Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM UMARIZAL-RN: ANÁLISE ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS

Climate Change in Umarizal-RN: Current Analysis and Future Projections

Cambio Climático en Umarizal-RN: Análisis Actual y Proyecciones Futuras

Fernando Henrique Paiva de Oliveira
Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)
fernando20251001017@alu.uern.br

Jacimária Fonseca de Medeiros
Departamento de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)
jacimariamedeiros@uern.br

Resumo: A pesquisa aborda a temática das mudanças climáticas e seus efeitos no município de Umarizal, Rio Grande do Norte, que apresenta potencial vulnerabilidade climática por estar inserido no contexto regional do Semiárido. O estudo teve como objetivo analisar as tendências das projeções climáticas para o município, com foco nos padrões de precipitação e temperatura nos períodos atual e futuro. Inicialmente, foi construída a base de dados do perfil climático atual de Umarizal, utilizando informações históricas de 1973 a 2002, obtidas por meio da EMAPARN e do Estima_T. Em seguida, foram elaboradas projeções para o período de 2010 a 2099, com o uso do modelo regional ETA e dos experimentos climáticos HadGEM2-ES, MIROC5, CanESM2 e BESM, todos sob o cenário RCP 4.5. Os resultados revelaram uma realidade preocupante para o município, com significativa redução na precipitação pluviométrica total e aumento na temperatura média ao longo do tempo. Os padrões observados indicam impactos relevantes, como o aumento na duração dos períodos de estiagem, o que reforça a urgência de políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas. O estudo fornece dados relevantes, contribuindo para a conscientização da sociedade acerca da problemática climática e da necessidade de adoção de práticas sustentáveis.

Palavras-chave: Emergências climáticas. Projeções climáticas. Vulnerabilidade. Mitigação.

Abstract: This research addresses the theme of climate change and its effects on the municipality of Umarizal, located in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. The region shows potential vulnerability to climate change due to its location in the Brazilian Semi-arid region. The study aimed to analyze the trends of climate projections for Umarizal, focusing on precipitation and temperature patterns in both current and future periods. Initially, a database of the current climatic profile of the municipality was developed using historical data from 1973 to 2002, sourced from EMAPARN and Estima_T. Subsequently, projections were generated for the period from 2010 to 2099 using the regional ETA model and the climate experiments HadGEM2-ES, MIROC5, CanESM2, and BESM, all under the RCP 4.5 scenario. The results revealed a concerning outlook for the municipality, with a significant decrease in total rainfall and an increase in average temperature over time. The observed patterns indicate relevant impacts, such as a longer duration of drought periods, highlighting the need for public policies focused on climate mitigation and adaptation. This study provides relevant data to raise awareness in society about the climate crisis and the urgent need to adopt sustainable practices.
Keywords: Climate Emergencies. Climate projections. Vulnerability. Mitigation.

Resumen: Esta investigación aborda la temática del cambio climático y sus efectos en el municipio de Umarizal, ubicado en el estado de Rio Grande do Norte, Brasil. La región presenta una potencial vulnerabilidad climática debido a su localización en el Semiárido brasileño. El objetivo del estudio fue analizar las tendencias de las proyecciones climáticas para Umarizal, enfocándose en los patrones de precipitación y temperatura en los períodos actual y futuro. Inicialmente, se elaboró una base de datos del perfil climático actual del municipio, utilizando datos históricos del período de 1973 a 2002, obtenidos a partir de EMAPARN y Estima_T. Posteriormente, se realizaron proyecciones para el período de 2010 a 2099, mediante el uso del modelo regional ETA y los experimentos climáticos HadGEM2-ES, MIROC5, CanESM2 y BESM, todos bajo el escenario RCP 4.5. Los resultados revelaron un panorama preocupante para el municipio, con una disminución significativa en la precipitación total y un aumento en la temperatura media a lo largo del tiempo. Los patrones observados indican impactos relevantes, como el aumento en la duración de los períodos de sequía, lo que refuerza la necesidad de políticas públicas orientadas a la mitigación y adaptación climática. El estudio aporta datos relevantes que contribuyen a la concienciación de la sociedad sobre la crisis climática y la urgencia de adoptar prácticas sostenibles.
Palabras clave: Emergencias Climáticas. Proyecciones climáticas. Vulnerabilidad. Mitigación.

Submetido em: 27/01/2025
Aceito para publicação em: 05/12/2025
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

A climatologia geográfica surge como uma área da Geografia Física, e destina seus estudos ao clima terrestre, bem como as mudanças ao longo do tempo. Conforme Barros e Zavattini (2016), a climatologia geográfica tem como foco compreender suas interações com outros componentes da paisagem natural como as relações entre clima, relevo, vegetação, corpos d'água e demais elementos do meio físico, reconhecendo a dinâmica espacial e os impactos socioambientais dessas interações.

Quando a temática é diretamente referente à climatologia, é válido ressaltar que a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2015) destaca a importância de estudar o clima em períodos mínimos de 30 anos, para obter uma compreensão sólida das variações e tendências climáticas. Esse período, conhecido como "normal climatológica", é crucial para identificar padrões de longo prazo, diferenciar variações naturais de mudanças provocadas pelo homem e elaborar previsões e modelos climáticos precisos.

Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Desde então o programa foi responsável por anualmente emitir relatórios acerca das mudanças climáticas, bem como as preocupações provocadas por conta da problemática. Em todos os relatórios é um consenso que um dos principais fatores que vem provocando essas mudanças climáticas ao longo das décadas é a intensa emissão de gases na atmosfera por meio da crescente industrialização.

Conforme os fatos supracitados, o estudo das mudanças climáticas tem se tornado uma temática cada vez mais recorrente, sendo amplamente fundamentado em anos de observação e análise. Com base nisso, uma constante preocupação surge em relação às futuras condições climáticas às quais uma determinada região estará sujeita, enaltecendo-se a importância de trabalhos com abordagens sobre as projeções climáticas, as quais possibilitam analisar as mudanças nos padrões climáticos tanto atuais quanto futuros.

Sobre a problemática das mudanças climáticas, há muitos anos já vem se notando um crescente aumento na temperatura global. O IPCC (2022) destacou que a temperatura média mundial já aumentou cerca de 1 °C, tomando como referência o período pré-industrial (1850 - 1900), e alertou que esse número pode dobrar até 2100. Resultado semelhante é

apresentado na pesquisa de Artaxo (2014), sobre mudanças climáticas com destaque para o Brasil, no qual, afirma-se que entre os anos de 1850 a 2010 ocorreu um aumento médio de 1° C na temperatura mundial. O quadro apresentado se complexifica ainda mais para o Brasil, que teve um aumento de 1,5° C, acarretando, com isso, maiores efeitos ambientais, sobretudo com a constante emissão de CO_2 (dióxido de carbono) na atmosfera.

Diante desse cenário, compreender a temática das mudanças climáticas torna-se imprescindível, pesquisadores como Marengo *et al.* (2011) que já desenvolveram suas pesquisas acerca dessa problemática, concluíram que as alterações do clima estão acontecendo e as consequências podem ser irreparáveis em inúmeros aspectos, desde ambientais até sociais. Sendo assim, subentende-se que estudar s potenciais mudanças será fundamental, suprindo a carência de informações em determinados estudos de caso.

Um fator fundamental a ser considerado nas discussões sobre as mudanças climáticas é a vulnerabilidade das regiões afetadas. No Brasil, destaca-se o Semiárido Nordestino como uma das áreas mais suscetíveis aos efeitos dessas mudanças. De acordo com o IPCC (2007), essa região tende a enfrentar, nas próximas décadas, maiores períodos de estiagem, elevação das temperaturas médias e intensificação do processo de desertificação. Essa perspectiva é reforçada por estudos como os de Lima (2011) e Lindoso (2010), que apontam o Semiárido como uma das primeiras regiões a manifestar os efeitos das alterações climáticas.

Como consequência, Beck (2010) aponta riscos contemporâneos e perigos produzidos pelo próprio desenvolvimento técnico e econômico tornando-se muitas vezes invisíveis, e que afeta de forma desigual as populações. Nesse sentido, entende-se que os impactos das mudanças climáticas ultrapassam as esferas ecológicas, atingindo diretamente o campo social e afetando, de maneira mais intensa, comunidades marcadas por fragilidades socioeconômicas, que se encontram em maior vulnerabilidade diante desses riscos.

Marengo (2014), em seu trabalho, intitulado "O Futuro Clima do Brasil" destaca a vulnerabilidade do país às mudanças climáticas e ressalta que o primeiro passo para mitigar esses efeitos, consiste na coleta de dados e no desenvolvimento de estudos sobre o tema. Além disso, Marengo (2007) ainda enfatiza a relevância das projeções climáticas para todo o território brasileiro como medida para reconhecer as possíveis alterações futuras.

Diante disso, a proposta de pesquisar as tendências dos padrões climáticos futuros é fundamental, partindo do ponto de que essas informações serão cruciais para avaliar as reais

condições climáticas e os seus desdobramentos na vida do planeta. Adicionalmente, esse tipo de pesquisa se apresenta como um desafio, pois quando se trata de projeções climáticas os resultados só poderão ser realmente comprovados a longo prazo.

Portanto, sabendo da importância da temática, e com o interesse de se basear nas próximas tendências climáticas, a presente pesquisa irá se desenvolver com foco na aplicação de diferentes modelos climáticos e experimentos, evidenciando principalmente as médias de temperatura e precipitação, a fim de estabelecer um padrão a ser discutido como resultado, assim como foi feito na pesquisa de Almagro e Oliveira (2019), porém, agora na escala local do município de Umarizal-RN, localizada no Oeste Potiguar.

A partir desse entendimento, uma pergunta que se faz necessária diante dessa temática é: o município de Umarizal-RN apresentará vulnerabilidades ocasionadas pelas mudanças climáticas? Assim, o trabalho se desenvolve com a hipótese de que, através dos resultados climáticos projetados, espera-se evidenciar que Umarizal-RN exibirá potenciais riscos devido às alterações nos padrões climáticos, potencializadas pelo contexto climático no qual está inserido, destacando a necessidade de medidas de adaptação.

Partindo dessa indagação, a presente pesquisa tem como objetivo geral: analisar as tendências das projeções climáticas para o município de Umarizal-RN com foco nos padrões de precipitação pluviométrica e temperatura para os períodos atuais e futuros.

Pesquisadores como Marengo e Valverde (2007), preveem, para o Nordeste, uma tendência de redução das precipitações pluviométricas acompanhada de um aumento significativo das temperaturas até o final do século XXI. Neste cenário, torna-se imprescindível ressaltar a crescente preocupação com as mudanças climáticas no contexto específico de suposta susceptibilidade e vulnerabilidade do município de Umarizal-RN. Compreender os resultados derivados de diferentes experimentos e modelos de projeções climáticas assume uma relevância incontestável, pois fornece dados atualizados e prospectivos essenciais para a orientação de políticas públicas e o planejamento ambiental.

Ademais, trabalhar com projeções climáticas é essencial pois contribui com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de número 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), uma vez que essas projeções permitem antecipar os impactos das mudanças climáticas, planejar ações estratégicas de mitigação e adaptação dos impactos adversos esperados.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

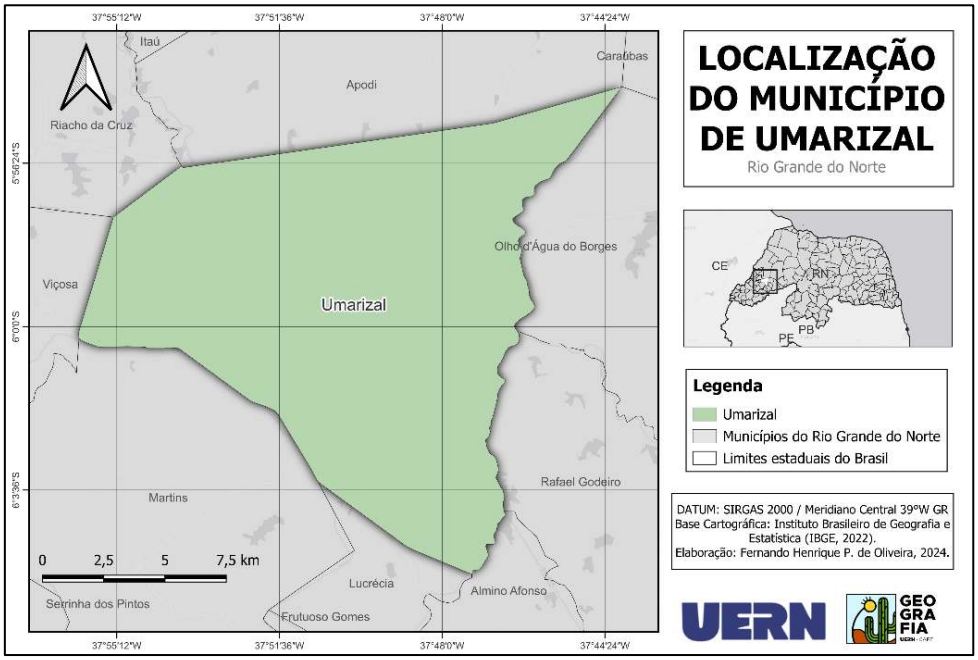
O município de Umarizal-RN, situado no estado do Rio Grande do Norte, insere-se na Região Geográfica Intermediária de Mossoró e na Região Geográfica Imediata de Pau dos Ferros (IBGE, 2017).

De acordo com os dados mais recentes do censo populacional, conduzido pelo IBGE (2022), o território municipal abrange uma área de 213,6 km². Em termos populacionais, Umarizal contava com uma população total de 10.079 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de aproximadamente 47,19 habitantes por km².

O município encontra-se a cerca de 350 km da capital do estado, Natal-RN. O mapa do município evidencia suas fronteiras com outros 9 municípios vizinhos, sendo eles: Apodi-RN, Caraúbas-RN, Olho d'Água do Borges-RN, Rafael Godeiro-RN, Almino Afonso-RN, Lucrécia-RN, Martins-RN, Viçosa-RN e Riacho da Cruz-RN, (Figura 1).

Além disso, o município, conforme a CPRM (2010), está inserido geologicamente na província Borborema, mais especificamente, grande parte do seu território abrange áreas dos Granitóides Brasilianos, enquanto situa-se a leste da Zona de Cisalhamento de Portalegre e a oeste do domínio Rio Piranha Seridó.

Figura 1 - Localização do município de Umarizal-RN



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

2.2. Procedimentos Metodológicos

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e analítica, tendo uma abordagem qualiquantitativa, sob o método de pesquisa hipotético-dedutivo. No que diz respeito às técnicas de pesquisa utilizadas, destacam-se a análise estatística e a revisão bibliográfica. Desse modo, considerando que as projeções climáticas atuais e futuras são objeto de estudo de caso, a pesquisa admitiu o recorte temporal nas projeções climáticas, de 2010 a 2099, abrangendo variáveis como temperatura e precipitação pluviométrica.

As informações foram elaboradas e adquiridas na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE (2020), disponível em: http://pclima.inpe.br/analise/. A plataforma permite a combinação de diferentes dados, tais como: Modelos climáticos, Experimentos, Cenários, Variáveis climáticas, Índices climáticos e Frequência dos dados, além da seleção da área de interesse. Conforme selecionados, os gráficos podem ser gerados em uma série histórica que parte de 1961 e pode ir até a projeção dos resultados de 2099.

Em relação às etapas do desenvolvimento da pesquisa, foi estruturada em quatro principais momentos. O primeiro momento refere-se ao embasamento teórico acerca das temáticas da pesquisa, bem como da área de estudo. Em seguida, foi desenvolvida a caracterização climática do município com o suporte do gráfico de precipitação, temperatura e tipologia climática de 1973 a 2002 (30 anos) para o município de Umarizal-RN. As fontes de dados foram a plataforma *Estima_T* e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), utilizando uma metodologia semelhante à empregada por Medeiros (2016) que utilizou as mesmas fontes de dados. Essa etapa foi responsável por fornecer dados históricos do perfil climático do município estudado, a fim de estabelecer um padrão analisado como base.

O terceiro momento da pesquisa refere-se à coleta de dados e elaboração das projeções climáticas. Os dados foram adquiridos através da seleção dos conjuntos de dados da plataforma do INPE. As projeções utilizadas para esta pesquisa estão submetidas às seguintes configurações: Modelo regional: ETA; Experimento: HADGEM-ES - Reino Unido, MIROC5 - Japão, BESM - Brasil e CANESM2 - Canadá; Cenário: RCP 4.5; Variável: temperatura média e precipitação total; Frequência: anual, ao longo de 90 anos (2010 a 2099).

A condição variável de cenário utilizada foi o RCP 4.5, que de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), representa um cenário intermediário de emissão de gases, enquanto o RCP 8.5 trabalha na perspectiva de um cenário mais pessimista (alto nível de emissão).

Após a concretização dos dados desenvolvidos para o município de Umarizal-RN, no terceiro momento, foi iniciada a quarta e última etapa do trabalho de pesquisa, que constitui na discussão dos resultados obtidos a partir da análise entre o perfil climático histórico (1973 a 2002) e o perfil climático projetado (2010 a 2099).

A análise comparativa entre a série histórica observada e as projeções dos diferentes experimentos será conduzida com base na metodologia proposta por Joia (2016), que avalia os critérios de similaridade entre as tendências dos gráficos. Esta etapa da pesquisa tem como objetivo identificar as tendências das mudanças climáticas, abrindo discussões sobre potenciais riscos para a área de estudo.

O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para avaliar a consistência das tendências lineares, sendo que valores próximos de 1 indicam maior ajuste dos dados e valores próximos de 0 indicam tendências pouco representativas.

Além disso, é necessário ressaltar que, ao realizar pesquisas baseadas em projeções climáticas, devem-se considerar suas limitações metodológicas, especialmente no que se refere às incertezas e imprecisões inerentes aos modelos utilizados. Conforme destacado por Guimarães *et al.* (2016), essas projeções estão sujeitas a variáveis de difícil controle, como os cenários futuros incertos e lacunas na base de dados, o que pode comprometer a precisão dos resultados. Por esse motivo, os resultados precisam ser interpretados com cuidado, já que são simulações que buscam estimar cenários futuros.

Ainda assim, existem estratégias que contribuem para suprir essas limitações. Uma delas é a utilização de dados históricos observados na área de estudo, como realizado nesta pesquisa com base nos dados do período de 1973 a 2002, o que permite estabelecer uma base de comparação realista com os dados projetados. Além disso, a adoção de múltiplos experimentos climáticos, como os quatro utilizados neste estudo que aborda quatro diferentes experimentos, permite uma análise mais robusta, ao possibilitar a comparação entre os resultados e a identificação de convergências ou divergências. A partir dessa abordagem, torna-se viável discutir os resultados de forma mais confiável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

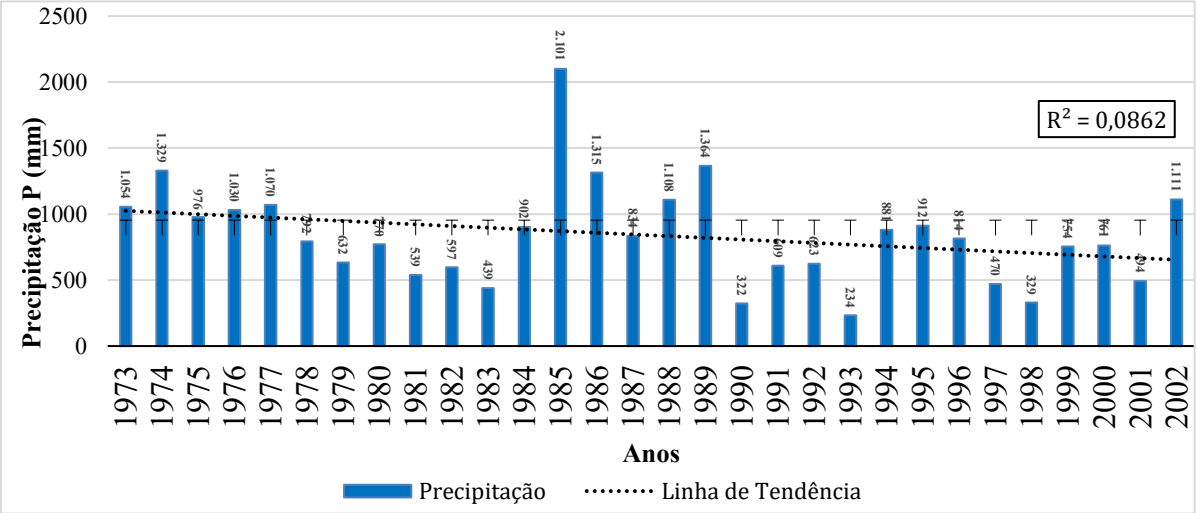
A análise dos gráficos das projeções climáticas, elaboradas sob a métrica de diferentes experimentos para 90 anos, está sendo dividida e apresentada em três períodos: 2010-2039 (próximo), 2040-2069 (intermediário) e 2070-2099 (distante) conforme o INPE (2020), promovendo resultados para o entendimento da característica do perfil climático futuro do município de Umarizal-RN.

Os gráficos apresentados entre as Figuras 2 e 11, destacam as tendências dos experimentos, permitindo uma análise comparativa das projeções climáticas. Quando essas tendências se mostram similares nas modificações e caminhos seguidos, a credibilidade dos resultados é ampliada, oferecendo uma base sólida para entender as possíveis alterações futuras.

Conforme pode ser observado na Figura 2, responsável por fornecer as bases de dados históricos, referentes à precipitação do município de Umarizal-RN, ao longo de 30 anos, mais especificamente entre os anos de 1973 a 2002, os registros totais da precipitação se apresentaram de forma variável, com a presença de alguns eventos extremos, como é o caso do ano de 1985 e 1993, que registraram acumulados de precipitação de 2101 mm e 233,8 mm, respectivamente, destacando uma enorme oscilação em um curto intervalo de anos.

Contudo, de maneira geral, após identificar a média de precipitação para esse recorte temporal foi observado que os valores mais recorrentes ficam em torno de 830 mm anual, um pouco acima das médias de precipitação estabelecida para o Semiárido (inferior a 800 mm), de acordo com Moura, Sobrinho e Silva (2019). Ademais, a linha de tendência ajuda a observar o declínio que esses valores vêm tendo à medida que o tempo passa, indicando uma redução gradual nas quantidades de chuva.

Figura 2 - Precipitação de Umarizal-RN para o período de 1973 - 2002

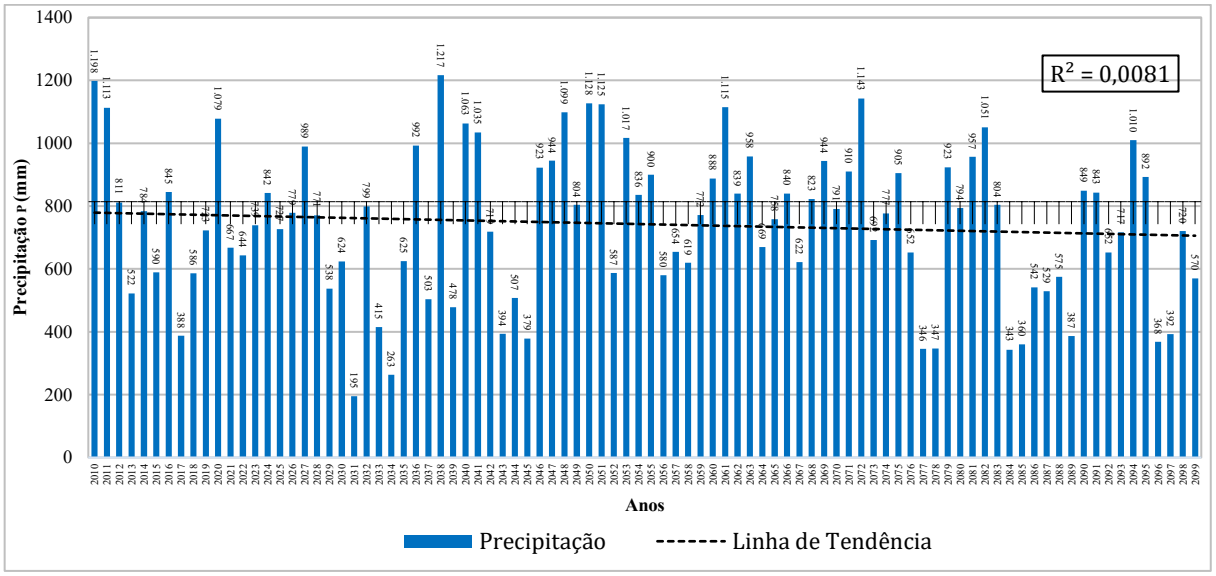


Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados da EMPAERN (2024)

Dando início à análise das figuras de projeções climáticas, a Figura 3, traz informações referentes à precipitação de 2010 a 2099 sob o experimento HadGEM2-ES, dessa forma é revelado uma continuidade da tendência de declínio em relação ao desvio padrão observada no Figura 2 (dados históricos), a tendência temporal novamente apresenta um declínio conforme segue para os últimos anos do recorte temporal da pesquisa. Além disso, também se observa um aumento nos períodos de estiagem nos períodos finais da série projetada, como pode ser exemplificado nos pares de anos de 2077 e 2078, 2084 e 2085, 2096 e 2097, de modo que todos eles apresentaram acúmulos anuais abaixo de 400 mm. Em consonância com os resultados apresentados na projeção, Angelotti, Sá e Melo (2009) também reforçam a maior ocorrência de períodos de estiagens como reflexo das mudanças climáticas no Semiárido Brasileiro.

De acordo com a métrica seguida para esse experimento, é proposto que as oscilações nos valores de precipitação serão frequentes, principalmente à medida que passa o tempo, com os registros de baixas nas precipitações mais recorrentes nas projeções para períodos distantes, fazendo com que a linha de tendência se apresenta em queda durante a Figura 3.

Figura 3 - Projeções de precipitação de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (HadGEM2-ES)



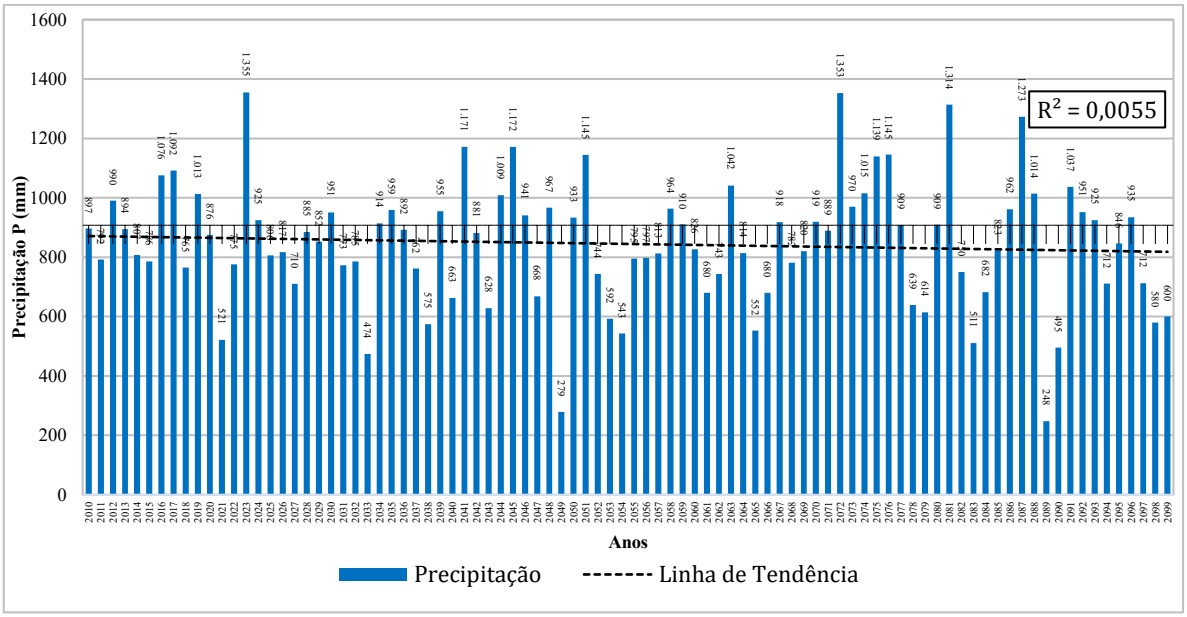
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

A análise da Figura 4, tocante às projeções pluviométricas do município de Umarizal-RN segundo o experimento MIROC5, estabelece uma similaridade com a Figura 3, tendo em vista que novamente a linha de tendência é revelada em declínio entre os anos de 2010 a 2099.

A ocorrência de anos com menos precipitações também é consideravelmente presente, e torna-se mais recorrente na última parcela de anos (projeções distantes) da Figura 4, como em 2087 e 2089 que com a diferença de apenas dois anos, apresentam discrepância nos valores, no qual o primeiro propõe um acúmulo de 1272,66 mm enquanto o segundo de apenas 247,6 mm.

O experimento MIROC5 indica a projeção de diminuição nos índices de precipitações no município de Umarizal-RN, porém a diminuição acompanhada de nítidas variações, tendo alguns anos excepcionalmente chuvosos e poucos anos seguintes, registros consideravelmente menores nos índices de precipitação, semelhante ao estudo de Black, Galatto e Sousa (2024), que prescreve a irregularidade de chuvas no Brasil ao longo dos anos, e pesquisa sobre o agravamento da insegurança hídrica no país.

Figura 4 - Projeções de precipitação de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (MIROC5)



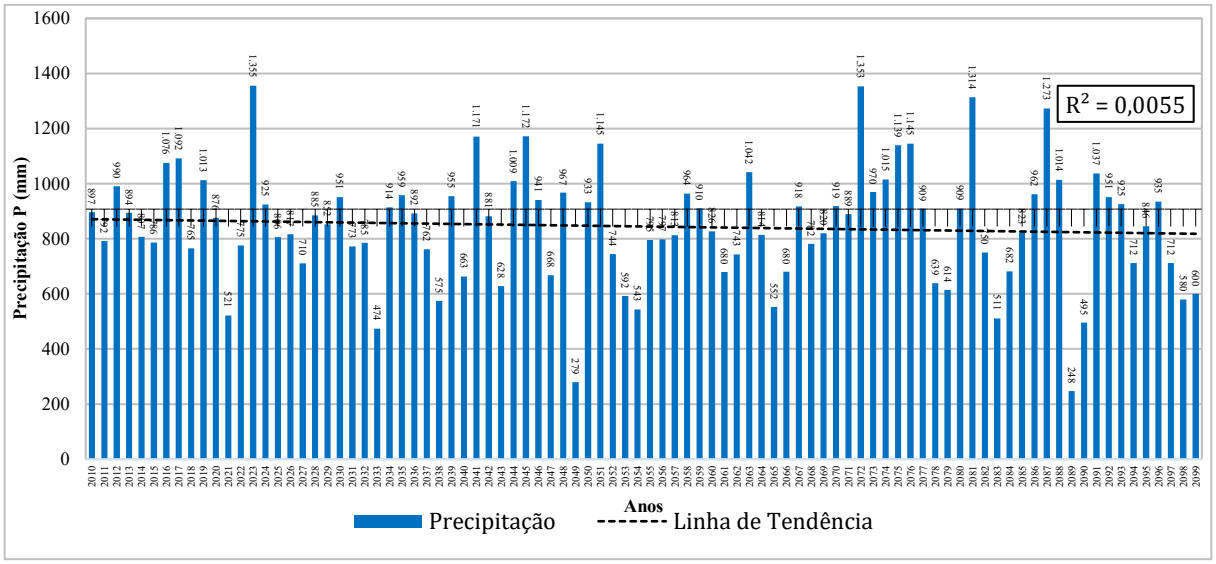
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

Analisando os resultados propostos pela projeção de precipitação do experimento CanESM2, apresentado na Figura 5, verifica-se mais uma vez que a linha de tendência se estabelece em queda, de acordo com a linha temporal. Por outro lado, diferente das projeções HadGEM2-ES e MIROC5, essa propõe um declínio mais significativo assim como um acúmulo médio de precipitação geral menos expressivos do que nos outros dois experimentos.

A Figura 5 apresenta valores acumulados de precipitação com nítidas oscilações ao longo dos anos, alguns anos chegaram a obter totais de aproximadamente 900 mm. No entanto, outros anos não obtiveram sequer 200 mm, destaque negativos para os anos de 2077 e 2089, que apresentaram os menores valores, apenas 45,14 mm e 67,47 mm respectivamente.

Ao comparar o experimento CanESM2 com os dados históricos de precipitação entre 1973 e 2002, a projeção se estabelece condizente com os valores, pois como na Figura 2, a tendência já era de declínio, continuando a tendência de diminuição nos níveis de precipitação anual. A análise, considerando os critérios de comparação e similaridade propostos por Joia (2016), mostra que os resultados são considerados contínuos e conformes aos dados reais de precipitação de Umarizal-RN, fortalecendo a credibilidade do experimento em questão.

Figura 5 - Projeções de precipitação de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (CanESM2)



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

Em relação à Figura 6, referente ao experimento BESM, observa-se que ele apresenta valores significativamente superiores aos dos demais experimentos e aos dados históricos observados para a área de estudo. Enquanto a média histórica de precipitação ao longo dos últimos 30 anos é de aproximadamente 830 mm, o experimento BESM projeta valores acima de 1000 mm, destoando da realidade climática local.

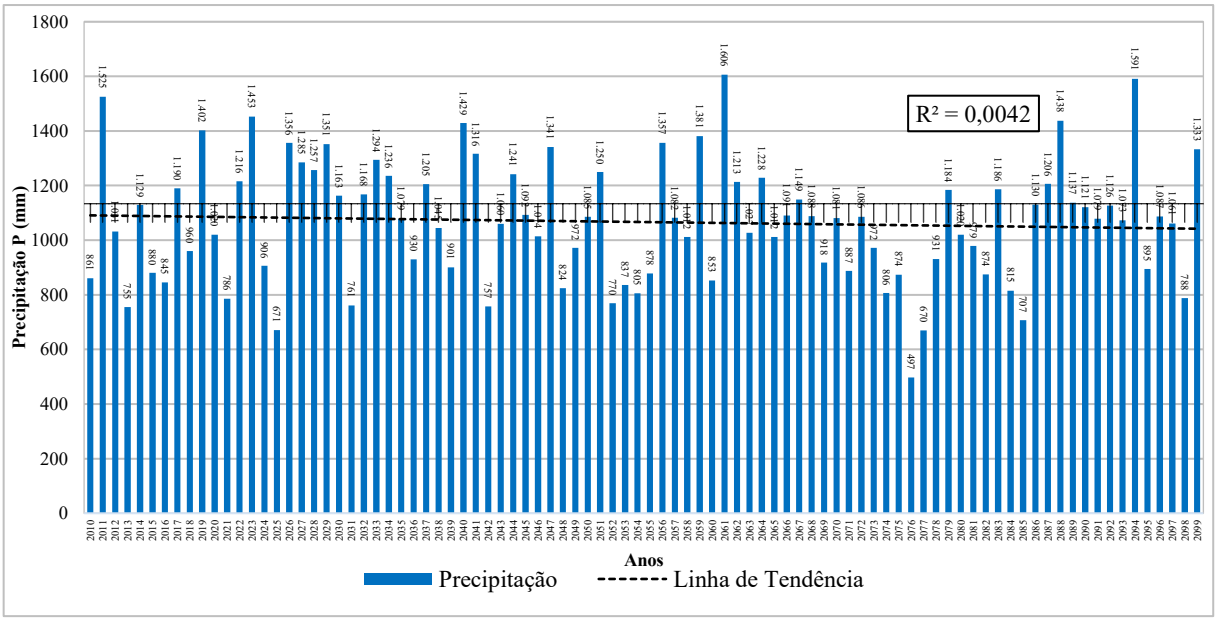
Apesar da incompatibilidade entre os resultados expressos na Figura 6 e as demais projeções analisadas juntamente com os valores reais registrados do município, um fator importante ainda pode ser utilizado, visto que a linha de tendência permanece indicando diminuição na precipitação, nas suas devidas proporções.

Conforme a análise e a discussão dos quatro experimentos apresentados, aliado a comparação entre eles e a fonte de dados históricos utilizada como referência, informações importantes foram obtidas, tanto no âmbito individualizado, como em uma perspectiva geral.

Os experimentos apresentaram resultados distintos e específicos em cada um deles, representando as mudanças climáticas em diferentes métricas de valores e oscilações. Experimentos como o CanESM2 apresentaram resultados de projeções mais cabíveis, enquanto experimentos como o BESM mostraram resultados de projeções fora do padrão observado.

Entretanto, no geral, todos os experimentos apresentaram linhas de tendência que indicam diminuição nos índices de precipitação pluviométrica ao longo dos anos, destacando a vulnerabilidade hídrica que o município de Umarizal-RN tenderá a enfrentar, bem como, os recorrentes impactos que isso pode desencadear em outros aspectos da natureza, considerando a perspectiva da teoria Geossintética desenvolvida por Sotchava (1977).

Figura 6 - Projeções de precipitação de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (BESM)



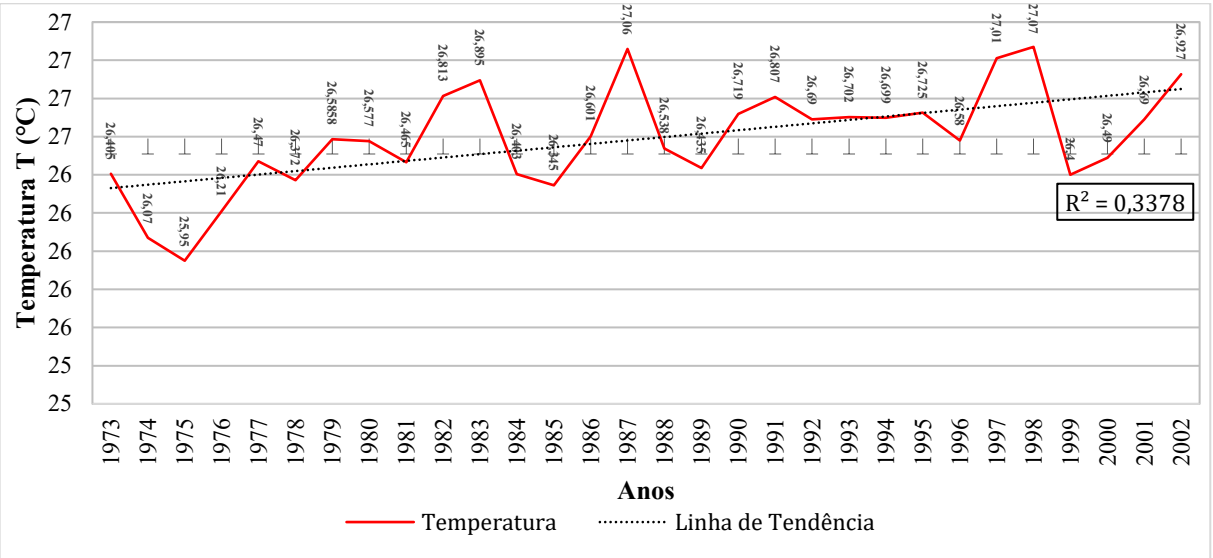
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

Em relação a Figura 7, que foi responsável por fornecer uma fonte de dados históricos da temperatura de Umarizal-RN por meio de uma série histórica de 30 anos, entre os anos 1973 a 2002, observa-se como se estabeleceu os valores médios de temperatura ao longo dos anos. O menor valor da temperatura média registrada no período foi no ano de 1975 (25,95°C) e o ano com o maior valor registrado foi 1988 (27,07°C).

Além disso, a base de dados deixa claro (Figura 7) que a linha de tendência se estabelece em uma crescente ao longo dos anos analisados levando em consideração a base do desvio padrão presente, indicando que a temperatura média do município tende a aumentar com o passar do tempo.

De maneira geral, a temperatura média observada durante os 30 anos foi aproximadamente em 26,6°C, uma informação importante para analisar os experimentos das projeções climáticas a seguir, bem como comparar as demais métricas utilizadas, devido à compatibilidade adequada entre os valores apresentados nos 4 experimentos realizados.

Figura 7 - Temperatura de Umarizal-RN para o período de 1973 - 2002



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do DCA-UFCG (2024)

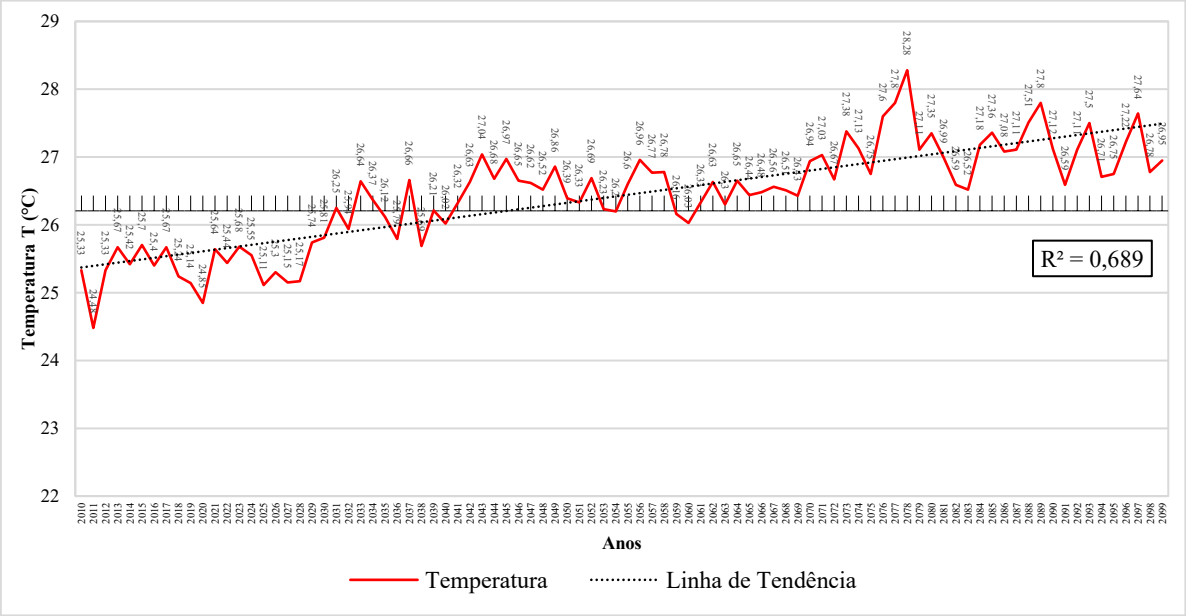
Nas projeções de temperatura entre os anos de 2010 e 2099, temos a Figura 8, responsável por apresentar a média de temperatura do ar estimada para Umarizal-RN. O experimento HadGEM2-ES sugere que ao longo dos anos, os valores vão apresentar variações, mas, no geral, ficaram entre 26°C e 27°C, com a presença de alguns eventos isolados que fogem do padrão, como é o caso dos anos de 2011 (24,48°C) e 2078 (28,28°C). Além disso, a Figura 8, sinaliza, através da tendência temporal, aumento no valor da temperatura média.

Uma alteração considerável, sendo mais de 1,5 °C em média ao longo dos 90 anos, faz com que a crescente na linha de tendência seja nitidamente visível nas três fases de projeções, (próximas, médias e distantes). Na fase inicial, os valores de temperatura são mais baixos; na fase intermediária, há um leve aumento; e, por fim, na fase mais distante, observa-se um crescimento mais acentuado. Essa progressão evidencia uma variabilidade significativa tanto nos valores médios de temperatura quanto nas suas oscilações ao longo do tempo, indicando que as emergências climáticas impactam, de forma interligada, tanto a temperatura quanto a precipitação, porém em cenários inversos.

Levando em consideração os resultados apresentados nas projeções da Figura 3 e na Figura 8, é evidente como a temperatura e a precipitação pluviométrica se mantiveram em uma linha inversamente proporcional. Resultados semelhantes aos alcançados na pesquisa do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC (2014), que identificou aumentos significativos na temperatura à medida que houve uma diminuição da pluviosidade ao longo

do tempo no Brasil.

Figura 8 - Projeções de temperatura de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (HadGEM2-ES)



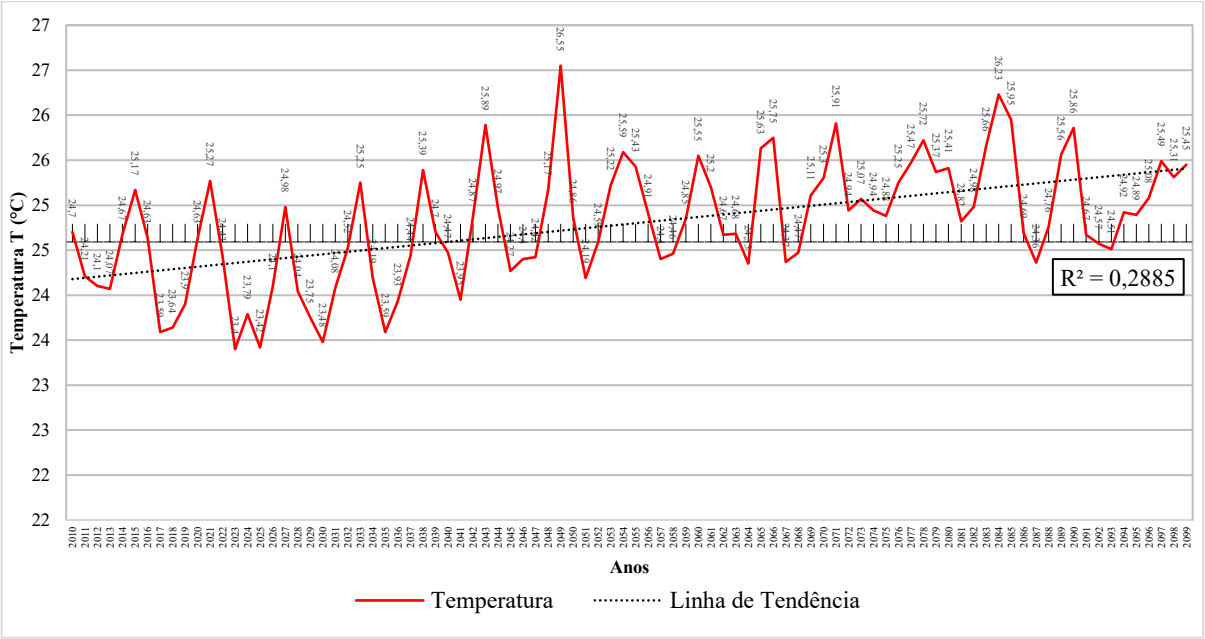
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

Em relação aos resultados propostos nas projeções do experimento MIROC5, na Figura 9, pode-se observar a disposição da temperatura ao longo de 90 anos, e como é apresentado um novo padrão, visto a maneira expressiva das oscilações nas médias de temperatura, propondo uma característica bem específica, no qual, por volta de 2 a 4 anos, as temperaturas apresentam elevações e quedas frequentes. Diferente dos demais experimentos e dos dados históricos do município de Umarizal, a oscilação não é tão padronizada assim, apesar dessa divergência a linha de tendência permanece indicando que haverá um aumento gradual na temperatura.

Na comparação direta com a Figura 7, o experimento MIROC5 apresenta similaridade voltada ao aumento da temperatura, entretanto, os níveis de variabilidade de anos com extremos valores e com quedas repentinas em curtos intervalos de tempo, seguindo de maneira uniforme durante toda a linha temporal se distingue da linha histórica. A métrica evidencia, de modo particular, a correlação entre extremos térmicos e impactos hidrológicos, o que diferencia esse experimento por suas implicações práticas mais evidentes. Fazendo um paralelo com as projeções de precipitação pluviométrica da Figura 4, pois nos anos de maiores temperaturas também foram registradas as menores precipitações, destacando informações preocupantes em relação aos efeitos severos da problemática.

A característica de irregularidade em curtos períodos nos aspectos climáticos de precipitação e temperatura para esse experimento, conforme Araújo (2012) pode estar diretamente relacionado com a influência do fenômeno de La Niña e El Niño no Oceano Pacífico.

Figura 9 - Projeções de temperatura de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (MIROC5)



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

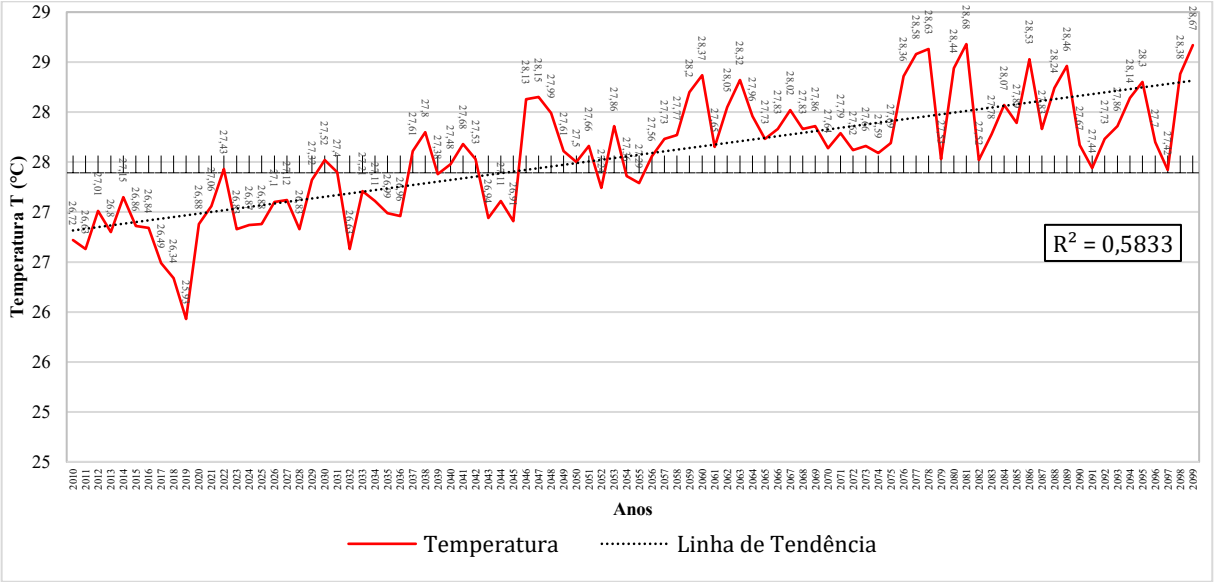
Conforme analisado na Figura 10, referente às projeções de temperaturas do experimento CanESM2, é possível perceber como os valores apresentados são compatíveis com a fonte de dados históricos mostrados na Figura 7. Além disso, outra importante observação é sobre a linha de tendência que se mantém em um expressivo crescimento, principalmente nos últimos 30 anos (projeção distante), representando o maior crescimento dentre todos os experimentos, os anos que se destacaram nas projeções foi no ano de 2099, com 28,67 °C, enquanto o menor foi no ano de 2019, com 25,93 °C.

Ao longo dos 90 anos, o experimento apresentou uma média anual de 27,67°C, com base nisso, comparando esse valor, com a média da temperatura de Umarizal-RN entre 1973 e 2002 (26,60°C), é exibido um resultado preocupante, com um aumento de quase 1°C na temperatura média. Quando é realizada essa comparação com a média dos últimos a 30 anos da projeção, a situação fica ainda mais alarmante, com o aumento de aproximadamente 1,4°C

de diferença com a média histórica do município, resultado muito similar com a projeção também proposta para o ano de 2100 do IPCC (2022).

Assim como na Figura 5, alusivo ao experimento de precipitação pluviométrica, o experimento CanESM2 de temperatura também se mostra compatível com o que se espera, essa coerência é evidenciada pela linha de tendência da Figura 7, que revela um padrão consistente de aumento ao longo do tempo. A Figura 10, por sua vez, reforça essa tendência ao apresentar valores convergentes e uma continuidade no comportamento da temperatura, evidenciando uma semelhança na trajetória de elevação representada nas diferentes figuras.

Figura 10 - Projeções de temperatura de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (CanESM2)



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

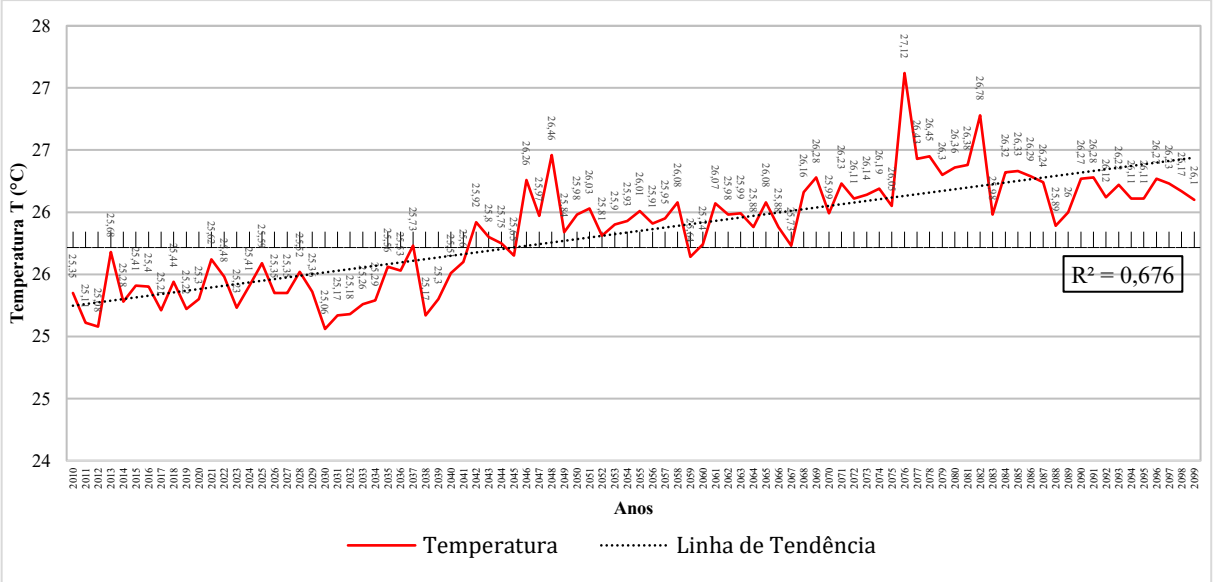
Na análise da última projeção de temperatura para Umarizal-RN, representada pela Figura 11, no experimento BESM, é evidente um aumento contínuo na temperatura ao longo dos anos, com destaque para picos extremos, particularmente em 2076. Todas as projeções de temperatura indicam uma tendência de elevação significativa no município.

A estrutura do experimento BESM se assemelha à da Figura 7, com variações e elevação de temperatura, mas apresenta valores iniciais um pouco mais baixos (média da projeção próxima (25,35°C), oferecendo um panorama ligeiramente otimista. Essa tendência otimista no BESM também foi observada nas projeções de precipitação pluviométrica. Apesar da métrica do experimento ter resultados em valores abaixo dos valores esperados, a linha de

tendência apresentou um expressivo aumento entre 2010 e 2099.

Ao observar todas as figuras, entre elas, dados históricos juntamente com os experimentais para temperatura e precipitação, torna-se evidente um cenário preocupante para o perfil climático futuro de Umarizal-RN. Enquanto todas as projeções indicam um declínio nos índices de pluviosidade, as temperaturas projetadas seguem em constante aumento, reforçando a gravidade do cenário de vulnerabilidade da área. Conforme Bolson e Haonat (2016) o cenário de mudanças climáticas destaca a presença de problemas como o aquecimento de modo geral, escassez e má distribuição hídrica, desertificação e perda da biodiversidade, acarretando diversos impactos no contexto ambiental, que, consequentemente, se refletem em impactos sociais.

Figura 11 - Projeções de temperatura de Umarizal-RN para o período de 2010 - 2099 (BESM)



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de dados do INPE (2024)

A Tabela 1 apresenta a progressão das médias de precipitação e temperatura do município de Umarizal-RN ao longo de diferentes períodos projetados, com base exclusivamente no experimento CanESM2 sob o cenário RCP 4.5. A decisão de destacar apenas esse experimento deve-se ao fato de ter apresentado a maior compatibilidade com os dados observados da região durante a etapa de validação com dados históricos, sendo assim, demonstrou ser o mais representativo para o contexto climático local.

Através da divisão de quatro períodos de 30 anos, observa-se como a precipitação e a

temperatura apresentam comportamentos distintos, para a precipitação, os valores médios estabelecidos nos períodos diminuem seus valores ao longo do tempo, de modo que, no primeiro período, que serve como referência para os anos de projeções, o valor é de 838,87 mm, contudo, ao fim das projeções, ou seja, no último período o valor apresentado é de 479,29 mm, o que representa uma diminuição média de aproximadamente 360 mm ao decorrer das projeções realizadas para o município.

Por outro lado, a temperatura surge com um padrão oposto. O período de referência apresenta a menor média de temperatura, com 26,59 °C. Ao longo dos períodos subsequentes, a temperatura média aumenta progressivamente, alcançando exatos 27,99 °C no último período, resultando em um aumento total de 1,40 °C. Esses padrões climáticos adversos, como o aumento da temperatura combinado à diminuição da precipitação, criam um cenário crítico para Umarizal-RN.

Tabela 1 - Progressão Climática do Município de Umarizal-RN para o período de 1973 - 2099 (CanESM2)

Período	Precipitação média (mm)	Variação em relação ao período anterior (mm)	Temperatura média (°C)	Variação em relação ao período anterior (°C)
Total (1973 - 2099)	479,29 mm	↓ 359,58 mm (redução total)	27,99 °C	↑ 1,40 °C (aumento total)
1973 - 2002 (Referência)	838,87 mm	- (Valor de referência)	26,59 °C	- (Valor de referência)
2010 - 2039	555,27 mm	↓ 283,60 mm	26,99 °C	↑ 0,40 °C
2040 - 2069	498,17 mm	↓ 57,10 mm	27,71 °C	↑ 0,72 °C
2070 - 2099	479,29 mm	↓ 18,88 mm	27,99 °C	↑ 0,28 °C

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a análise climática em uma perspectiva atual e futura para o município de Umarizal-RN evidenciou, a partir das projeções dos experimentos (HadGEM2-ES, MIROC5, CanESM2 e BESM), um cenário de potencial risco aos efeitos das mudanças climáticas no município. De acordo com todas as projeções realizadas, do ano de 2010 a 2099, foram observadas linhas de tendências em relação ao desvio padrão, que apontam uma significativa crescente na média de temperatura, em paralelo a isso, uma diminuição nos índices totais de precipitação pluviométrica.

Embora cada experimento utilizado apresente valores ligeiramente distintos em suas métricas, de modo geral, os resultados projetados indicam estimativas climáticas preocupantes. Ressalta-se, contudo, que esta pesquisa não teve como objetivo mensurar diretamente os impactos das alterações climáticas, mas os dados obtidos permitem propor discussões sobre possíveis agravamentos em diferentes âmbitos. O experimento CanESM2 se destacou por apresentar os resultados mais compatíveis com a realidade local, e a análise dessas projeções podem sugerir potenciais efeitos futuros, como riscos de escassez hídrica, desertificação, desconforto térmico e perda do potencial produtivo.

A partir dos resultados alcançados, a pesquisa desempenha-se bastante importante, visto que, além de atuar como fonte de informações acadêmicas, também representa uma função de alerta para o município, por meio da identificação da agravante problemática que está por vir, caso nada seja feito para reverter a potencial situação. Dessa maneira, tocante às condições discutidas, é fundamental ressaltar a necessidade da aplicação de políticas públicas voltadas à mitigação e adaptação climática, com enfoque em estratégias para a gestão dos recursos hídricos, implementação de práticas sustentáveis e educação ambiental para a população do município se manter consciente das circunstâncias.

Para além disso, a replicação de pesquisas no campo geográfico, que envolvam, análise climática e projeções climáticas para outros recortes, como municípios e regiões, é de grande impacto no contexto ambiental, fazendo com que seja possível obter fonte de dados sobre as condições climáticas futuras em ampla escala. Promovendo a conscientização populacional sobre a possíveis impactos em relação às mudanças, e fazendo com que sejam desenvolvidas mudanças de hábitos e além do fortalecimento das pressões sobre medidas de políticas de

ação contra as mudanças climáticas, contribuindo diretamente com a ODS 13, Ação contra a Mudança Global do Clima.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) pelo suporte institucional ao desenvolvimento desta pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido ao autor durante o período de realização do estudo, na condição de bolsista.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, André; OLIVEIRA, Paulo Tarso S. Avaliação da precipitação simulada pelos modelos Eta/HadGEM2-ES e Eta/Miroc5 para o Brasil. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 71., Campo Grande. **Anais [...].** Campo Grande: SBPC, p. 1–4, 2019.

ANGELOTTI, Francislene; SÁ, Iêdo Bezerra; MELO, Roseli Freire. Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. In: EMBRAPA. **Desertificação no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/574628.

ARAÚJO, Paulo Henrique Cirino. **Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões Nordeste e Sul do Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, 2012.

ARTAXO, Paulo. Mudanças climáticas e o Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 8–12, 2014. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103. Disponível em: https://revistas.usp.br/revusp/article/view/99191

BACK, Álvaro José; GALATTO, Sérgio Luciano; SOUZA, Gabriel Silva. Índice de irregularidade temporal das chuvas no território do Brasil de 1991 a 2022. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 21, e13, 2024. DOI: https://doi.org/10.21168/rega.v21e13

BARROS, Juliana Ramalho; ZAVATTINI, João Afonso. Bases conceituais em climatologia geográfica (The conceptual bases in geographical climatology). **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 255–261, 2009.

BOLSON, Simone Hegele; HAONAT, Ângela Issa. A governança da água, vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e**

Desenvolvimento Sustentável, Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p. 223–248, 2016. DOI: https://doi.org/10.18623/rvd.v13i25.575

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte.** Brasília, DF: CPRM, 2010. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16773

GUIMARÃES, Sullyandro Oliveira et al. Projeções de mudanças climáticas sobre o Nordeste brasileiro dos modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 337–365, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778631320150150

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados: Umarizal (RN). Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/umarizal/panorama

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Plataforma de análise e projeções climáticas. São José dos Campos: INPE, 2020. Disponível em: http://pclima.inpe.br/analise/

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2007:* **synthesis report: contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2007. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: synthesis report: contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

JOIA, Paulo Filho. **Técnicas de projeção para identificação de grupos e comparação de dados multidimensionais usando diferentes medidas de similaridade.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
DOI: https://doi.org/10.11606/T.55.2016.tde-29032016-143247

LIMA, Ricardo da Cunha Correia; CAVALCANTE, Arnóbio de Mendonça Barreto; PEREZMARIN, Aldrin Martin. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 209 p. 2011.

LINDOSO, Diego et al. Mudanças climáticas, vulnerabilidade e governança adaptativa em territórios do Semiárido. In: Conferência Internacional Sobre Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas, 2010, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: 2010.
DOI: https://doi.org/10.13140/2.1.5173.3440

MARENGO, José Antonio. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25–32, 2014. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32

MARENGO, José Antonio et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Brasília, DF: ANA, 2011. p. 385–422.

MARENGO, José Antonio; VALVERDE, Maria Cleofe. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças climáticas para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 5–28, 2007.

MEDEIROS, Jacimária Fonseca. **Da análise sistêmica à Serra de Martins: contribuição teórico-metodológica aos brejos de altitude**. 2016. 219 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Natal, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22696

MOURA, Magna Soelma Beserra; SOBRINHO, José Espínola; SILVA, Thieres George Freire. Aspectos meteorológicos do semiárido brasileiro. In: EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Agricultura dependente de chuva no Semiárido brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1112124

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Reglamento técnico, volumen I: normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas**. Geneva: WMO, 2015. Disponível em: https://library.wmo.int/

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.** Rio de Janeiro: COPPE, 2014.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. O estudo dos geossistemas. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Geografia. **Métodos em questão**, n. 1. São Paulo: USP, 1977.