



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS V - JOÃO PESSOA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS - CCBSA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

ROMULO LEITE RAMALHO

**AS ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR E DA
COBERTURA FLORESTAL EXPLICAM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS
BREJOS PARAIBANOS?**

**JOÃO PESSOA
2022**

ROMULO LEITE RAMALHO

**AS ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR E DA
COBERTURA FLORESTAL EXPLICAM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS
BREJOS PARAIBANOS?**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba - Campus V, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Célia Cristina Clemente Machado

JOÃO PESSOA
2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R166a Ramalho, Romulo Leite.

As alterações das temperaturas da superfície do mar e da cobertura florestal explicam as mudanças climáticas nos brejos Paraibanos? [manuscrito] / Romulo Leite Ramalho. - 2022.
29 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Célia Cristina Clemente Machado, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Brejos paraibanos. 2. Mudanças climáticas. 3. Temperatura da superfície do mar. 4. Cobertura florestal. I. Título

21. ed. CDD 333.7

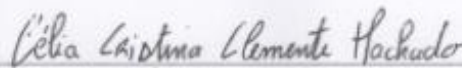
ROMULO LEITE RAMALHO

AS ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR E DA
COBERTURA FLORESTAL EXPLICAM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS
BREJOS PARAIBANOS?

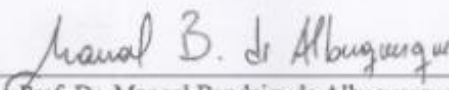
Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Estadual da Paraíba - Campus V, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 28/07/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Célia Cristina Clemente Machado (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. Cleber Ibraim Salimon
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	13
Figura 2 – Temperatura do ar a 2 m (média anual) entre 1981 e 2020 na área de estudo.....	16
Figura 3 – Média anual, à esquerda da umidade específica e à direita da umidade relativa entre 1981 e 2020 na área de estudo.....	17
Figura 4 – Precipitação anual (mm) entre 1981 e 2020 na área de estudo.....	17
Figura 5 – Quantidade de dias com chuvas superiores a 1 mm.....	18
Figura 6 – Quantidade de dias de chuvas superiores a 10 e 20 mm.....	18
Figura 7 – Intensidade pluviométrica anual (1981-2020) na área de estudo.....	18
Figura 8 – Cobertura média por nuvens (%) à esquerda e índice de claridade entre 1981 e 2020 na área de estudo.....	19
Figura 9 – Total de área de ocupação de Formação Florestal entre os anos de 1985 e 2020 na área de estudo.....	19
Figura 10 – Análise das variáveis (respostas\preditoras) processadas pelo <i>Random Forest</i> (RF).....	21
Figura 11 – Dados dos volumes decrescentes de todos os açudes inseridos nos brejos de altitude paraibano, exceto do Pitombeira que mantém volume próximo à média.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de correlação entre as variáveis resposta.....	20
Tabela 2 – Valor-P, R-quadrado ajustado (R^2 Ajustado) e Desvio explicado (Desv.expl) do Modelo Aditivo Generalizado.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Desv.expl.	Desvio explicado
DIAS_CHUVA	Números de dias com chuva
ENSO	El Niño Oscilação Sul
GEEs	Gases de efeito de estufa
GEOS	Goddard Earth Observing System
GEOS 5.12.4 FP-IT	Nome do modelo do GMAO
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IND_CL	Índice de claridade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INO1+2	Região do Pacífico
INT_PLUV	Intensidade pluviométrica
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAG	Modelo Aditivo Generalizado
MERRA-2	Nome do modelo do GMAO
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASA POWER	NASA Prediction of Worldwide Energy Resources
NATL	Atlântico Norte
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NINO3	Região do Pacífico
NINO4	Região do Pacífico
NO3_4	Região do Pacífico
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWS	National Weather Service
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PRECTOTAL	Precipitação total anual
QUANT_NUV	Quantidade de nuvens
RF	Random Forest
SATL	Atlântico Sul

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SST	Sea surface temperature
T2M	Temperatura do ar a 2 metros
TSM	Temperatura da superfície do mar
TSMA	Temperatura da superfície do mar do Oceano Atlântico
TROP	Faixa tropical
UE	Umidade específica a 2 metros
UR	Umidade relativa a 2 metros
UCT	Uso e cobertura da terra
VMA	Variabilidade Multidecadal Atlântica
ZCIT	Zona de Convecção Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	METODOLOGIA	12
2.1	Área de Estudo	12
2.2	Dados Climatológicos e Meteorológicos	13
2.2.1	<i>Dados de cobertura florestal</i>	15
2.2.2	<i>Dados da temperatura da superfície do mar (TSM)</i>	15
2.2.3	<i>Tratamento estatístico</i>	15
2.2.4	<i>Volume dos açudes na região dos Brejos de Altitude da Paraíba</i>	15
3	RESULTADOS	16
4	DISCUSSÃO	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
6	REFERÊNCIAS	25
	ANEXO A -	29

AS ALTERAÇÕES DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR E DA COBERTURA FLORESTAL EXPLICAM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS BREJOS PARAIBANOS?

DO CHANGES IN SEA SURFACE TEMPERATURES AND FOREST COVERAGE EXPLAIN CLIMATE CHANGES IN THE "BREJOS" OF PARAIBA?

Romulo Leite Ramalho¹

RESUMO

Os oceanos são grandes moduladores dos climas globais e suas temperaturas superficiais (TSM) têm vindo a aumentar devido ao aquecimento global que, por sua vez, é consequência do aumento dos gases de efeito de estufa liberados na atmosfera e das mudanças no uso e cobertura da terra. A variação da TSM assume o papel de forçante atmosférica capaz de alterar a pressão do ar e os movimentos globais das massas de ar impactando as temperaturas do ar, os regimes e as anomalias pluviométricas no globo inteiro. A região dos brejos Paraibanos, área de exceção climática, hidrológica e biológica é de extrema importância para a segurança hídrica do estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil. Dentro desse contexto, este estudo teve como objetivo analisar como o clima regional dos brejos de altitude da Paraíba está respondendo às mudanças globais e como as alterações da TSM e as mudanças na cobertura florestal explicam essas respostas. Observou-se uma diminuição da cobertura por nuvens possivelmente em resposta ao aumento da TSM, especialmente da faixa Tropical ($P < 0,001$; $R^2=0,603$) e do Atlântico Norte ($P < 0,001$; $R^2=0,562$), o que determina uma maior quantidade de radiação solar anual e um aumento das temperaturas nas últimas décadas. O aumento da temperatura do ar provoca aumento da precipitação, principalmente das chuvas convectivas de pouca duração e de maior intensidade. Chuvas mais intensas contribuem para o processo de erosão do solo e assoreamento dos reservatórios que já têm seus níveis diminuídos em consequência do crescente consumo urbano. Assim, políticas públicas e planejamentos de curto e médio prazo devem ser postos em prática para proteger os recursos hídricos das populações dos brejos e a restauração da cobertura florestal de forma a proporcionar os serviços ecossistêmicos que ela nos proporciona, sendo a sustentabilidade dos recursos hídricos um deles.

Palavras-chave: Brejos paraibanos, Mudanças climáticas, Temperatura da superfície do mar, Cobertura florestal.

ABSTRACT

The oceans are major modulators of global climates and their surface temperatures (SST) have been rising due to global warming, which, in turn, is a consequence of the increase in greenhouse gases released into the atmosphere and changes in the use and coverage of the soil. The variation of the SST assumes the role of atmospheric forcing capable of altering the air pressure and global movements of air masses impacting air temperatures, rain regimes and rainfall anomalies across the globe. The Paraíba "Brejos" region, area of climatic, hydrological and biological exception is of extreme importance for the water security of the state of Paraíba, Northeast region of Brazil. Within this context, this study aimed to analyze how the regional climate of the "Brejos de Altitude" of Paraíba is responding to global changes and how changes of SST and changes in forest cover explain these responses. A decrease in cloud cover was observed, possibly in response to the rise of SST, especially in the Tropical Belt ($P < 0,001$;

$R^2=0,603$) and the North Atlantic ($P < 0,001$; $R^2=0,562$), which determines a greater amount of annual solar radiation and an increase in temperatures in recent decades. The increase in air temperature causes a growth in precipitation, mainly from convective rains of short duration and greater intensity. More intense rainfall contributes to the process of soil erosion and silting of reservoirs that already have their levels reduced as a consequence of growing urban consumption. Thus, public policies and short and medium-term planning must be put into practice to protect the water resources of the "brejos" populations and the restoration of forest cover in order to supply the ecosystem services that it provides us, with the sustainability of water resources being one of them.

Keywords: "Brejos" of Paraíba, climate change, sea surface temperature, forest cover.

INTRODUÇÃO

Existem evidências substanciais que as temperaturas médias globais do nosso planeta aumentaram desde meados do século XIX (Böhm et al., 2010; Hansen et al., 2010; Rohde et al., 2013; IPCC, 2021). Segundo o mais recente relatório do IPCC, estima-se que, desde 1850, o aumento das temperaturas variou entre $0,8^{\circ}\text{C}$ a $1,3^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2021). Segundo esse mesmo relatório os gases de efeito de estufa (GEEs) e outros drivers antrópicos, como as alterações no uso e cobertura da terra (UCT) são apontados como os mais prováveis responsáveis por esse aumento. Os níveis de dióxido de carbono (CO_2) aumentaram de 284 ppm em 1832 para 410 ppm em 2021, sendo considerado inequivocadamente causado por atividades humanas, principalmente pela queima de combustíveis fósseis e mudanças de UCT (Tans e Keeling, 2013; IPCC, 2021).

Dessa forma, espera-se que as mudanças climáticas tragam temperaturas mais elevadas, alterações nos padrões de precipitação e aumento da frequência e severidade dos tempos extremos (Wheeler e von Braun, 2013). O aquecimento global não ocorrerá de forma homogênea pelo globo, sendo esperado atingir mais intensamente o interior dos continentes, por efeito esperado da continentalidade, e as regiões áridas e semiáridas. Do comportamento das chuvas, embora mais difíceis de prever, espera-se um aumento em quantidade e intensidade, especialmente nas regiões tropicais. A variabilidade das chuvas relacionadas com as oscilações do El Niño será amplificada, assim como, a intensidade das mesmas em áreas urbanas, especialmente, as litorâneas (IPCC, 2021).

Os oceanos são grandes moduladores dos climas globais. A variação da temperatura da superfície do mar (TSM) assume o papel de forçante atmosférica capaz de alterar a pressão do ar, os movimentos globais das massas de ar e os padrões de teleconexão atmosférica, impactando as temperaturas do ar, os regimes e anomalias pluviométricas no globo inteiro (Müller e Ambrizzi, 2007; Silva e Silva, 2012). O Oceano Pacífico é o maior oceano do planeta e um reconhecido influenciador das temperaturas globais do ar (Cai e Whetton, 2001; Trenberth et al., 2002; Lu, 2005). Além das anomalias da TSM do Pacífico (TSMP), outras bacias oceânicas também exercem papel preponderante nos climas globais, como o Oceano Atlântico (TSMA) e sua clara influência sobre o inverno boreal europeu e a estação chuvosa na região nordeste do Brasil (Marques et al., 2005; Lu, 2005).

As observações da TSM indicam um rápido aumento das temperaturas da superfície dos oceanos desde a metade do século XIX (Abram et al., 2019). A concentração de CO_2 aumentou substancialmente desde a revolução industrial gerando um desbalanceamento energético no planeta e um aquecimento e aumento na absorção de CO_2 pelos oceanos (Le Quéré et al., 2018), sendo que cerca de 93% da energia termal extra é acumulado nos oceanos (Rhein et al., 2013).

A conexão íntima entre o oceano e a atmosfera também pode ser percebida nos padrões de precipitação do mundo inteiro. Focando o nordeste brasileiro, o seu ciclo anual de

chuvas está intimamente relacionado com a incursão anual de convecções tropicais associadas a Zona de Convecção Intertropical (ZCIT) indo em direção ao equador após o verão austral (Ronchail et al., 2002). No entanto, a região é propensa a forte variabilidade climática interanual, onde os regimes de chuva alternam entre períodos úmidos e secos com marcada frequência decenal e impactos hidrológicos e, conseqüentemente, socioambientais (Dettinger et al., 2001; Marengo, 2012). A maior parte do nordeste brasileiro tem regime de precipitação semiárido, com estação chuvosa curta, normalmente entre março e maio, quando a ZCIT atinge sua posição mais meridional (Rodrigues et al., 2011). Portanto, o aumento da convecção e advecção da umidade associada a ZCIT favorece a ocorrência de eventos chuvosos no Nordeste (Villamayor et al., 2017). Existe um amplo consenso que o El Niño Oscilação Sul (ENSO), uma mudança periódica do sistema oceano-atmosfera no Pacífico tropical, é o principal modulador das chuvas no Nordeste em escala interanual. Em escala de tempo decenais, a Variabilidade Multidecadal Atlântica (VMA) é que modula a posição da ZCIT.

A Paraíba, estado inserido na região nordeste do Brasil, possui características fisiográficas particulares, definidas com a combinação de elementos naturais, como relevo, clima e vegetação. Essas propriedades modulam as principais condições de precipitação no território, que por sua vez, exercem forte influência em diversos indicadores sociais e econômicos associados à recursos hídricos. Por exemplo, abastecimento para consumo, agricultura, geração de energia, além desse conhecimento ser importante para o monitoramento do tempo e do clima para a previsão (Luiz-Silva et al., 2021; Rodrigues et al., 2020). A variabilidade climática, as mudanças no uso e cobertura da terra e a falta de gerenciamento nas políticas públicas de recursos hídricos são os principais fatores que afetam a disponibilidade hídrica no Estado da Paraíba (Brasil Neto et al., 2021; Campos et al., 2017; De Oliveira et al., 2014).

O brejo de altitude é uma microrregião da Paraíba que se localiza numa zona de transição entre os biomas da Caatinga e da Mata Atlântica (Agreste). O brejo de altitude paraibano é uma área de exceção em várias esferas: a) na esfera climática pois os brejos concentram níveis mais elevadas que as regiões circundantes, pois o relevo, composto de serras e planaltos, favorece a condensação da umidade atmosférica resultando em chuvas orográficas que garantem uma maior umidade atmosférica local e temperaturas mais amenas (Silva et al., 2019); b) exceção hídrica, pois a posição geomorfológica dos brejos os tornam centros de nascentes que abastecem importantes bacias hidrográficas e, portanto, são peças fulcrais para a qualidade e quantidade de água que segue a jusante até o litoral, afetando milhares de habitantes (Machado et al., 2018); c) exceção biológica pois suas condições climáticas excepcionais que as tornam "refúgios atuais" para espécies de Floresta Atlântica Nordestina dentro dos domínios da caatinga, refletindo-se na exuberante vegetação e explicando o elevado número de endemismo (Sales et al., 1998).

Portanto, perante as esperadas mudanças climáticas globais, as alterações de UCT nos brejos paraibanos e a importância climática, hidrológica e biológica dos mesmos, urge a necessidade de resposta para as seguintes questões: 1) o clima regional dos brejos de altitude da Paraíba está sofrendo mudanças nos últimos 40 anos (variável resposta)? 2) As alterações da temperatura da superfície do mar (TSM) e as mudanças na cobertura florestal (variáveis preditoras) explicam essas mudanças nos padrões dos elementos do clima nos Brejos?

METODOLOGIA

Área de Estudo

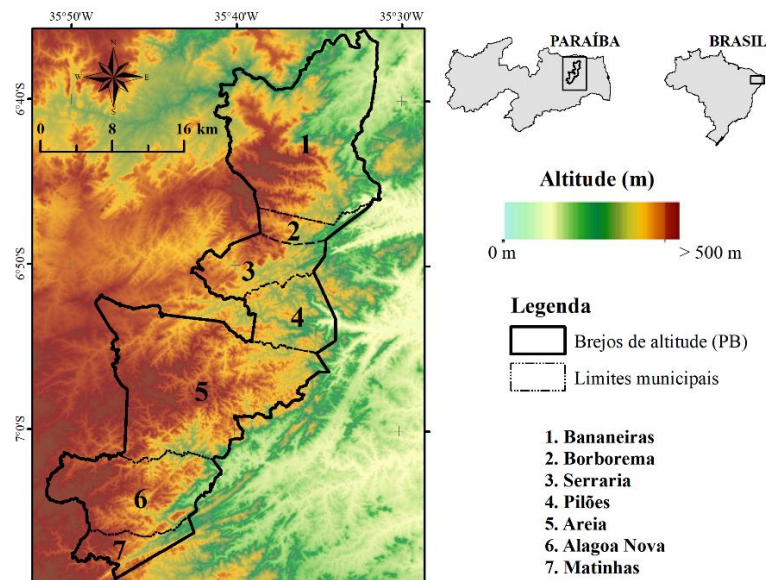
De acordo com os limites geopolíticos publicados pelo IBGE (2021), a Microrregião do Brejo Paraibano localiza-se na Mesorregião do Agreste Paraibano e é constituída por oito

municípios: Alagoa Grande, Alagoa Nova, Areia, Bananeiras, Borborema, Matinhas, Pilões e Serraria, totalizando uma área de 1.162 km². No entanto, se formos considerar os brejos de altitude paraibanos quanto às suas características fitofisiográficas e fitoclimatológicas, devemos considerá-los como encaves de Mata Atlântica que formam ilhas de floresta úmida em plena região semiárida cercadas por vegetação de caatinga, com condições climáticas bastante atípicas com relação à umidade (mais elevada), temperatura (médias anuais menores) e vegetação (floresta ombrófila aberta) (Pôrto et al., 2004). Dessa forma, de todos os municípios citados acima e incluídos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) como Brejos Paraibanos, Alagoa Grande, com altitudes médias de apenas 189 m, é o único que não se inclui nestas características e, por isso, foi excluído de nossas análises (Figura 1).

Quando comparadas às regiões semiáridas do entorno, os brejos possuem condições privilegiadas de umidade e temperatura: os brejos em estudo situam-se sobre o planalto da Borborema com altitude média de 600 m, garantindo precipitação orográfica com níveis superiores a 1.200 mm/ano, em uma região onde a precipitação média anual varia entre 240 - 900 mm (Lins, 1989; De Freitas et al., 2019). Estas condições tornam os brejos "ilhas" de floresta úmida cercadas por vegetação de caatinga (Andrade-Lima, 1982).

Em termos populacionais os municípios reúnem 116.122 habitantes (de acordo com a população estimada em 2018 pelo IBGE) e uma densidade populacional média (2010) de 117,1 hab./km². A população ocupada (2016) é em média de 6,9% e o percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até ½ salário-mínimo (2010) é superior a 50% em todos os municípios. Em todos os municípios, as atividades com maior valor adicionado bruto são a administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, exceto o município de Alagoa Nova que é a agricultura, inclusive apoio à agricultura e a pós-colheita.

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: O autor, 2021.

Dados Climatológicos e Meteorológicos

Os dados climatológicos e meteorológicos da área de estudo foram obtidos a partir do Projeto da NASA POWER (NASA Prediction of Worldwide Energy Resources), do Centro de Pesquisa Langley da NASA, financiado pelo Programa de Ciências Aplicadas da Diretoria de Ciências da Terra (Sparks, 2018). De acordo com o projeto, esses produtos, baseados em dados de satélites e modelos, demonstraram ser suficientemente precisos para fornecer dados

confiáveis dos recursos solares e meteorológicos em regiões onde as medições de superfície são escassas ou inexistentes. Os parâmetros meteorológicos foram derivados do modelo de assimilação NASA GMAO MERRA-2 e do GEOS 5.12.4 FP-IT. MERRA-2 é uma versão do Sistema de Assimilação de Dados Goddard Earth Observing System (GEOS) da NASA (Bosilovich, M. G., et al 2016). Monteiro et al. (2017) testaram a robustez dos dados da NASA/POWER por comparação com dados de estações meteorológicas brasileiras do INMET, entre 1997 e 2016, e obtiveram resultados estatísticos satisfatórios ($R^2 = 0,73$ – temperatura média do ar). A resolução do grid dos dados meteorológicos é de $0,5^\circ \times 0,625^\circ$ latitude/longitude (55,55 km x 69,44 km). Tendo em consideração tal resolução foi possível obter dados de duas quadrículas na área de estudo.

Para o período entre 01 de janeiro de 1981 e 31 de dezembro de 2020 foram analisados os seguintes parâmetros:

1. Temperatura do ar a 2 metros (T2M): temperatura média anual do ar (bulbo seco a 2 metros acima da superfície da terra.
2. Quantidade de nuvens (QUANT_NUV): Porcentagem média da quantidade de nuvens durante o ano.
3. Índice de claridade (IND_CL): Representa a claridade da atmosfera. A insolação média anual, em céu claro, que é transmitida através da atmosfera até a superfície da terra dividida pela média da radiação solar total incidente no topo da atmosfera.
4. Umidade específica a 2 metros (UE): média anual da razão entre a massa de vapor de água e a massa total de ar a 2 metros (kg água/kg ar total)
5. Umidade relativa a 2 metros (UR): média anual da razão entre a pressão parcial real do vapor de água e a pressão parcial na saturação, expressa em porcentagem.
6. Precipitação total anual (PRECTOTAL): soma da precipitação diária ao longo de um ano.
7. Números de dias com chuva (DIAS_CHUVA) – soma anual dos dias de chuva (precipitação superior a 1 mm), dos dias de chuva moderada (mais de 10 mm de chuva) e dos dias com chuvas “fortes” (dias com mais de 20 mm de chuva). De acordo com a OMM (Organização Mundial de Meteorologia, 2008) e com Moreira (2002) que adotou critérios de classificação da intensidade da chuva acumulada em 24 horas, chuvas superiores a 20 mm por dia inclui chuvas fortes a muito fortes. Sendo eventos superiores a 50 mm considerados “extremamente fortes”. Desses os dados apontam para apenas 3 eventos, um em 2004 e os outros dois em 2018.
8. Intensidade pluviométrica (INT_PLUV): calculada dividindo a precipitação média anual pelo número de dias com chuva, sendo considerados dias de chuva quando o registro for superior a 0,1 mm como apresentado por Nandargi e Mulye (2012).

O motivo por que se optou por extrair os dados climatológicos e meteorológicos da NASA POWER e não da rede de estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) ou da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba) foi a maior disponibilidade de parâmetros para análise e o maior intervalo temporal de dados fornecidos.

Com o intuito de entender as mudanças nos elementos do clima coletados e acima descritas para os Brejos da Paraíba (variáveis resposta), testaram-se algumas variáveis preditoras locais – cobertura florestal, e preditora global – temperatura da superfície do mar. Para tal, as variáveis resposta foram filtradas de forma a eliminar variáveis correlacionadas. Eliminaram-se as variáveis com mais de 75% de correlação, ponto de corte também utilizado por Rissler e Apodaca (2007), e que apresentavam maior número de correlação com outras variáveis.

Dados de cobertura florestal

Extraiu-se, a partir da Coleção 6 do Mapbiomas, 36 anos (1985 a 2020) de mapas anuais de uso e cobertura da terra da Paraíba com resolução de 30 m (Souza et al., 2020). O download dos raster foi realizado a partir do Google Earth Engine. Após recorte para os limites da área de estudo extraiu-se a classe “Formação florestal”, um tipo de vegetação densa com predomínio de dossel contínuo.

Dados da temperatura da superfície do mar (TSM)

Os dados da temperatura da superfície do mar foram obtidos do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service (NWS) e Climate Prediction Center (CPC). A partir dos dados mensais de temperatura calcularam-se as médias anuais entre os anos de 1982 e 2020 (Anexo A).

Os dados da temperatura do oceano Pacífico foram obtidos das regiões Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W), Niño 3 (5N-5S, 150W-90W), Niño 3.4 (5N-5S, 170W-120W), sendo esta a região mais utilizada para monitorar os eventos de El Niño e La Niña, e Niño 4 (5N-5S, 160E-150W). Os dados da temperatura da superfície do oceano Atlântico foram obtidos do Atlântico Norte (5-20N, 60-30W), Atlântico Sul (0-20S, 30W-10E). Ainda se utilizaram as temperaturas do Trópicos Global (10S-10N, 0-360).

Tratamento estatístico

Com intuito de entender que elementos estão causando alterações dos elementos climáticos nos Brejos Paraibanos (variáveis preditoras), realizou-se um Modelo Aditivo Generalizado (MAG) considerado uma alternativa para a modelagem de relações não lineares não específicas e uma boa opção para representar a dinâmica das variáveis meteorológicas (Conceição et al., 2001).

As variáveis também foram sujeitas a uma análise de *Random Forest* (RF), um método robusto de aprendizado de máquina utilizado para problemas que envolvam classificação ou regressão. Métodos de conjunto como a *Random Forest* usam vários algoritmos de aprendizagem para obter desempenhos preditivos melhores dos que poderiam ser obtidos de qualquer um dos algoritmos de aprendizagem constituintes (Breiman, 2001).

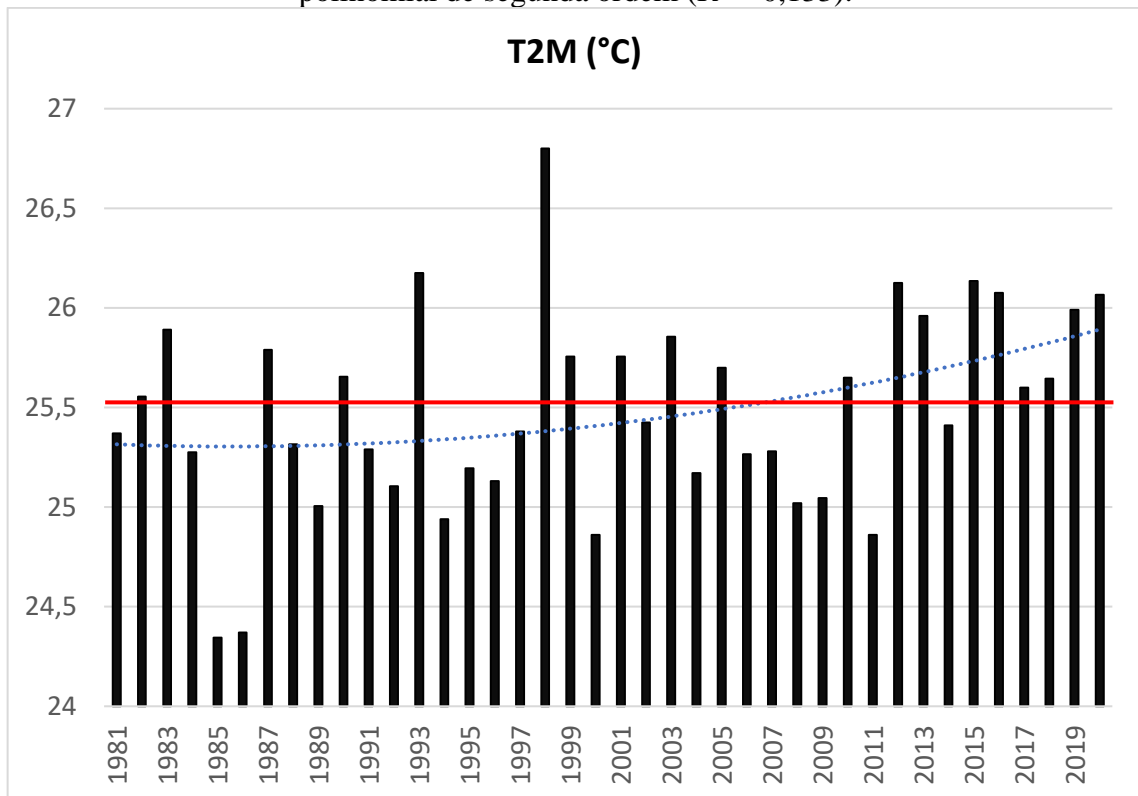
Volume dos açudes na região dos Brejos de Altitude da Paraíba

As informações de volume de açudes foram obtidas da AESA. Os açudes observados foram: Lagoa do Matias, Canafístula II, Pirpirituba, Saulo Maia, Pitombeira, Vaca Brava e Nova Camará, todos inseridos na área de estudo no intervalo de anos disponível que variou entre os açudes.

RESULTADOS

Analisando a série de 40 anos de dados de temperatura do ar a 2 metros (T2M) podemos notar um suave aumento das temperaturas, especialmente nos últimos 20 anos, de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$. Se considerarmos a climatologia da NASA POWER, 7 anos estiveram acima da média climatológica até o ano 2000 e nos 20 anos seguintes 12 anos estiveram acima da média.

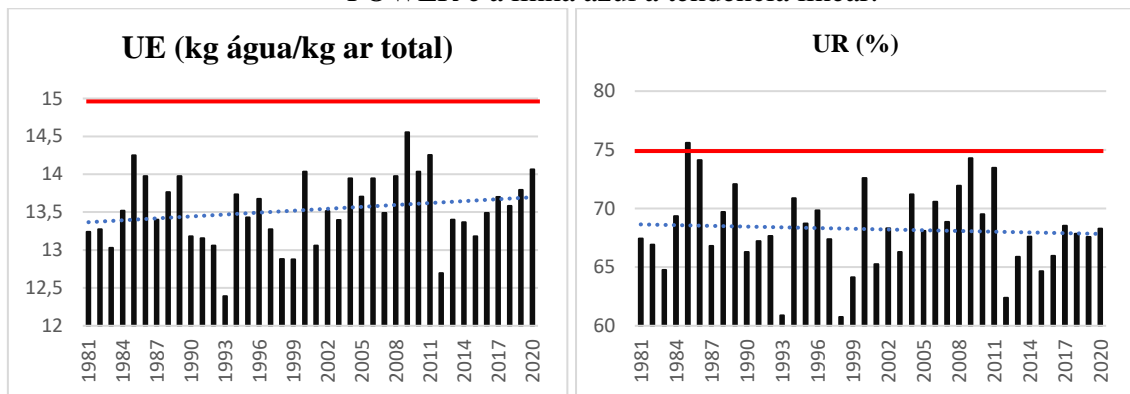
Figura 2. Temperatura do ar a 2 m (média anual) entre 1981 e 2020 na área de estudo. A linha vermelha representa a climatologia segundo a NASA POWER e a linha azul a tendência polinomial de segunda ordem ($R^2 = 0,133$).



Fonte: O autor, 2021.

Em relação ao elemento umidade, ao longo dos 40 anos de análise, observa-se um ligeiro aumento da umidade específica e uma diminuição da umidade relativa na região dos brejos paraibanos (Figura 3).

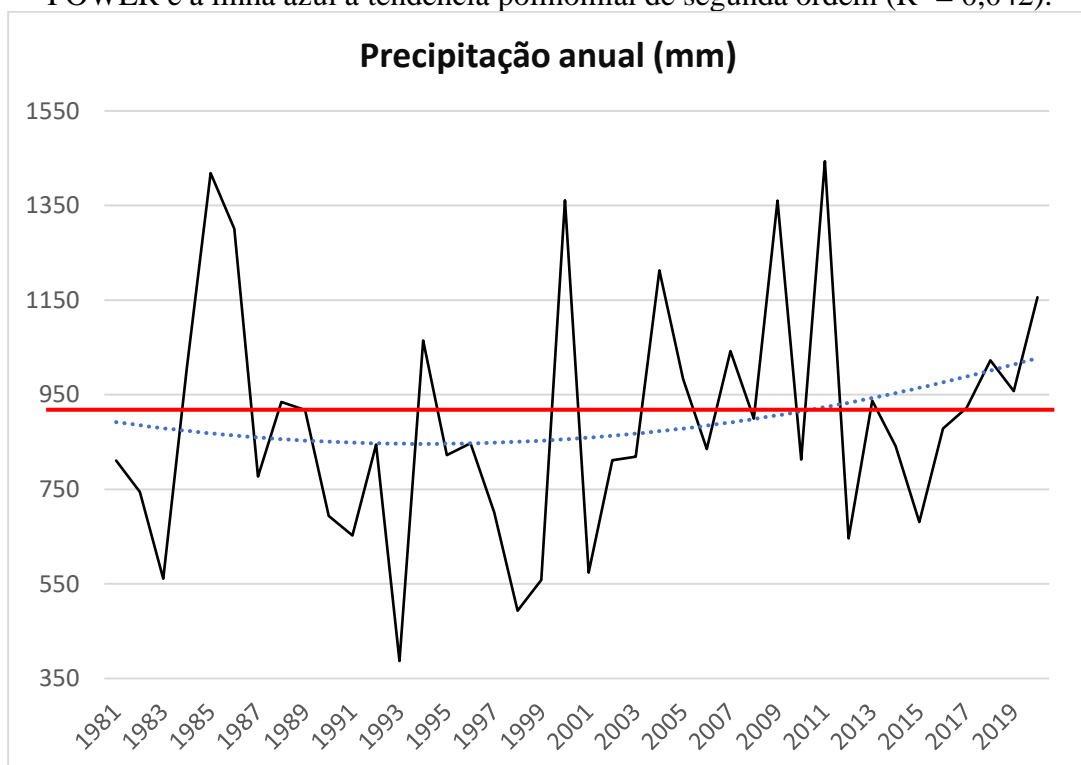
Figura 3. Média anual, à esquerda da umidade específica e à direita da umidade relativa entre 1981 e 2020 na área de estudo. A linha vermelha representa a climatologia segundo a NASA POWER e a linha azul a tendência linear.



Fonte: O autor, 2021.

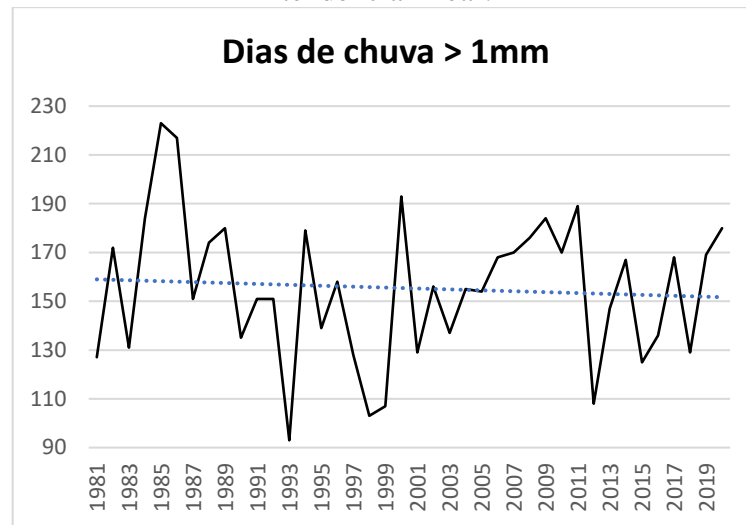
As Figuras 4, 5 e 6 mostram uma modificação no regime das precipitações nos brejos paraibanos em termos de: 1) total anual, que diminuiu ligeiramente entre 1981 e 2000, voltando a subir até 2020, para valores superiores em termos médios às duas décadas anteriores; 2) o número de anos acima das normais climatológicas foi superior entre 2000 e 2020 (3 anos entre 1981-2000 e 7 anos entre 2000-2020); 3) diminuição do número de dias de chuva por ano e considerável aumento dos dias com chuvas “moderadas” e “fortes” – dias com mais de 10 e 20 mm de chuva. Portanto, em termos gerais, sobre os brejos paraibanos verifica-se um ligeiro aumento do total de chuva ocorrendo em um menor número de dias. Esse comportamento pode ser também observado na Figura 7 onde se nota o aumento da intensidade das chuvas.

Figura 4. Precipitação anual (mm) entre 1981 e 2020 na área de estudo. Calculada a partir da soma das precipitações diárias. A linha vermelha representa a climatologia segundo a NASA POWER e a linha azul a tendência polinomial de segunda ordem ($R^2 = 0,042$).



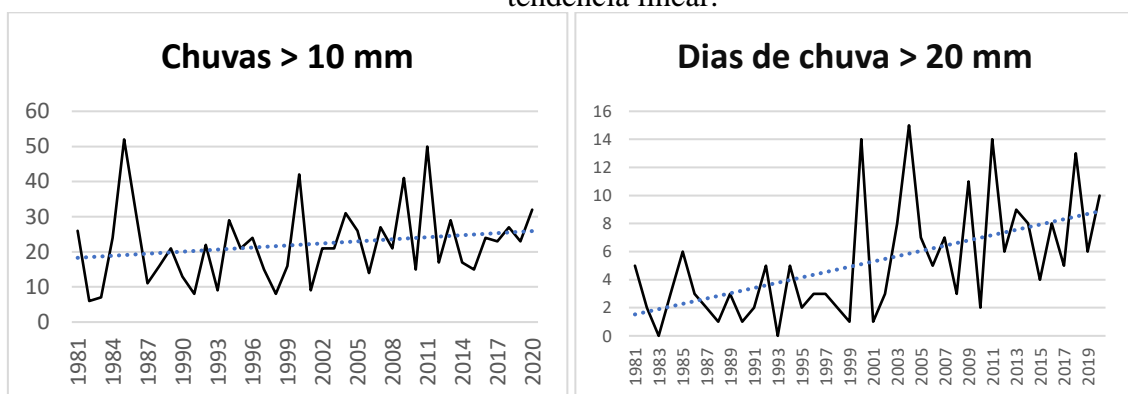
Fonte: O autor, 2021.

Figura 5. Quantidade de dias com chuvas superiores a 1 mm. A linha azul representa a tendência linear.



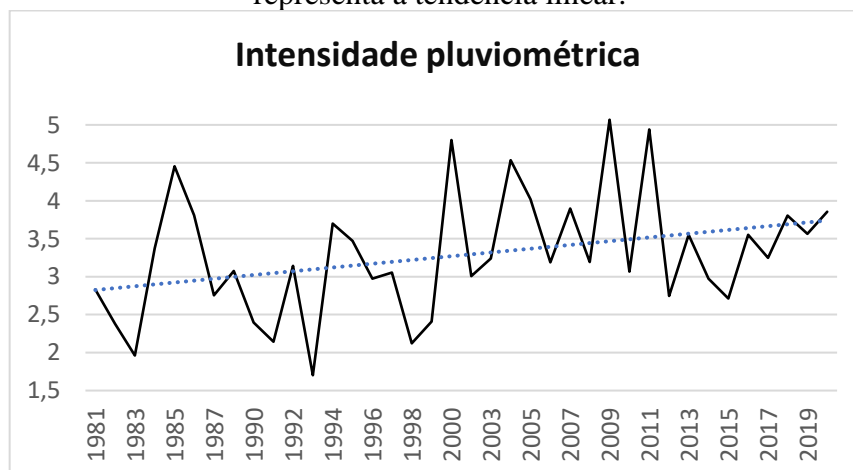
Fonte: O autor, 2021.

Figura 6. Quantidade de dias de chuvas superiores a 10 e 20 mm. A linha azul representa a tendência linear.



Fonte: O autor, 2021.

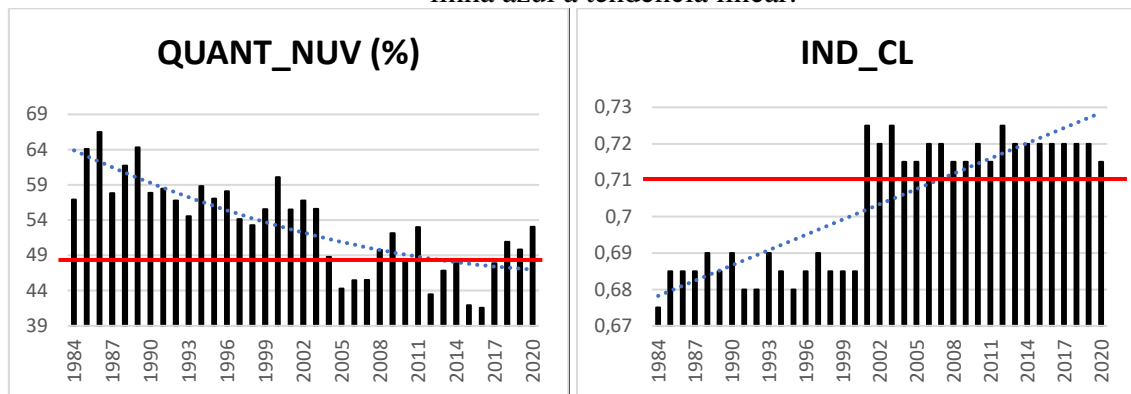
Figura 7. Intensidade pluviométrica anual (1981-2020) na área de estudo. A linha azul representa a tendência linear.



Fonte: O autor, 2021.

Tanto a cobertura média por nuvens que diminuiu bastante, principalmente a partir de 2004, como o índice de claridade que aumentou consideravelmente, especialmente desde o ano de 2001, indicam que a insolação nos brejos de altitude tem vindo a aumentar, submetendo a superfície a uma maior incidência de radiação solar (Figura 8).

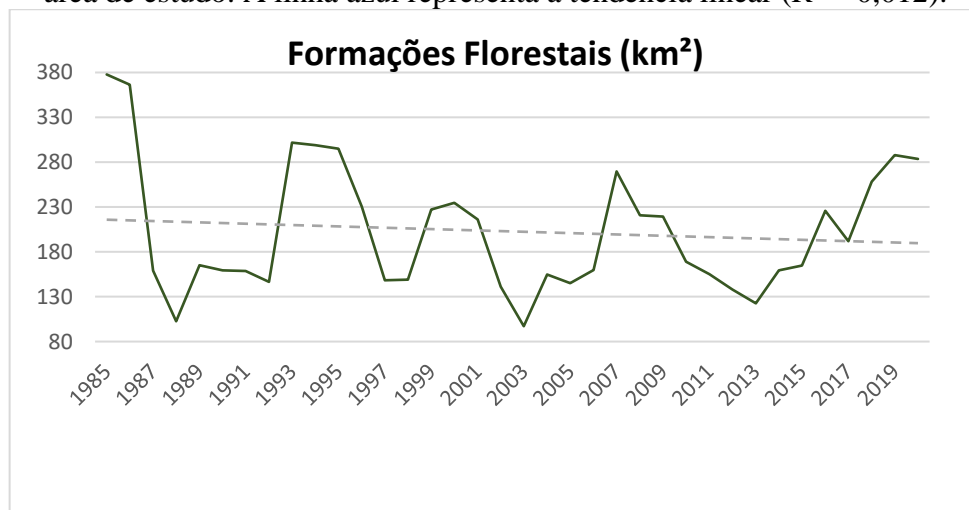
Figura 8. Cobertura média por nuvens (%) à esquerda e índice de claridade entre 1981 e 2020 na área de estudo. A linha vermelha representa a climatologia segundo a NASA POWER e a linha azul a tendência linear.



Fonte: O autor, 2021.

Em relação as modificações da formação florestal entre 1985 e 2020 percebe-se uma oscilação grande entre os anos e uma ligeira tendência para redução (Figura 9).

Figura 9. Total de área de ocupação de Formação Florestal entre os anos de 1985 e 2020 na área de estudo. A linha azul representa a tendência linear ($R^2 = 0,012$).



Fonte: O autor, 2021.

Após eliminação das variáveis resposta com mais de 75% de correlação permaneceram: T2M, QUANT_NUV e DIAS>10MM (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz de correlação entre as variáveis resposta.

	T2M	UE	UR	QUANT NUV	IND CL	PREC TOTAL	DIAS >1MM	DIAS >10MM
T2M	1,00							
UE	-0,62	1,00						
UR	-0,89	0,91	1,00					
QUANT_NUV	-0,54	0,15	0,37	1,00				
IND_CL	0,33	0,14	-0,10	-0,75	1,00			
PRECTOTAL	-0,68	0,86	0,86	0,18	0,07	1,00		
DIAS>1MM	-0,78	0,87	0,92	0,36	-0,06	0,84	1,00	
DIAS>10MM	-0,59	0,72	0,73	0,14	0,06	0,93	0,69	1,00

Fonte: O autor, 2022.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do MAG aplicado e observa-se que a temperatura da superfície do mar na faixa tropical é que obteve correlação mais elevada com a cobertura por nuvens ($P < 0,001$; $R^2=0,603$), seguido da temperatura do Oceano Atlântico Norte ($P < 0,001$; $R^2=0,562$). As temperaturas do Oceano Pacífico nas regiões do NINO3 e NINO4 também se correlacionaram de forma significativa com a cobertura por nuvens. Em todos os casos, quando as TSM aumentam, a cobertura por nuvens diminui (Anexo A). Em relação à temperatura do ar, a TSM na faixa tropical foi quem obteve maior correlação com a temperatura do ar na região dos Brejos ($P < 0,001$; $R^2=0,374$), seguido da TSM do Atlântico Norte ($P < 0,01$; $R^2=0,271$). As TSM do Oceano Pacífico e a área de Formação Florestal também obtiveram correlações significativas. Ainda, observa-se uma relação positiva - quando aumentam as temperaturas da TSM também aumentam as temperaturas do ar, no entanto, no caso de floresta, a relação é negativa – quando aumenta a área de Floresta, diminuem as temperaturas do ar (Anexo A). Por fim, o número de dias de chuva moderada apresentou correlação significativa com a área de floresta e TSM na região INO1+2 e NINO3.

Tabela 2 – Valor-P, R-quadrado ajustado (R^2 Ajustado) e Desvio explicado (Desv.expl) do Modelo Aditivo Generalizado. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$. Regiões do Pacífico (INO1+2, NINO3, NINO4, NO3_4). Atlântico Norte (NATL). Atlântico Sul (SATL). Faixa Tropical (TROP).

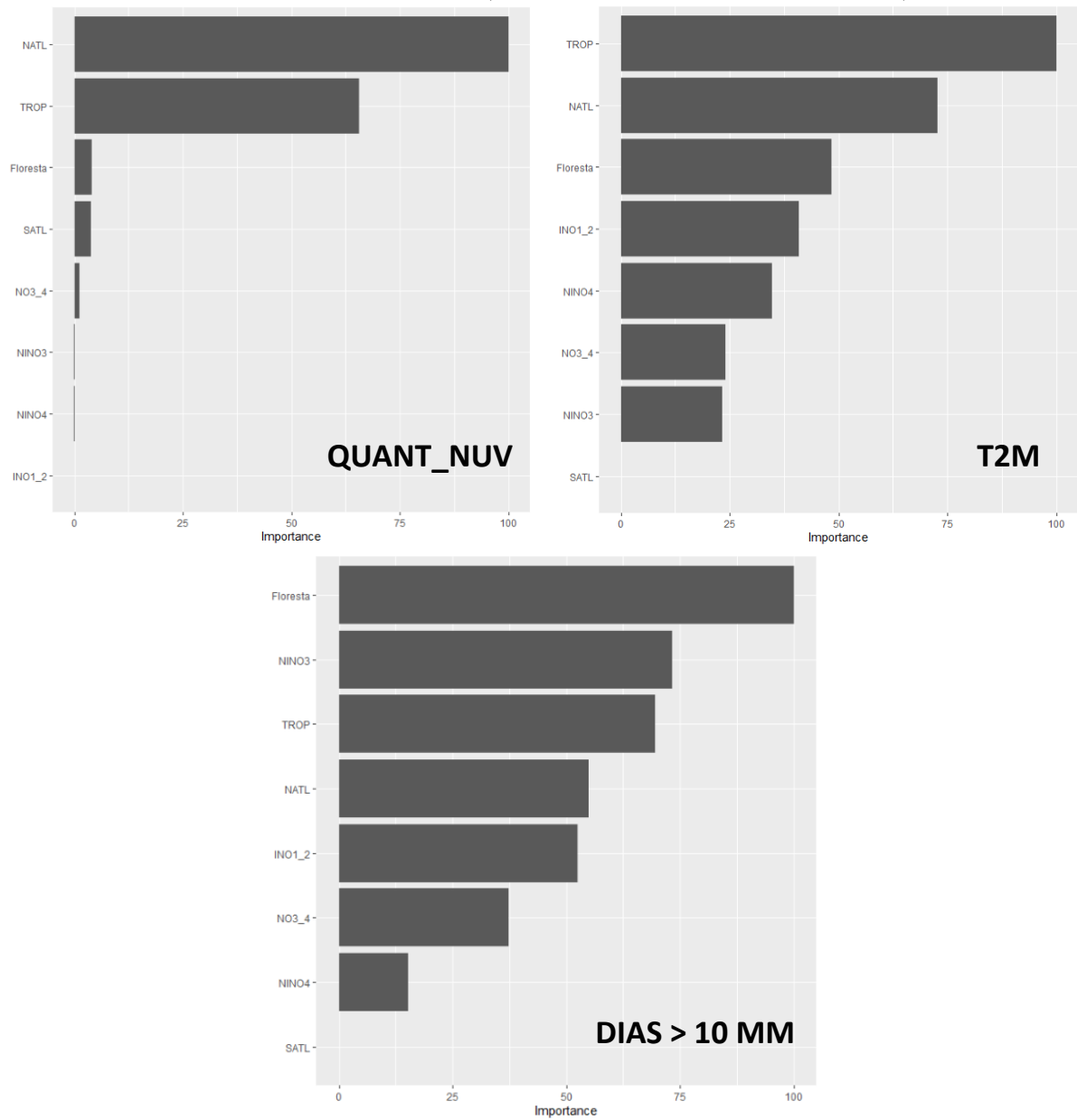
	QUANT_NUV			T2M			Dias>10mm		
	valor-P	R ² Ajustado	Dev expl	valor-P	R ²	Dev expl	valor-P	R ²	Dev expl
INO1+2	0.0968	0.102	13.9%	0.0426 *	0.286	41.5%	0.0224 *	0.119	14.4%
NINO3	0.0335 *	0.144	17.7%	0.0169 *	0.132	15.7%	0.0243 *	0.115	14.1%
NINO4	0.0148 *	0.138	16.2%	0.072	0.0654	9.21%	0.181	0.0242	5.21%
NO3_4	0.0863	0.175	24.8%	0.0949	0.217	32.7%	0.149	0.203	33%
NATL	7.33e-07 ***	0.562	58.2%	0.0048 **	0.271	31%	0.285	0.0907	16.5%
SATL	0.0837	0.0792	11%	0.118	0.0428	7.02%	0.49	0.0149	1.41%
TROP	9.16e-06 ***	0.603	65.6%	4.47e-05 ***	0.374	39.2%	0.231	0.0778	12.8%
FLORESTA	0.052	0.171	22%	0.049 *	0.205	27.2%	0.0263 *	0.129	15.7%

Fonte: O autor, 2022.

Na Figura 10 são demonstrados os resultados do *Random Forest*. Observa-se que a cobertura por nuvens é principalmente influenciada pela TSM do Atlântico Norte e da faixa tropical. O mesmo se observa para a temperatura do ar, mas neste também tem peso a cobertura por floresta. A cobertura por floresta apresentou-se de maior influência na quantidade de dias

de chuva moderada, seguido da TSM na faixa tropical, no Atlântico Norte e em várias zonas do Pacífico (NINO3 E INO1+2).

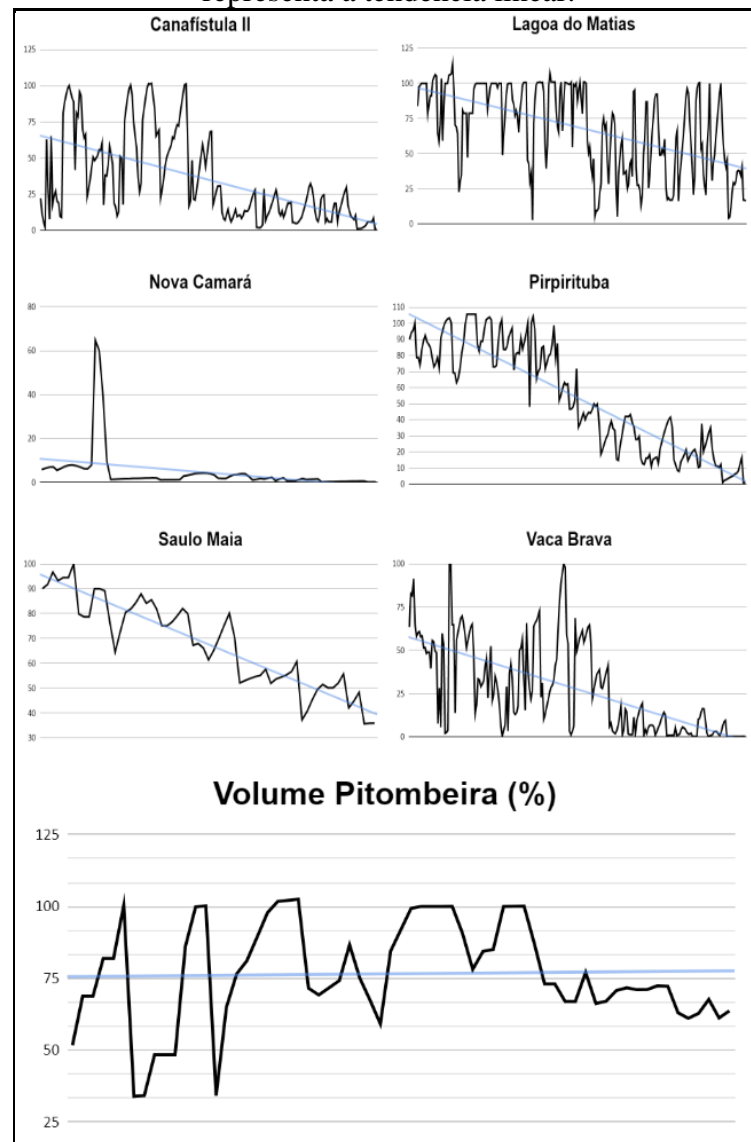
Figura 10. Resultados da análise Random Forest para as variáveis resposta em estudo: quantidade de nuvens (QUANT_NUV), temperatura do ar a 2 metros (T2M) e número de eventos de chuva moderada (dias com mais de 10 mm de chuvas).



Fonte: O autor, 2022.

A Figura 11 representa os volumes decrescente de todos os açudes inseridos nos brejos de altitude paraibano, exceto do Pitombeira que mantém volume próximo à média. A linha azul representa a tendência linear.

Figura 11. Dados dos volumes decrescentes de todos os açudes inseridos nos brejos de altitude paraibanos, exceto do Pitombeira que mantém volume próximo à média. A linha azul representa a tendência linear.



Fonte: O autor, 2022.

DISCUSSÃO

Uma análise generalista do comportamento das variáveis climáticas nos últimos 40 anos nos brejos de altitude paraibanos nos permite dizer que as temperaturas do ar aumentaram ligeiramente, cerca de $0,5^{\circ}\text{C}$, a umidade específica aumentou levemente e a umidade relativa diminuiu. Observa-se uma tendência de aumento da precipitação anual, mas um decrescente número de dias de chuva. Além disso, o número de eventos de chuva fortes aumentou consideravelmente. Por outras palavras, chove mais em menos dias, refletido no aumento da intensidade das chuvas. Por fim, a cobertura por nuvens, em termos de média anual diminuiu o que se reflete num maior índice de claridade.

Um aumento da temperatura do ar provoca aumento da precipitação, principalmente das chuvas convectivas, bem conhecidas por serem de pouca duração e de maior intensidade (Varejão-Silva, 2006; Vianello e Alves, 2000). Isso ocorre porque o aumento das temperaturas

dilata o ar, aumentando a sua capacidade em conter umidade e assim a umidade específica. Como aumenta a capacidade de ar em conter umidade, a pressão de saturação também aumenta, causando uma diminuição da umidade relativa. Toda essa umidade, proveniente dos processos de evapotranspiração, sobe até a alta troposfera onde vai condensar e precipitar em um movimento convectivo resultando chuvas curtas e de forte intensidade. Chuvas mais concentradas resultam em um maior número de dias claros e sem nuvens em termos anuais.

Situações semelhantes estão sendo reportadas por vários pesquisadores nas mais diversas áreas do globo afetadas pelo aumento das temperaturas médias anuais, como o caso do Sahel, uma faixa de 5.400 km de extensão entre o deserto do Saara e a savana do Sudão (Panthou et al., 2018).

Em relação à variação das áreas de cobertura florestal, produto do MapBiomas, nota-se uma variação drástica de áreas de floresta entre anos consecutivos. Tal fenômeno não poderia ser fruto de ações antrópicas em tão curto intervalo de tempo. Dessa forma, suspeita-se que muita da variação observada na cobertura florestal seja na verdade um problema metodológico do MapBiomas na obtenção das classificações que são dependentes da reflectância das bandas, principalmente do visível e do infravermelho próximo, dos sensores da série Landsat. Assim, as variações interanuais de cobertura florestal podem ser na realidade reflexo das mudanças de umidade e quantidade de folhas entre anos consecutivos que é espelhado nas reflectâncias. Muitos mapeamentos de UCT disponíveis gratuitamente, foram obtidos a partir de dados de sensoriamento remoto de imagens de satélite sobre os quais são realizados índices de vegetação e classificações supervisionadas com base em medidas de reflectância da superfície que, por sua vez, podem refletir o conteúdo de umidade, um elemento variável. Muito cuidado é necessário na hora de tirar conclusões sobre as variações do UCT obtidas por esses métodos, pois podem ser reflexo da reflectância e não de ação antrópica.

De acordo com o registrado nas últimas décadas (IBGE, 2021) e com a experiência de campo, seria de esperar um aumento das formações naturais nas áreas de brejos, uma vez que muitos pastos foram abandonados nas últimas décadas sendo substituídas por vegetação secundária. Plantações de cana eram frequentes na região dos brejos, mas foram abandonadas ou substituídas por plantação de banana. Então, seria de esperar um aumento progressivo da vegetação florestal, mas, como referido, problemas metodológicos no mapeamento do MapBiomas, podem estar mostrando variações anuais em resposta a diferenças interanuais dos regimes de precipitação. Tornando-se a cobertura florestal mais uma variável resposta do que uma variável preditora como pretendido no início deste trabalho.

Tanto a cobertura por nuvens como as temperaturas do ar responderam significativamente a TSM da faixa tropical e a TSM do Atlântico Norte o que nos faz ver a seguinte linha de causa-efeito: o aumento das temperaturas da superfície do mar, especialmente da faixa tropical e do Atlântico Norte afetam as massas de ar acima deles determinando alterações no padrão de pressão atmosférica e uma menor nebulosidade nos brejos, possivelmente por um impedimento na incursão anual de convecções tropicais, como a ZCIT, até as latitudes dos Brejos. Uma menor nebulosidade, significa uma maior quantidade de radiação solar média anual e, portanto, afetando as temperaturas nos Brejos, provocando seu aumento nas últimas décadas; esse aumento levaria ao aumento da umidade específica, formação de nuvens convectivas mais frequentes e aumento de chuvas curtas e intensas.

Diversas são as pesquisas que estudam a influência das TSM sobre os movimentos de massas de ar e sobre os elementos do clima, principalmente como drivers das anomalias da temperatura do ar e do regime de precipitação. Galbraith et al. (2012) observaram uma correlação forte entre as TSM e as anomalias das temperaturas do ar no Golfo St. Lawrence (Canadá) capturando uma variância de 90%. Marques et al. (2005) verificaram associação entre a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), no Estado do Rio Grande do Sul, a qual é dependente da época do ano e da região do Estado.

Lu (2005) observaram a influência das TSMA sobre as temperaturas globais do ar, explicando 35% das mesmas e 57% das anomalias de temperaturas observadas do ano atípico de 1998. Alguns trabalhos utilizam a correlação entre as TSM com a precipitação e a produtividade da vegetação para simular cenários de mudanças na TSM e como isso afetaria a dinâmica da vegetação (Pereira et al., 2017).

A intensificação das chuvas e aumento de eventos extremos (dias que chove mais de 50 mm) é fenômeno que está sendo acompanhado por grande parte das regiões semiáridas e áridas do globo (IPCC, 2021). Então, em alguns casos, até tem aumento da precipitação anual total, mas toda essa chuva é mais concentrada. Isso provoca problemas vários em várias esferas: 1) eventos extremos, principalmente em cidades impermeabilizadas, provocam enchentes e danos a população; 2) chuva muito intensa pode dificultar a infiltração no solo e abastecimento das águas subterrâneas; 3) aumenta a vulnerabilidade à perda de solo, especialmente em locais com baixa cobertura vegetal e elevada declividade.

A cobertura florestal mostrou ter impacto nas respostas da temperatura do ar e no número de eventos de chuva moderada. Apesar de apresentar um R^2 baixo, observa-se que as florestas explicam cerca de 27% e 15% do desvio dos dados de temperatura e de eventos moderados de chuva, respectivamente. Quando aumenta a área de floresta diminuem as temperaturas, resposta esperada visto que as florestas são reconhecidas amenizadoras do clima (Grimmond et al., 2000; Renaud et al., 2011; von Arx et al., 2012). No entanto, como falado acima, a variável preditora floresta apresentou variação interanual suspeita, comportando-se como uma variável resposta. Portanto, em trabalho futuro, pretende-se utilizar variáveis locais predictoras mais robustas e representativas reais das mudanças no uso da terra, como por exemplo, a nova abordagem automatizada para classificação globalmente consistente, de alta resolução e quase em tempo real da UCT, de Brown et al. (2022) que aproveitam o aprendizado profundo em imagens do Sentinel-2 de 10 m.

Os brejos são particularmente vulneráveis à perda dos recursos hídricos devido ao seu uso desordenado impulsionado pela intensa urbanização. As nascentes da bacia estão ameaçadas por empreendimentos urbanos e agrícolas que comprometem tanto a quantidade quanto a qualidade da água, com impacto direto sobre a vida cotidiana dos habitantes da região. Além disso, alguns municípios da microrregião, como o de Areia, estão garantindo o abastecimento de água para dezenas de municípios paraibanos. Por exemplo, a cidade de Areia garante o fornecimento de água para as cidades vizinhas através de mais de três centenas de caminhões pipas que atravessam diariamente a cidade para extrair água de seus açudes, principalmente o Saulo Maia, bem como de várias fontes dispersas pelo município. Para além do ônus à estrutura da cidade, os danos ambientais também são importantes (Machado et al., 2018).

Aparentemente um contrassenso é o fato de, apesar de estar chovendo mais, o volume dos açudes nos brejos tem diminuído de forma preocupante. Ainda mais contrassenso é observar que a população total da área tem diminuído, segundo os dados do IBGE, nos municípios de Areia, Pilões, Serraria e Bananeiras. No entanto, se atrelarmos esta informação ao mapeamento do MapBiomas, podemos observar que as manchas urbanas aumentaram consideravelmente, o que nos leva a concluir que muita da população que vem abandonando os municípios (muito provavelmente devido ao fechamento de usinas de cana entre outros) eram de zonas rurais. Sendo que alguns devem ter mudado para a cidade aumentando a demanda por água. Os açudes analisados abastecem essencialmente a população urbana crescente. Então, a diminuição do volume dos açudes possivelmente não se deve às mudanças no regime de precipitação, mas sim a um aumento do consumo urbano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande volume e a alta capacidade térmica da água fazem dos mares os maiores reguladores do sistema climático global. Neste trabalho, foi bem visível a importância que eles têm, especialmente os da zona tropical e o Atlântico Norte para a cobertura por nuvens e para as temperaturas médias anuais que, por sua vez, afetam a quantidade e intensidade das chuvas nos brejos Paraibanos e seus recursos hídricos.

Políticas públicas e planejamentos de curto e médio prazo devem ser postos em prática para proteger os recursos hídricos das populações dos brejos e dos arredores que incorporam a mesma bacia hidrográfica. A curto prazo, o aumento da capacidade de captação das chuvas, construindo mais barragens para atender a população urbana crescente e a médio prazo conservação das áreas de proteção permanente em torno das nascentes, da mata ciliar em torno dos açudes para proteção contra evaporação em face a uma diminuição da cobertura por nuvens e, portanto, maior exposição à radiação solar. Por fim, a restauração da cobertura florestal de forma a proporcionar os serviços ecossistêmicos que ela nos proporciona, sendo a sustentabilidade dos recursos hídricos um deles.

REFERÊNCIAS

- Abram, N., Gattuso, J.-P., Prakash, A., Cheng, L., Chidichimo, M. P., Crate, S., et al. (2019). “Framing and context of the report,” in *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Chapter 1*, 73–129. Available online at: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-1-framing-and-context-of-the-report/>
- AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Volume dos açudes**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/>>. Acesso em: 1 de dez. 2021.
- Andrade-Lima, D. 1982. Present-day forest refuges in Northeastern Brazil. Pp. 245-251, in: Prance, G.T. (ed.) *Biological diversification in the tropics*. Columbia University Press, New York.
- Böhm, R. et al. The early instrumental Warm-Bias: a solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change* 101, 41–67 (2010).
- Bosilovich, M. G., F. R. Robertson, L. Takacs, A. Molod, and D. Mocko, 2016. Atmospheric Water Balance and Variability in the MERRA-2 Reanalysis. *J. Clim. - Special MERRA-2 Collection*, doi: [10.1175/jcli-d-16-0338.1](https://doi.org/10.1175/jcli-d-16-0338.1).
- Brasil Neto, Reginaldo Moura et al. Evaluation of the TRMM product for monitoring drought over Paraíba State, northeastern Brazil: a trend analysis. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-18, 2021.
- Breiman, L. Random forests. *Machine Learning*, Boca Raton, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- Brown C. et al. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data*, v.9, 2022.
- Cai, W., and P. H. Whetton (2001), Modes of SST variability and the fluctuation of global mean temperature, *Clim. Dyn.*, **17**, 889– 901.
- Campos, Alcinei Ribeiro et al. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 15-21, 2017.

Conceição, G.M.S.; Saldiva, P.H.N.; Singer, J.M. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.4, n.3, p.206-219, 2001.

CPC – Climate Prediction Center. Disponível em: <<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>>. Acesso em: 1 de jul. 2022.

De Freitas, Marco Antonio et al. Herpetofauna of five "Brejos de Altitude" of the interior of the state of Pernambuco, Northeastern Brazil. **Herpetology Notes**, v. 12, p. 591-602, 2019.

De Oliveira, Priscilla Teles; SILVA, Cláudio Moisés Santos e; LIMA, Kellen Carla. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 15, n. 3, p. 172-177, 2014.

Dettinger M, Battisti D, McCabe G, Bitz C, Garreaud R (2001) Interhemispheric effects of interannual and decadal ENSO-like climate variations on the Americas. Interhemispheric climate linkages: Present and Past Climates in the Americas and their Societal Effects pp 1–16, url <http://www.atmos.washington.edu/%7B%7Ddavid/pep1.pdf>

Galbraith, P.S.; Larouche, P.; Chassé, J.; Petrie, B. Sea-surface temperature in relation to air temperature in the Gulf of St. Lawrence: Interdecadal variability and long term trends. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v.77-80, p.10-20, 2012.

Grimmond, C.S.B., Robeson, S.M., Schoof, J.T., 2000. Spatial variability of micro-climatic conditions within a mid-latitude deciduous forest. *Climate Res.* 15 (2),137–149.

Hansen, J., Ruedy, M. Sato, K. Lo. Global surface temperature change. *Rev. Geophys.* v.48, RG4004, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 de dez. 2021.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., et al. (2018). Global carbon budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 2141–2194. doi: 10.5194/essd-10-2141-2018

Lins, R.C. (Coord.). 1989. As áreas de exceção do agreste de Pernambuco. Sudene, Recife.

Lu, R. Impact of Atlantic sea surface temperatures on the warmest global surface air temperature of 1998. *Climate and Dynamics*, v.110, 2005.

Luiz-Silva, Wanderson et al. An overview of precipitation climatology in Brazil: space-time variability of frequency and intensity associated with atmospheric systems. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 2, p. 289-308, 2021.

Machado, C.C.C.; Andrade, L.A.; Pereira, F.R.M. Caracterização Hidrológica e Morfométrica das Microbacias dos Rios Mamanguape e Araçagi inseridas no município de Areia-PB. Produto II. Projeto Diagnóstico Geoambiental integrado do Município de Areia, Paraíba, como subsídio para o planejamento e gestão ambiental. 2018.

Marengo JA, Liebmann B, Grimm AM, Misra V, Dias PLS, Cavalcanti IFA, Carvalho LMV, Berbery EH, Ambrizzi T, Vera CS, Saulo AC, Noguez-paegle J, Zipser E, Seth A, Alves LM (2012) Recent developments on the South American monsoon system. *Int J Climatol* 32(1):1–21. doi:10.1002/joc.2254

Marques, J.R.; Fontana, D.; Mello, R.W. Correlation study between sea surface temperature in the Atlantic and Pacific oceans and NDVI in the state of Rio Grande do Sul – Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 9, p.520-526, 2005.

Monteiro, L.A.; Sentelhas, P.C. Pedra, G.U. Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impacts on sugarcane yield simulation. **International Journal of Climatology**. <https://doi.org/10.1002/joc.5282>. 2017.

Moreira, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em belo horizonte e seu entorno**. 2002. 107f. Dissertação (mestrado em geografia)- universidade federal de minas gerais, belo horizonte, 2002.

Müller, G.V. e Ambrizzi, T. (2007). Teleconnection Patterns and Rossby Wave Propagation Associated to Generalized Frosts over Southern South America. *Clim.Dyn.*, 29, No. 6, 633-645.

Nandargi, S.; Mulye, S.S. Relationships between rainy days, mean daily intensity and seasonal rainfall over Koyna Catchment during 1961-2005. *The Scientific World Journal*, v.2012, 1-10, 2012, doi:10.1100/2012/894313.

Organização Meteorológica Mundial (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation - (WMO-No. 8) (PDF) (em inglês)*. Genebra, Suíça: Organização Meteorológica Mundial. p. I.14–9. ISBN 978-92-63-10008-5. Consultado em 08 de março de 2022.

P. Tans, R. Keeling, Trends in Atmospheric CO₂ at Mauna Loa, Hawaii (Earth System Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration and Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA, 2013); www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/.

Panthou, G.; Lebel, T.; Vischel, T.; Quantin, G.; Sane, Y.; Ba, A.; Ndiaye, O.; Diongue-Niang, A.; Diopkane, M. Rainfall intensification in tropical semi-arid regions: the Sahelian case. *Environmental research letters*, v.13, n.6, 2018.

Pereira, M.P.S.; Costa, M.H.; Justino, F.; Malhado, C.M. Response of South American Terrestrial Ecosystems to Future Patterns of Sea Surface Temperature. *Advances in Meteorology*, v.2017, 2017.

Pôrto, Kátia C.; CABRAL, Jaime JP; TABARELLI, Marcelo. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. **História natural, ecologia e conservação**. Ministério do Meio Ambiente e Universidade Federal do Pernambuco, Brasília, 2004.

- Renaud, V., Innes, J.L., Dobbertin, M., Rebetez, M., 2011. Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998–2007). *Theor. Appl. Climatol.* 105, 119–127
- Rhein, M., Rintoul, S. R., Aoki, S., Campos, E., Chambers, D., Feely, R. A., et al. (2013). “Observations: ocean,” in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds T. Stocker, D. P. G. -K. Qin, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. Midgley (Cambridge: Cambridge University Press), 255–316.
- Rissler, L.J.; Apodaca, J.J. Adding more ecology into species delimitation: ecological niche models and phylogeography help define cryptic species in the Black Salamander (*Aneides flavipunctatus*). *Systematic Biology*, v.56, p.924-942, 2007.
- Rodrigues, Daniele T. et al. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. ***International Journal of Climatology***, v. 40, n. 12, p. 5098-5113, 2020.
- Rodrigues, Regina R. et al. The impacts of inter-El Niño variability on the tropical Atlantic and Northeast Brazil climate. ***Journal of Climate***, v. 24, n. 13, p. 3402-3422, 2011.
- Rohde, R. et al. A new estimate of the average Earth Surface Land Temperature Spanning. *Geoinfor Geostat. An Overview*, v.1, 2013.
- Ronchail J, Cochonneau G, Molinier M, Guyot JL, De Miranda Chaves AG, Guimarães V, De Oliveira E (2002) Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *Int J Climatol* 22(13):1663–1686. doi:10.1002/joc.815
- Sales, M.F.; Mayo, S.J.; Rodal, M.J.N. **Florestas serranas de Pernambuco: Um checklist das plantas vasculares dos brejos de altitude**. Imprensa Universitária, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.
- Silva, M. C.; Silvino, G. S.; Silva, M. C.. Da abundância hídrica a escassez de água residencial: as particularidades hidroterritoriais no. *Revista Desenvolvimento Social*, v.19, n.3, p.21-36, 2019.
- Silva, M.E.S.; Silva, C.B. Variabilidade Climática – processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, v. Especial 30 anos, p.372-406, 2012.
- Souza et al. (2020) - **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine** - *Remote Sensing*, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735
- Sparks AH (2018). “nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R.” *The Journal of Open Source Software*, 3(30), 1035. doi: 10.21105/joss.
- Trenberth, K. E., J. M. Caron, D. P. Stepaniak, and S. Worley (2002), Evolution of El Niño-Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, **107**(D8), 4065, doi:[10.1029/2000JD000298](https://doi.org/10.1029/2000JD000298).
- Varejão-Silva, M.A. *Meteorologia e Climatologia*. Versão digital 2. Recife. 2006. 449p.
- Vianello, R.L.; Alves, A.R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 2000. 449p.

Villamayor, J.; Ambrizzi, T.; Mohino, E. Influence of decadal sea surface temperature variability on northern Brazil rainfall in CMIP5 simulations. *Clim. Dyn.*, 2017. DOI 10.1007/s00382-017-3941-1

von Arx, G.; Dobbertin, M.; Rebetez, M. Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 166-167, p. 144-155, 2012.

Wheeler, T.; von Braun, J. Climate change impacts on Global Food Security. *Science*, v341, 508-513, 2013.

ANEXO A – GRÁFICO DO GAM

