ao período de 1991 a 2020, também foi analisada para DSC e DCSC, a década anterior (1981-1990) e para a temperatura do ar, os dados de 1961 a 1990. O teste foi realizado por meio do software Past 4.02 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

Foi calculado o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson ( $r$ ), por meio do complemento “metan” (OLIVOTO e LÚCIO, 2020) do software R (R CORE TEAM, 2021), entre as variáveis climáticas e as classes de uso e cobertura da terra que apresentaram tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall ( $\alpha = 0,05$ ).

### 3. Resultados e discussão

Os resultados mostraram mudanças no uso e cobertura da terra para o bioma entre 1991 e 2020 (Figura 2 e 3), apresentando aumento das áreas das classes pastagem (4,1 %), área urbanizada (0,3 %), outras lavouras temporárias (1,5 %) e outras lavouras perenes em 2020 (0,5 %). Esse crescimento refletiu na redução das áreas de formações florestal (0,1 %) e savânica (3,8 %). A única formação natural que teve aumento na sua área ocupada foi a campestre (0,3 %).

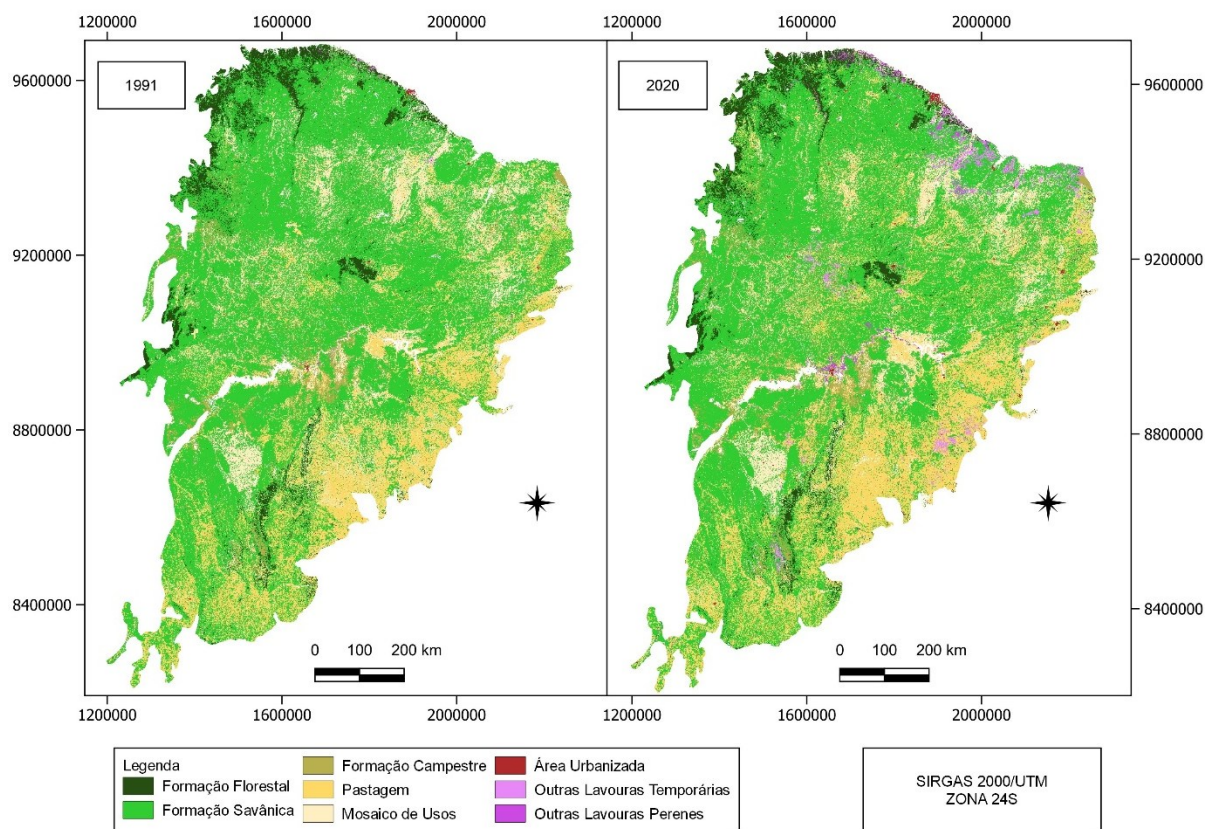


Figura 2 – Classificação do uso e ocupação da terra em 1991 e 2020 para o bioma Caatinga, Brasil  
Fonte: Autores (2024).

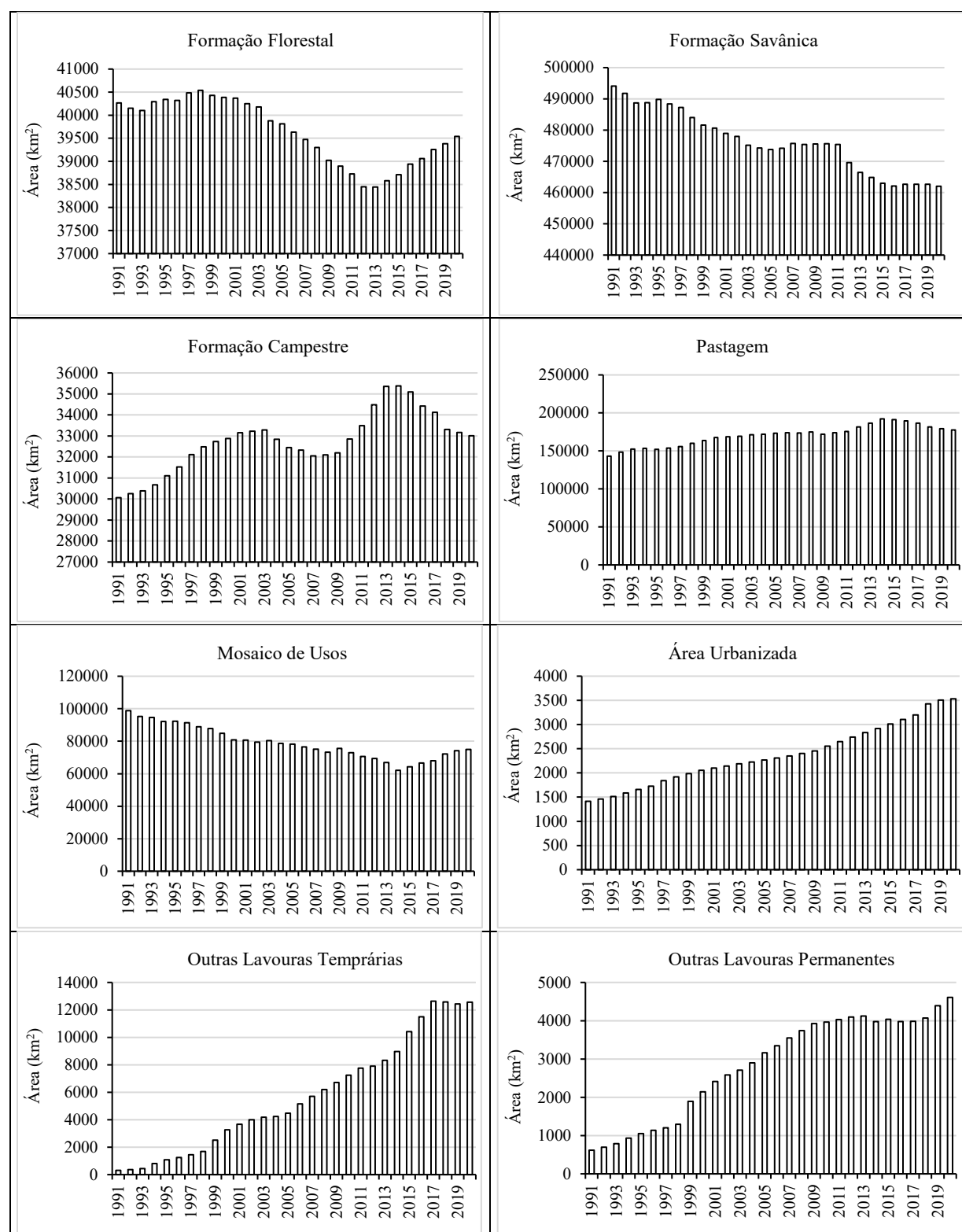


Figura 3 – Área (km²) por classe no período de 1991 a 2020, para o bioma Caatinga, Brasil.

Fonte: Autores (2024).

As áreas antropizadas (pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras lavouras temporárias e outras lavouras perenes) que em 1991 representavam 28,9 % (244.200 km<sup>2</sup>), em 2020 ocupavam 32,4 % (273.229 km<sup>2</sup>).

A temperatura média do ar anual foi de 25,6°C, com média máxima de 27,0°C no mês de novembro. O período chuvoso ocorreu entre os meses de novembro e maio, concentrando cerca de 80 % da precipitação anual (Figura 4). O período seco ocorreu entre junho e outubro, com precipitações abaixo de 40 mm. O mês com maior precipitação total média para o período foi março com 138,7 mm, sendo setembro o mês mais seco com 7,2 mm.

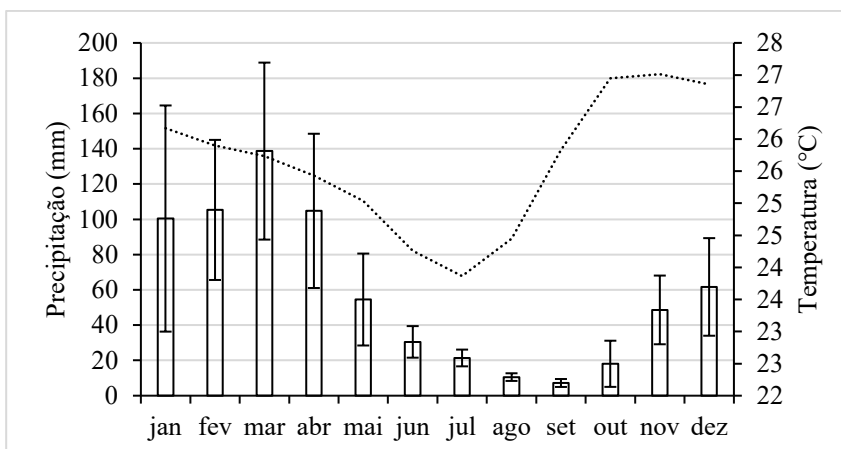


Figura 4 – Precipitação e temperatura média mensal no período de 1991 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil. A barra de erros representa o desvio-padrão.

Fonte: Autores (2024).

Ao analisar os dados de forma sazonal, percebeu-se que o primeiro e o segundo trimestre concentraram os maiores percentuais da precipitação, com 49,1 e 27,0 %, respectivamente. O terceiro trimestre foi o de menor precipitação, com apenas 5,6 %, e o quarto trimestre demonstrou uma retomada, com 18,3 %.

A precipitação média anual no período foi de 701,6 mm com um desvio padrão de 130,1 mm. A maior precipitação foi encontrada foi de 963,8 em 2009 e a menor foi em 2012 (406,9 mm). Salienta-se ainda que em 2004, 2008, 2009 e 2020, a precipitação total ficou acima do limite superior do desvio-padrão, sendo, portanto, considerados anômalos por apresentar grandes volumes. Outros quatro anos ficaram abaixo do limite inferior do desvio-padrão (1993, 1998, 2012 e 2015), neste caso, anômalos devido à baixa precipitação apresentada (Figura 5). Em relação aos períodos chuvoso e seco, as médias encontradas foram 606,8 mm e 87,8 mm, com desvio-padrão de 125,6 e 19,7 mm, respectivamente.

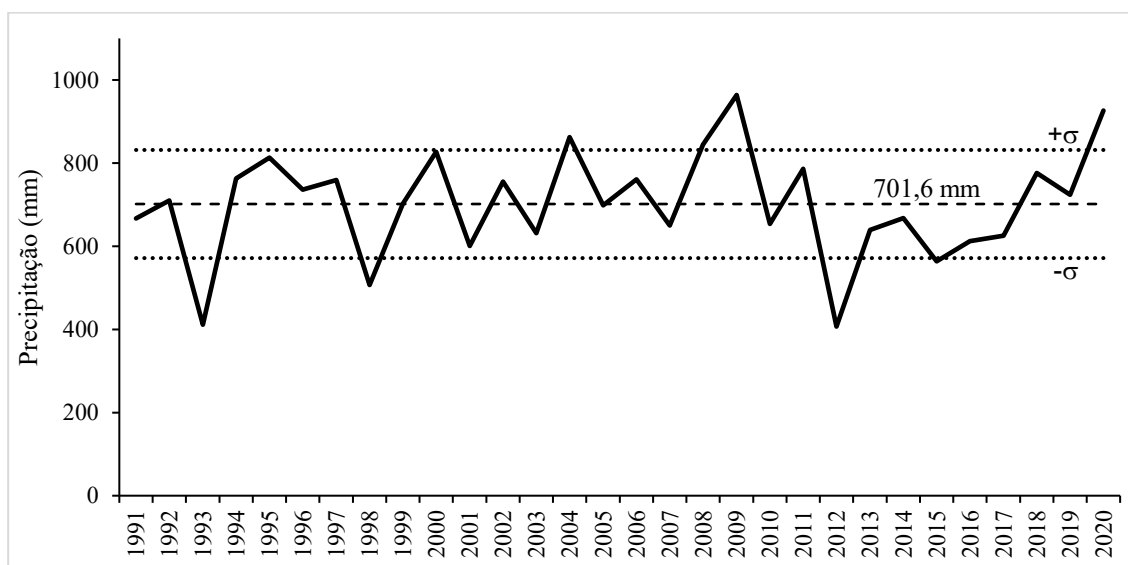


Figura 5 – Precipitação no período de 1991 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil, sendo: linha contínua = precipitação total, linha tracejada = precipitação média,  $+\sigma$  = desvio-padrão positivo e  $-\sigma$  = desvio-padrão negativo.  
Fonte: Autores (2023).

Na Figura 6 constata-se que o IAC foi positivo em 15 anos, negativo em 14 e neutro em um. Quando analisada a classe de intensidade (Tabela 1), dois anos foram classificados como extremamente chuvosos, quatro como muito chuvosos, nove como chuvosos, um neutro, oito como secos, três muito secos e três extremamente secos. Um período com IAC's negativos consecutivos pode ser observado entre 2012 e 2017.

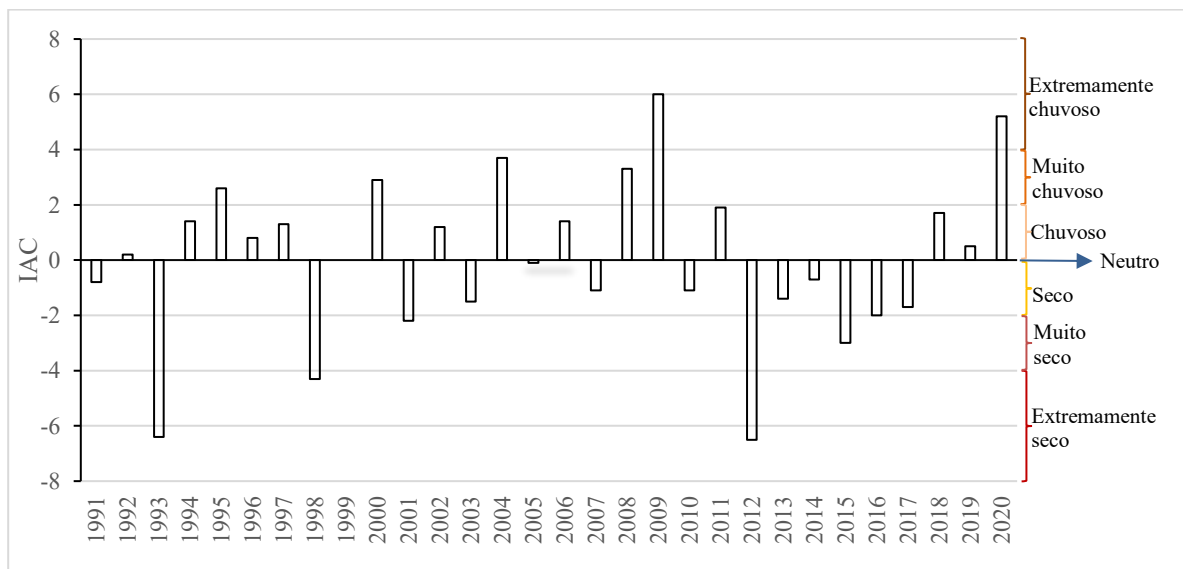


Figura 6 – Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a série precipitações de totais anuais no período de 1991 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil.  
Fonte: Autores (2024).

O DSC por ano foi  $208,8 \pm 18,1$ , não sendo observada diferença dos dados mensais entre as décadas analisadas. Ao verificar o DCSC, percebe-se que na década de 1981 a 1990 o maior valor médio ocorreu em setembro (38,3 dias). No entanto, nas décadas posteriores houve um deslocamento, com os maiores valores sendo observados em outubro. Vale



destacar uma mudança gradual entre 1991 e 2000, com valores muito próximos, onde em setembro foi encontrado 40,1 dias consecutivos sem chuva e em outubro, 41,8 dias (Figura 7).

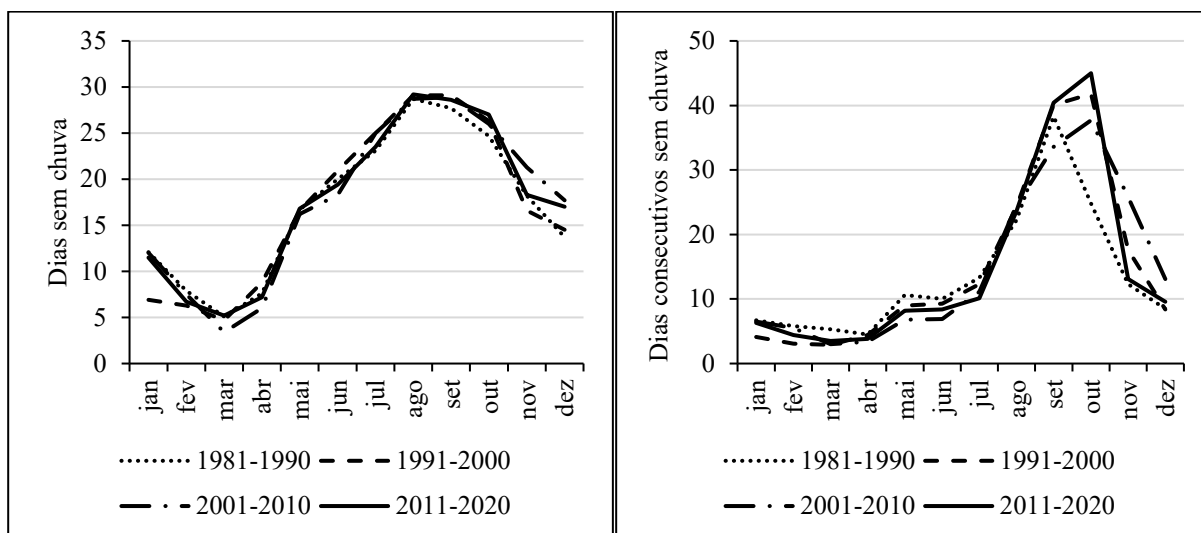


Figura 7 – Número de dias sem chuva e número de dias consecutivos sem chuva (< 1 mm) para a série precipitações de totais mensais no período de 1981 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil

Fonte: Autores (2024).

Na Tabela 2, é possível constatar que não existe nenhuma tendência estatisticamente significativa para a precipitação (total anual, período chuvoso e período seco), DSC e DCSC.

Tabela 2 – Análise da tendência da precipitação total anual, do período chuvoso (de novembro a maio), do período seco (de junho a outubro) e da temperatura (°C), pelo teste de Mann-Kendall ( $\alpha = 0,05$ ), para o bioma Caatinga, Brasil.

Valor Z do teste de Mann-Kendall.

Variáveis		Período	Z	p
Precipitação total (mm)	Annual	1991 – 2020	0,0714	0,9431
	chuvoso		0,2498	0,8028
	Seco		0,1784	0,8584
Nº de dias sem chuva (< 1 mm)		1991 – 2020	0,0179	0,9858
Nº de dias consecutivos sem chuva (< 1 mm)			0,3750	0,7077
Temperatura (°C)	média	1961 – 1990	0,8921	0,3724
	máxima		0,8207	0,4118
	mínima		0,7850	0,4325
	média	1991 – 2020	2,319	0,0204*
	máxima		31,273	0,0018*
	mínima		21,076	0,0351*

Fonte: Autores (2024).

Com relação a temperatura, o valor encontrado para a média anual, máxima e mínima foram 25,6°C, 26,5°C e 25,0°C, respectivamente. Em 14 anos (46,7%) a temperatura média anual foi maior que média do período analisado (Figura 8). As temperaturas médias mais baixas foram encontradas em sua maioria (62,5 %) entre 1991 e 2005.

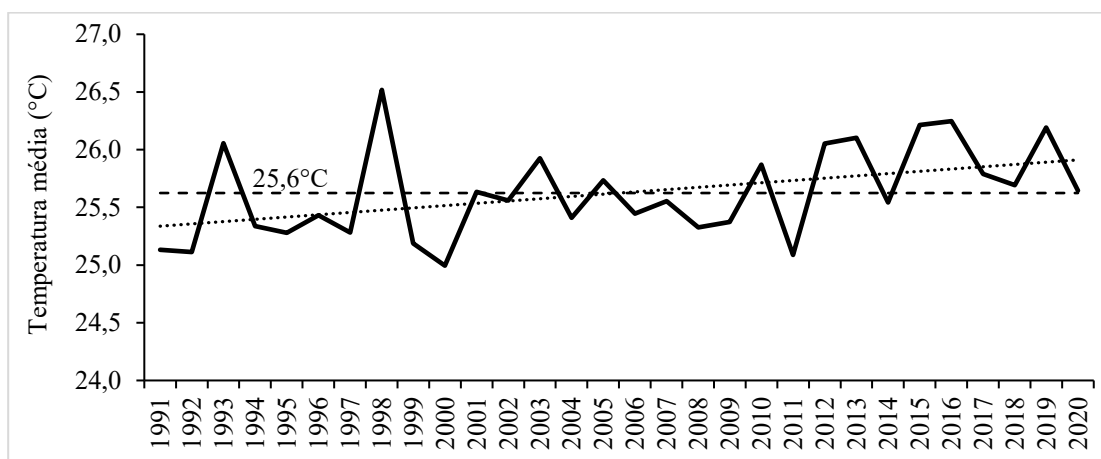


Figura 8 – Temperatura média anual no período de 1990 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil, sendo: linha contínua = temperatura, linha tracejada = temperatura média e linha pontilhada = regressão linear.

Fonte: Autores (2024).

Foi verificada uma tendência de aumento de 0,6°C na temperatura média, de 0,7°C na máxima e de 0,4°C na mínima no período de 1991 a 2020 (Tabela 2). No intuito de verificar se esta tendência já existia anteriormente, analisou-se também os dados referentes ao período de 1961 a 1990, não sendo encontrado nenhuma tendência significativa estatisticamente.

Na Figura 9 encontram-se as correlações entre a temperatura e as classes de uso e ocupação da terra. Quando observada a relação entre as temperaturas (média, máxima e mínima), a formação florestal e formação savânica, verifica-se uma correlação negativa, ou seja, o aumento das áreas destas fisionomias naturais está associado a redução da temperatura. Vale destacar que para temperatura média e mínima e formação florestal, a correlação não apresentou significância estatística. O inverso foi observado para a formação campestre, fisionomia natural com predomínio de espécies herbáceas, onde a maior área ocupada resultou em uma maior temperatura tanto média, quanto máxima e mínima. Também não foi verificada significância estatística para a temperatura mínima.

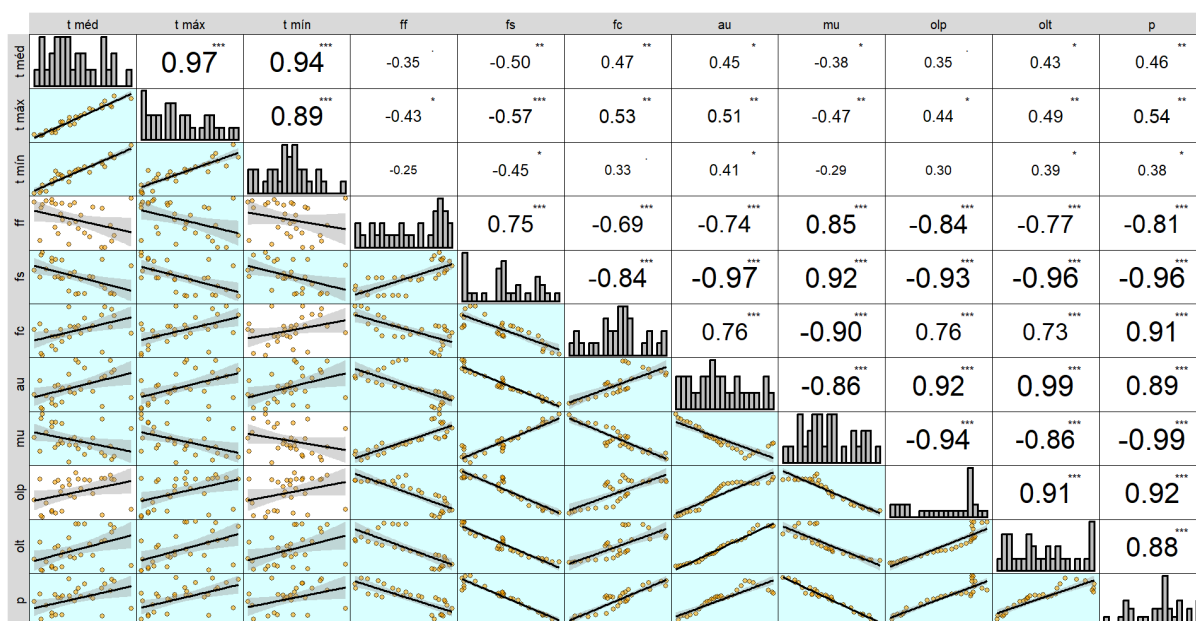


Figura 9 – Correlação Linear de Pearson ® entre temperatura e as classes de uso e cobertura da terra no período de 1991 a 2020 para o bioma Caatinga, Brasil, sendo: t méd – temperatura média, t máx – temperatura máxima, t mín – temperatura mínima, ff – formação florestal, fs – formação savânica, fc – formação campestre, au – área urbanizada, mu – mosaico de usos, olp – outras lavouras perenes, olt – outras lavouras temporárias, p – pastagem, \* – significância estatística a 95% probabilidade, \*\* – significância estatística a 99% probabilidade, e \*\*\* – significância estatística a 99,9% probabilidade.

Fonte: Autores (2024).

As áreas antropizadas, assim como a formação campestre, também possuem uma correlação positiva, em que o aumento da sua área está correlacionado a maiores temperaturas. Não foi observada significância com a temperatura mínima (Figura 9). Isto pode ser verificado tanto para a classe área urbanizada, quanto para as classes agrícolas, como outras lavouras perenes, outras lavouras temporárias e pastagem. Não apresentaram significância estatística a temperatura média e mínima e outras lavouras perenes. A exceção foi o mosaico de usos que teve uma correlação negativa. Esta classe é definida como “áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura” ou “áreas de vegetação urbana, incluindo vegetação cultivada e vegetação natural florestal e não-florestal”, não sendo possível determinar as características que poderiam explicar este comportamento, como, por exemplo, seu porte e adensamento.

Esse estudo aponta que alterações do uso e cobertura do solo em Caatinga vem deve ser entendido como uma preocupação para o manejo adequado desse bioma (FERNANDES *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2013; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2022), sendo a redução da cobertura florestal nativa uma das mais importantes alterações nesse bioma. Esta redução esteve, ao longo do tempo (1991-2020), mais associada ao avanço da agropecuária em diferentes áreas de Caatinga (ALBUQUERQUE *et al.*, 2017; BARBOSA; ANDRADE; ALMEIDA, 2009; COELHO *et al.*, 2014; FERNANDES *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2009; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2022; SOUSA *et al.*, 2008).

Durante o período analisado percebeu-se uma grande oscilação na precipitação anual, sendo que a maioria dos eventos ocorreram dentro do desvio-padrão, indicando poucos eventos extremos. No entanto pode-se observar um período de seca entre 2012 e 2017. Este pode ser considerada como a seca mais severa em décadas, já que teve impactos relevantes na agropecuária, na produção industrial, na disponibilidade de água potável nos poços das residências da zona rural, reduzindo o nível dos reservatórios (BRITO *et al.*, 2018; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Em relação à vegetação da Caatinga, este período afetou negativamente na produtividade da vegetação, sendo esta observada por meio do estudo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (BARBOSA *et al.*, 2019). A existência destes longos períodos de estiagem pode ser muito crítica para a fisiologia das plantas (SANTOS *et al.*, 2014), que mesmo para espécies da Caatinga, que em sua maioria estão adaptadas para passar por períodos severos de estiagem, poderiam não suportar. Como exemplo de

adaptação, pode-se citar a maior capacidade de espécies decíduas que possuem madeira de baixa densidade ( $< 0,5 \text{ g cm}^{-3}$ ) em armazenar água em caules (até 250 % do peso seco) que aquelas de alta densidade ( $\geq 0,5 \text{ g cm}^{-3}$ ) (LIMA *et al.*, 2012).

Dentre os eventos extremamente secos (Figura 6), os de 1993 e 1998, estão relacionados com a ocorrência do El Niño, diferente de 2012, quando o evento não foi observado (CUNHA *et al.*, 2018). De acordo com os autores, neste último caso, a seca foi causada pela migração para o norte da ZCIT.

A constatação da não existência de tendência para a precipitação, DSC e DCSC, demonstra uma ausência de relação destas variáveis com a redução da área de vegetação nativa. Esta afirmativa está de acordo com autores que consideram que a variação da precipitação anual no Nordeste, está relacionada, principalmente, com características atmosféricas e oceânicas, como a existência de eventos como El Niño, La Niña e ZCIT (RODRIGUES e MCPHADEN, 2014; SPARACINO; ARGIBAY; ESPINDOLA, 2021).

Por outro lado, a tendência de aumento da temperatura média no período para o Nordeste do Brasil já foi relatada por outros autores (COSTA *et al.*, 2020a; MARENGO e BERNASCONI, 2015; MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Marengo e Bernasconi (2015), também projetaram um aumento da temperatura para o semiárido brasileiro em  $2^\circ\text{C}$  até 2040 em comparação ao período de 1961 a 1990, resultado próximo do encontrado no presente estudo ( $1,6^\circ\text{C}$ ).

A correlação negativa entre as temperaturas (média, máxima e mínima), e as formações florestal e savânica, pode ser explicada pelo fato de que se trata de fisionomias de porte mais elevado (maior área basal por hectare de floresta), e que, portanto, possuem uma maior capacidade de sombreamento e redução da amplitude térmica. Em sentido oposto está a formação campestre, que pela predominância de vegetação rasteira, não apresenta alta capacidade de sombreamento. Dessa forma, a maior área ocupada por esta fisionomia pode resultar naturalmente em uma maior temperatura. Os resultados observados corroboram os obtidos por Gotardo *et al.* (2019), que encontraram uma temperatura média diária do ar  $9,5\%$  menor em áreas com presença de dossel florestal em relação as áreas abertas (sem a presença de dossel e coberto por gramíneas).

#### 4. Considerações finais

A dinâmica do uso e ocupação da terra na Caatinga entre 1991 e 2020, demonstrou um avanço das áreas antropizadas e consequente redução das áreas vegetais naturais.

O número de dias consecutivos sem chuva se deslocou do mês de setembro, entre os anos 1981 e 1990, para outubro, nas décadas posteriores.

A precipitação (anual, do período chuvoso e do período seco) não apresentaram tendência de mudança.

A temperatura média, máxima e mínima, não apresentaram tendência de mudança entre 1961 e 1990, mas observou-se tendência de aumento entre 1991 e 2020.

Correlações negativas foram observadas entre o tamanho da área das fisionomias de maior porte (florestal e savânica) com a temperatura, significando que a redução da área ocupada por estas formações aumenta a temperatura do meio. Comportamento contrário foi observado para as áreas antrópicas, em que seu aumento eleva a temperatura.

Diante do exposto, pode-se concluir que a mudança do uso e ocupação da terra não afetam diretamente a precipitação na Caatinga, mas tem impacto significativo no aumento da temperatura deste bioma.

#### Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Biossistemas pela oportunidade, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia pela bolsa do primeiro autor (Projeto Vinculado: 3477/2021, Termo de Outorga: BOL0420/2022).

L. F. S. Magnago foi apoiado pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Nível 2 (307984/2022-2).

#### Referências

- ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; CASTRO, C. C.; ALVES, R. R. N. People and natural resources in the Caatinga. In: SILVA, J.M.C., LEAL, I.R., TABARELLI, M. **Caatinga**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 303-333.
- ALLEN, K.; DUPUY, J. M.; GEI, M. G.; HULSHOF, C.; MEDVIGY, D.; PIZANO, C.; SALGADO-NEGRET, B.; SMITH, C. M.; TRIERWEILER, A.; VAN BLOEM, S. J.; WARING, B. G.; XU, X.; POWERS, J. S. Will seasonally

- dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, p. 1-15, 2017.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 93-110, 2009.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J.G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 148, p. 235-252, 2019.
- BARBOSA, Í. S.; ANDRADE, L. A.; ALMEIDA, J. A. P. Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no município de Lagoa Seca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 615-622, 2009.
- BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. Práticas simples em análises climatológicas: Uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 311-320, 2017.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517–529, 2018.
- COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.
- COSTA, R. L.; BAPTISTA, G. M. M.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; SALVADOR, M. A.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over Northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 1-21, 2020a.
- COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; BAPTISTA, G. M. M.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; HERDIES, D. L.; SILVA, V. P. R. Climate change scenarios for the northeast region of Brazil through the statistical downscaling technique. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Special Issue, p. 785-801, 2020b.
- CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 139-152, 2013.
- CUNHA, A. P. M. A.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO-NETO, G. G.; BROWN, M.; GARCIA, S. R.; BRITO, S. B.; CARVALHO, M. A. Changes in the spatial-temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, v. 19, n. 10, p. 1-8, 2018.
- DIAS, J. L.; MAZZUTTI, S.; SOUZA, J. A. L.; FERREIRA, S. R. S.; SOARES, L. A. L.; STRAGEVITCH, L.; DANIELSKI, L. Extraction of umbu (*Spondias tuberosa*) seed oil using CO<sub>2</sub>, ultrasound and conventional methods: evaluations of composition profiles and antioxidant activities. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, p. 10-18, 2019.
- FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p. 1-8, 2020.
- FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015.
- FREIRE, N. C. F.; MOURA, D. C.; SILVA, J. B.; MOURA, A. S.; MELO, J. I. M.; PACHECO, A. P. **Atlas das caatingas: o único bioma exclusivamente brasileiro**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2018. p.200: il.

- FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. **Revista Tecnologia**, v. Suplemento, p. 84-95, 2005.
- FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.
- GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; PIAZZA, G. A.; KAUFMANN, V.; TORRES, E. Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1415-1427, 2019.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- HASNAT, G. N. T. Climate change effects, adaptation, and mitigation techniques in tropical dry forests. In: KHOSROWPOUR, M. **Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change**. Pennsylvania: IGI Global, 2022. cap. 3, p. 42-64.
- HASTENRATH, S. Circulation and teleconnection mechanisms of Northeast Brazil droughts. **Progress in Oceanography**, v. 70, n. 2-4, p. 407-415, 2006.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 160 p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- JENKINS, K.; WARREN, R. Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 120, n. 1-2, p. 41-54, 2015.
- LIMA, A. L. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CASTRO, C. C.; RODAL, M. J. N.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. L. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? **Trees - Structure and Function**, v. 26, n. 5, p. 1605-1616, 2012.
- LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008. 253 p.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo: 2019**. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 207 p.
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.
- MARIANO, D. A.; SANTOS, C. A. C.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 213, p. 129-143, 2018.
- MEDEIROS, W. P.; PAULA, A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; LEMOS, O. L. Population structure, diametric distribution and use of *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett in arboreal Caatinga. **Revista Ceres**, v. 69, n. 1, p. 62-69, 2022.

- MIRZABAEV, A.; STRINGER, L. C.; BENJAMINSEN, T. A.; GONZALEZ, P.; HARRIS, R.; JAFARI, M.; STEVENS, N.; TIRADO, C. M.; ZAKIELDEEN, S. 2022: Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2022. p. 2195-2231.
- MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; ALBERGEL, C.; ARDUINI, G.; BALSAMO, G.; BOUSSETTA, S.; CHOULGA, M.; HARRIGAN, S.; HERSBACH, H.; MARTENS, B.; MIRALLES, D. G.; PILES, M.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, N. J.; ZSOTER, E.; BUONTEMPO, C.; THÉPAUT, J. N. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 9, p. 4349-4383, 2021.
- OLIVEIRA JÚNIOR, I.; PEREIRA, A. J.; SILVA, B.-C. M. N. Uso e cobertura da terra no trópico semiárido: da apropriação ambiental às feições da desertificação. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 69, p. 619-648, 2022.
- OLIVEIRA, F. C. S.; MENEZES, L. S.; OLIVEIRA, R. R.; BENTO-SILVA, J. S. Considerações sobre unidades de conservação na Caatinga. In: SANTOS, C. A. B.; ANDRADE, W. M.; SILVA, J. S. B. **Sustentabilidade do Bioma Caatinga**. Paulo Afonso: SABEH, 2018. p. 14-32.
- OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783-789, 2020.
- QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga Domain. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga the largest tropical dry forest region in South America**. Gewerbestrasse: Springer International Publishing, 2018. p. 23-64.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 5 mar. 2023
- RITO, K. F.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; QUEIROZ, R. T.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 3, p. 828-838, 2017.
- RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J. Why did the 2011-2012 la Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.
- ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Contribution of Semi-Arid Forests to the climate system. **New Series**, v. 22, n. 5964, p. 451-454, 2010.
- SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, M. T.; FIGUEIREDO, K. V.; FALCÃO, H. M.; ARRUDA, E. C. P.; ALMEIDA-CORTEZ, J.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OMETTO, J. P. H. B.; MENEZES, R. S. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; POMPELLI, M. F.; ANTONINO, A. C. D. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 83-99, 2014.
- SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; SILVA, A. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semiárido de Pernambuco. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 195-205, 2009.
- SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. É.; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 377-384, 2017.
- SILVA, E. A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SÁ, I. B.; DUARTE, S. M. A. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 611-620, 2013.
- SILVA, E. L. G. S.; AGUIAR, H. T. V.; FREITAS, R. F. Estudo fitoquímico, atividade antioxidante e tóxica da casca da *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Biodiversidade**, v. 19, n. 2, p. 97-106, 2020.

- 
- SILVA, E. L. G. S.; AGUIAR, H. T. V.; FREITAS, R. F. Estudo fitoquímico, atividade antioxidante e tóxica da casca da *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Biodiversidade**, v. 19, n. 2, 2020.
- SOUSA JÚNIOR, V. P.; SPARACINO, J.; ESPINDOLA, G. M.; ASSIS, R. J. S. Land-use and land-cover dynamics in the Brazilian Caatinga Dry Tropical Forest. **Conservation**, v. 2, n. 4, p. 739-752, 2022.
- SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; NERY, A. R.; LIMA, A. N. Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando geoprocessamento. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 22-30, 2008.
- SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. **Caatinga e desertificação**. Mercator (Fortaleza), v. 14, p. 131-150, 2015.
- SOUZA JÚNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2735, p. 1-27, 2020.
- SPARACINO, J.; ARGIBAY, D. S.; ESPINDOLA, G. Long-term (35 years) rainy and dry season characterization in semiarid northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 377-391, 2021.
- VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, v. 14, n. 43, p. 6, 1965.