

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

LETÍCIA COSTA CORRÊA E CASTRO TEIXEIRA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO:  
COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS SSP1-2.6 E SSP5-8.5 PARA O CLIMA FUTURO

VOLTA REDONDA  
2023

LETÍCIA COSTA CORRÊA E CASTRO TEIXEIRA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO:  
COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS SSP1-2.6 E SSP5-8.5 PARA O CLIMA  
FUTURO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientador (a): Prof. Dra. Kelly Alonso Costa  
Co-Orientador (a): Prof. Dr. Welington Kiffer de Freitas

Volta Redonda, RJ  
2023

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

T266m Teixeira, Leticia Costa Corrêa e Castro  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: COMPARAÇÃO  
ENTRE OS CENÁRIOS SSP1-2.6 E SSP5-8.5 PARA O CLIMA FUTURO /  
Leticia Costa Corrêa e Castro Teixeira. - 2023.  
78 f.: il.

Orientador: Kelly Alonso Costa Costa.  
Coorientador: Welington Kiffer de Freitas.  
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta  
Redonda, Volta Redonda, 2023.

1. Modelo climático. 2. Cenários Futuros. 3. Mudanças  
climáticas. 4. Rio de Janeiro. 5. Produção intelectual. I.  
Costa, Kelly Alonso Costa, orientadora. II. Freitas, Welington  
Kiffer de, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense.  
Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta  
Redonda. IV. Título.

CDD - XXX

LETÍCIA COSTA CORRÊA E CASTRO TEIXEIRA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO:  
COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS SSP1-2.6 E SSP5-8.5 PARA O CLIMA  
FUTURO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Aprovada em 21 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

*Kelly Alonso Costa*

---

Prof. Dra. Prof. Dra. Kelly Alonso Costa \_ UFF - Orientadora

*RFB Paiva*

---

Prof. Dra. Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva \_ UFF

*Eliane da Silva Christo*

---

Prof. Dra. Eliane da Silva Christo \_ UFF

*José Francisco de O. Júnior*

---

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Júnior \_ UFAL

Volta Redonda  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, Senhor e Rei da minha vida, pela graça salvadora e por me usar para Sua Glória. Por sua Santa vontade e providencia conduz meus passos e orienta cada ação para que por meio desta serva seu nome seja glorificado. Obrigada a toda minha família pelo amor, carinho, paciência, cuidado e apoio nos momentos difíceis. Agradeço, especialmente, à minha mãe, Célia, pelo seu exemplo, inspiração e orientação. Agradeço ao meu marido, Fernando, por seu grande estímulo, amparo, paciência e auxílio. À minha avó, Gina, pelas orações constantes, conforto e conselhos. Ao meu irmão, Alexandre Júnior, pelos conselhos e alívios cômicos que sempre me alegram. Agradeço também ao meu amado pai, que hoje descansa nos braços do nosso Salvador, pela compreensão por não poder estar sempre presente, pelo carinho e estímulo a não desistir. E agradeço igualmente aos demais familiares, minha sogra, minha madrastra, minhas irmãs do coração, minhas cunhadas, meus irmãos em Cristo, minhas tias e tios, primos e primas. Não tenho como agradecer por todo o apoio, orações, palavras de carinho e pela influência direta que cada um tem em minha vida. Agradeço à minha mega orientadora Kelly Alonso Costa que me ajuda a trilhar minha vida acadêmica e científica, sempre muito atenciosa, carinhosa, humana, responsável e trabalhadora. Obrigada ao meu coorientador Wellington Kiffer de Freitas por me ensinar a ser pesquisadora e por todo o apoio neste período. Agradeço em especial ao Prof. Dr. Givanildo Gois (UFAC), Prof. Dr. David Mendes (UFRN), Prof. Dr. José Francisco Oliveira Júnior (UFAL), Prof. Dr. Andre L. Belem (UFF), Prof.(a) Dr.(a) Eliane da Silva Christo (UFF), Prof.(a) Dr.(a) Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva (UFF) e a Prof.(a) Dr.(a) Ana Paula Martinazzo (UFF), pela colaboração na construção da minha pesquisa e pelo apoio com os elementos que a constituem. Obrigada a todos os professores do Departamento de Agronegócios da UFF pela contribuição aos conhecimentos adquiridos. Agradeço ainda a todos que fazem parte, de alguma maneira, da minha vida. Tenho certeza de que cada um coopera do modo que Deus julga melhor e necessário para minha evolução durante minha caminhada terrena.

*“Não estejais inquietos por coisa alguma; antes as vossas  
petições sejam em tudo conhecidas diante de Deus pela oração e súplica, com ação de  
graças. E a paz de Deus, que excede todo o entendimento, guardará os vossos corações e os  
vossos pensamentos em Cristo Jesus”*

*(Filipenses 4:6,7)*

## RESUMO

As pesquisas com a simulação de modelos climáticos apontam que emissões de gases de efeito estufa, por ações antrópicas, podem provocar alterações nos regimes de ventos, temperaturas, precipitações e nas circulações oceânicas, resultando em temperaturas médias mais oscilantes e elevadas. Importantes consequências práticas dessas alterações são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre. O Estado do Rio de Janeiro, Brasil, possui relevantes áreas de vulnerabilidades a extremos climáticos. As quais, para a definição de políticas públicas, bem como a elaboração de recomendações técnicas, é fundamental que se caracterize, avalie e acompanhe as variações espaço-temporais dos elementos climáticos intervenientes dos processos e da região. Esse estudo, portanto, apresentou um panorama climático futuro de precipitação para o Estado do Rio de Janeiro, através do modelo AWI-CM-1-1-MR, construído para o Sexto Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado (CMIP6), diante os cenários SSP1-2.6 e SSP2-8.5 (Shared Socio-Economic Pathways - Trajetórias socioeconômicas compartilhadas). Estes cenários representam uma estimativa em relação às emissões de gases de efeito estufa para o clima futuro, considerando diferentes narrativas projetadas para abranger uma gama de futuros em termos de desafios socioeconômicos que implicam na mitigação e adaptação às alterações climáticas. Para os dois cenários futuros identificou-se a vulnerabilidade do Estado diante das possíveis variações na precipitação. Os resultados obtidos pelo modelo, demonstraram a tendência de secas e chuvas extremas nas diferentes regiões de governo do Estado do Rio de Janeiro. Embora o cenário otimista apresente uma gradação mais sutil, sérias consequências sociais, ambientais e econômicas serão sentidas em todo o Estado. Concluiu-se que somente a redução no volume de emissões de gases de efeito estufa não serão eficazes para enfrentamento do problema. Ações focadas na adaptação e manejo das áreas foco são de extrema importância. Soluções baseadas na natureza associadas ao monitoramento de indicadores e o uso das diretrizes dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável podem ser o ponto de partida para a construção de um planejamento de enfrentamento eficaz a crise climática.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa. impactos ambientais. modelo climático.

## ABSTRACT

The research with the simulation of climate models shows that emissions of greenhouse gases, by anthropic actions, can cause changes in wind regimes, temperatures, precipitation and oceanic circulations, resulting in more oscillating and higher average temperatures. Important practical consequences of these climate changes are the occurrence of droughts or an increase in the intensity of rainfall in various regions of the globe. The state of Rio de Janeiro, Brazil, has significant vulnerabilities, to define public policies and draw up technical recommendations, it is essential to characterise, assess and monitor the spatiotemporal variability of the climatic elements involved in the processes and the region. This study therefore presented a future climate panorama of precipitation for the state of Rio de Janeiro, using the AWI-CM-1-1-MR model, built for the Sixth Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6), under the SSP1-2.6 and SSP2-8 scenarios. 5 (Shared Socio-Economic Pathways) scenarios, which represent an estimate of greenhouse gas emissions for the future climate, considering different narratives designed to cover a range of futures in terms of socio-economic challenges that imply mitigation and adaptation to climate change. For the two future scenarios, the state's vulnerability to possible variations in precipitation was identified. The results obtained by the model showed a trend towards droughts and extreme rainfall in the different regions of the state of Rio de Janeiro. Although the optimistic scenario sees a more subtle gradation, serious social, environmental and economic consequences will be felt throughout the state. It was concluded that reducing the volume of greenhouse gas emissions alone will not be effective in tackling the problem. Actions focused on adaptation and management of the focus areas are extremely important. Nature-based solutions associated with the monitoring of indicators and the use of the guidelines of the Sustainable Development Goals can be the starting point for building an effective plan to tackle the climate crisis.

**Keywords:** greenhouse gases. environmental impacts. climate model.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. O desenvolvimento de modelos climáticos no passado, p.12
- Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa bibliométrica, p.24
- Figura 3. Fluxograma das etapas da pesquisa, p.26
- Figura 4. Mapa do Estado do Rio de Janeiro, com divisão das regiões de Governo, p.27
- Figura 5. Mapa topográfico do Estado do Rio de Janeiro, p.28
- Figura 6. Mapa demonstrativo do Diagrama de Voronoi para as 100 estações pluviométricas, meteorológicas convencionais e meteorológicas automáticas, p.32
- Figura 7. Network dos autores com correlações mais relevantes. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.37
- Figura 8. Network das palavras-chave, considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.38
- Figura 9. Network dos autores com correlações mais relevantes. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.39
- Figura 10. Frequência relativa de artigos relacionados a cada perfil. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.41
- Figura 11. Frequência absoluta e relativa dos artigos relacionados aos ODS's. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.42
- Figura 12. Resultado dos dados observados construído a partir de geoprocessamento, p.44
- Figura 13. Resultado dos dados simulados obtidos pelo modelo AWI-CM-1-1-MR, p.44
- Figura 14. Precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o cenário ssp1-2.6 (otimista) de mudanças climáticas para o intervalo de 2071 a 2100, p.46
- Figura 15. Precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o cenário ssp8.5 (pessimista) de mudanças climáticas para o intervalo de 2071 a 2100, p.47
- Figura 16. Diferença entre o futuro (2071-2100) para cenário SSP1-2.6 de mudanças climáticas e o controle (1979-2013) da precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR, p.48

Figura 17. Diferença entre o futuro (2071-2100) para cenário ssp5-8.5 (pessimista) de mudanças climáticas e o controle (1979-2013) da precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR, p.49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quadro de análise de variância (ANOVA), p.32

Tabela 2. Estrutura dos dados para entrada no Software Sisvar, p.34

Tabela 3. Número de publicações e citações para os cinco autores com maior frequência de artigos. Considerando o compilado das bases Scopus, WoS, p.36

Tabela 4. Número de publicações e citações para os países com maior frequência de artigos. Considerando o compilado das bases Scopus, WoS, p.38

Tabela 5. Descrição dos critérios usados para definir os perfis dos artigos. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS, p.39

Tabela 6. Métricas do KGE', p.44

Tabela 7. Tabela de Análise de Variância, p.50

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AWI-CM	Alfred Wegener Institute Climate Model
CMIP	Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados
COP	Conferência das Partes
CV	Coeficiente de Variação
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
FESOM	Finite Element Sea Ice-Ocean Model
GEE	Gases de Efeito Estufa
GtC	Giga toneladas de Carbono
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MPI-M	Max Planck Institute for Meteorology
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCP	Representative Concentration Pathways
RMRJ	Região Metropolitana Rio de Janeiro
RNERJ	Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro
SBN	Soluções Baseadas na Natureza
SCN	Soluções Climáticas Naturais
SSP	Shared Socio-Economic Pathways
WMO	World Meteorological Organization

## SUMÁRIO

- 1- INTRODUÇÃO, p.1
- 2- OBJETIVOS, p.4
  - 2.1- OBJETIVO GERAL, p.4
  - 2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS, p.4
- 3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, p.5
  - 3.1- MUDANÇAS CLIMÁTICAS, p.5
    - 3.1.1- Soluções de adaptação e mitigação frente as mudanças climáticas, p.8
  - 3.2- MODELOS CLIMÁTICOS, p.11
    - 3.2.1- Modelo AWI-CM-1-1-MR, p.14
    - 3.2.2- Cenários futuros de mudanças climáticas, p.14
  - 3.3- VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS NO ESTADO, p.18
  - 3.4- BIBLIOMETRIA, p.22
- 4- MATERIAL E MÉTODOS, p.24
  - 4.1- ANÁLISE BIBLIOMETRICA, p.24
    - 4.1.1- Pesquisa na Literatura, p.24
    - 4.1.2- Reunião de dados e avaliação de qualidade, p.25
  - 4.2- SIMULAÇÕES PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO, p.26
    - 4.2.1- Área De Estudo, p.27
    - 4.2.2- Dados simulados, p.29
    - 4.2.3- Dados históricos observados, p.29
    - 4.2.4- Análise estatística, p.30
- 5- RESULTADOS E DISCUSSÕES, p.36
  - 5.1- BIBLIOMETRIA, p.36
    - 5.1.1- Evolução ao longo dos anos, p.36
    - 5.1.2- Principais Autores, p.36

5.1.3- Palavras – chave mais relevantes, p.37

5.1.4- Principais países, p.38

5.1.5- Perfis de estudos, p.39

5.1.6- ODS, p.41

5.2- DADOS SIMULADOS DE PRECIPITAÇÃO, p.43

5.2.1- Validação do Modelo climático, p.43

5.2.2- Cenários futuros SSP1- 2.6 e SSP5-8.5, p.45

5.2.3- Comparação entre os Cenários futuros SSP1- 2.6 e SSP5-8.5, p.51

6- CONCLUSÕES, p.54

REFERENCIAS, p.55

## 1- INTRODUÇÃO

A sociedade é extremamente dependente do clima de uma determinada região, tendo suas características moldadas e adaptadas aos diferentes padrões sazonais e anuais (CAMPOS, 2011; MACHILI, 2020). Considerando a variabilidade do sistema atmosférico, o aquecimento causado por emissões antrópicas desde o período pré-industrial até o presente persistirá por séculos e milênios, e continuará causando mudanças a longo prazo no sistema climático (IPCC, 2018; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

A importância dada às variações do clima é explicada pelas incertezas que a envolvem e suas consequências que ainda não são totalmente conhecidas (MENDES et al., 2016). Portanto, a avaliação dos padrões climáticos se torna uma importante ferramenta para o planejamento estratégico de crescimento econômico e de ações mitigadoras, e adaptativas, sobre os impactos provenientes destas alterações (CAMPOS, 2011). Além disto, diversas atividades dependem de informações acerca da possibilidade de ocorrência de períodos secos e/ou úmidos e pequenas alterações na dinâmica atmosférica podem levar a intensas variabilidades climáticas, podendo alterar as relações ambientais, assim como influenciar nas dinâmicas comportamentais (ARAGÓN; OTEIZA; RUD, 2019; CLAYTON, 2020; PIHL et al., 2020; STEPHENS et al., 2020; WESTERLING; DISCLAIMER; BROWN, 2018).

Para a definição de políticas públicas, bem como a elaboração de recomendações técnicas, é fundamental que se caracterize, avalie e acompanhe as variabilidades espaço-temporais dos elementos climáticos intervenientes dos processos e da região (MACHADO, 2017). Como apontado por Marengo (2001) e confirmado pelo sexto relatório do IPCC (2021), embora o clima tenha sempre variado naturalmente, resultados de pesquisas com modelos tem apontado que emissões de gases de efeito estufa de origem antrópica (em especial o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)) podem provocar alterações nos regimes de ventos, temperaturas, precipitação e nas circulações oceânicas. Resultando em ocorrências de temperaturas médias mais oscilantes e mais elevadas.

As mudanças climáticas e o aquecimento global são pautas de discussões desde metade do século XX. A abordagem do tema contempla contribuições de diversas áreas, abordando aspectos políticos, sociais, econômicos, éticos e científicos. Pelo relatório elaborado pelo IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018), estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C, para a década 2006–2015. A temperatura média global próxima à superfície em 2023 (até outubro) foi de cerca de 1,40 ±

0,12 °C acima da média de 1850-1900. Com base nos dados de outubro, é praticamente certo que 2023 será o ano mais quente no recorde observacional de 174 anos (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2023). Importantes consequências práticas dessas alterações climáticas são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre. Já é possível observar eventos extremos, fruto de mudanças climáticas, no presente, como o aumento sucessivo de secas na Amazônia e Califórnia, as quais podem se agravar, conforme sugerido por modelos climáticos (DE BRITO et al., 2022; GLOOR et al., 2015; SINGLETON et al., 2018; WESTERLING; DISCLAIMER; BROWN, 2018).

No Estado do Rio de Janeiro diferentes autores discutem a problemática socioambiental associada a mudanças no clima no Estado (DOURADO; COUTINHO ARRAES; E SILVA, 2012; BARATA et al., 2014; CARLOS et al., 2021; LA PASTA CORDEIRO et al., 2021; SANTOS et al., 2021). Noronha, Aquino e Massena (2016), afirmam que a especulação sobre os impactos de anomalias de chuvas e de possíveis impactos das mudanças climáticas e seus desdobramentos nas disponibilidades hídricas para as atividades agrícolas, sociais e ambientais despertam a necessidade de ações por parte dos órgãos governamentais e da sociedade civil. Santos et al. (2021) estima a sucessibilidade a desertificação do Sudeste brasileiro e aponta para ações urgente de políticas públicas para reverter a situação atual e mitigar impactos futuros.

Assim, obter informações climáticas, presentes e futuras, baseadas de uma fonte objetiva permite traçar um panorama sobre o tema, seus impactos e possíveis opções de resposta. Os modelos de circulação geral surgem como uma ferramenta para modelar o clima e a mudança climática. A atual geração de modelos climáticos é chamada de Modelos do Sistema Terrestre, e são utilizados tanto para a previsão de tempo como também para estudar a variabilidade climática natural e as influências humanas, associadas às emissões de gases de efeito estufa ou às mudanças de usos da terra (IPCC, 2021; SAMPAIO; DIAS, 2014). Os modelos climáticos se apresentam como uma representação matemática simplificada do sistema climático da Terra. Para análise do clima futuro o IPCC desenvolveu cenários futuros para serem usados como forçantes dos modelos climáticos na obtenção de projeções sobre o clima global. Estes cenários são representações plausíveis das emissões futuras de Gases de Efeito Estufa (GEE) baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes radioativas, tais como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas (IPCC, 2001; MACHADO, 2017; SOARES, 2022).

Esta pesquisa busca apresentar um panorama das mudanças climáticas no Estado do Rio de Janeiro. O objetivo principal desse projeto é a análise e comparação dos dados simulados,



em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), pelo modelo AWI-CM-1-1-MR – Alfred Wegener Institute Climate Model (AWI-CM) – para os cenários futuros SSP1-2.6 e SSP5-8.5 (Shared Socio-Economic Pathways - Trajetórias socioeconômicas compartilhadas) do IPCC. A presente dissertação também contempla a validação da simulação pelo modelo para o ERJ. Para isso, compara a série histórica (1967-2013) produzida pelo AWI-CM-1-1-MR sobre o Estado do Rio de Janeiro, com a série histórica observada no mesmo período – usando dados observados da ANA (Agência Nacional de Águas), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), SERLA (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) e LIGHT (Light Serviços de Eletricidade S/A) compilados e preenchidos pelo Prof. Dr. Givanildo Gois (UFAC) para sua tese de doutorado. Em paralelo foi realizada uma pesquisa bibliométrica que apresentou um panorama dos estudos que utilizam modelos climáticos como ferramenta ou base teórica para a discussão das mudanças climáticas para o Estado do Rio de Janeiro até o presente momento. Dando destaque aos principais autores, os principais perfis de pesquisa e a correlação com os objetivos do desenvolvimento sustentável.

## 2 - OBJETIVOS

### 2.1- OBJETIVO GERAL

Avaliar as mudanças climáticas no Estado do Rio de Janeiro por meio dos cenários SSP1- 2.6 e SSP5- 8.5 para o clima futuro através do modelo climático AWI-CM-1-1-MR.

### 2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar o panorama dos estudos para o Estado do Rio de Janeiro associados à modelos e mudanças climáticas;
- Validar o modelo AWI-CM-1-1-MR através da comparação com os dados observados pelas estações meteorológicas do Estado;
- Analisar as simulações de precipitação para o clima futuro mediante modelo global de mudanças climáticas para o Estado do Rio de Janeiro;
- Comparar os cenários pessimista e otimista para o clima futuro do Estado do Rio de Janeiro.

### 3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1- MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas e o aquecimento global já são pautas de discussões desde o século XX e estão entre os principais temas da educação ambiental para o século XXI, além disto, são reconhecidas como um desafio chave em todos os setores produtivos da sociedade (GUARDA; DURANTE; CALLEJAS, 2020). Sua abordagem completa requer contribuições de diversas áreas, abordando aspectos políticos, sociais, econômicos, éticos e científicos (JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018). Partindo do pressuposto que fatores naturais causam constantemente mudanças no planeta, é aceitável afirmar que as mudanças climáticas têm um início impreciso. Contudo, é um fato que as ações antrópicas, através da combustão orgânica e inorgânica e a devastação da flora para fins econômicos, contribuíram para as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (MACHILI, 2020).

O conceito de efeito estufa, consiste basicamente, no aprisionamento do calor refletido pela atmosfera (SPIRO; STIGLIANI, 2009; SINGH MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021), e é o ponto de partida para a contextualizar os estudos sobre o tema. Este fenômeno natural favoreceu, há milhões de anos, através da regulação da temperatura planetária, a vida no planeta. A emissão da maioria dos gases que causam o efeito estufa na atmosfera terrestre ocorre de forma natural, entretanto, o principal problema consiste na interferência antrópica com a emissão descontrolada de gases de efeito estufa, que poderá gerar um aquecimento adicional na terra (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009). Junges et al. (2018) discorrem que isso ocorre porque os gases, classificados de efeito estufa, absorvem energia térmica emitida da superfície terrestre, no comprimento infravermelho (com faixa do espectro eletromagnético entre 0,7  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ , diferente da luz visível que está na faixa de 0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ ). Eles, então, reemitem esta energia em todas as direções, sendo que parte da radiação é perdida para o espaço e parte é retida na baixa atmosfera. Portanto, os gases de efeito estufa inibem a perda de radiação infravermelha para o espaço tornando a baixa atmosfera mais quente do que estaria na ausência desses gases. Esse fenômeno forma uma camada de ar aquecida que tem como consequência o aquecimento global (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; SPIRO; STIGLIANI, 2009; JUNGES; SANTOS; MASSONI, 2018). Os principais gases estufa de origem antrópica, em grau de potencial para o aquecimento global, são: Gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrofluorcarbonos (HFC's), Perfluorcarbonos (PFC's), Hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), Trifluoreto de nitrogênio ( $\text{NF}_3$ ) e os conhecidos Clorofluorcarbonetos (CFC's)

(ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; IPCC, 2019; CEZIMBRA et al., 2021; SINGH MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021; SOVACOOOL et al., 2021).

Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C, para a década 2006–2015 (IPCC, 2018). As principais fontes antrópicas de emissão de gases que contribuem para o efeito estufa são a combustão de combustíveis fósseis, queima de biomassa, campos de produção de arroz e gado, produção de petróleo, fertilizantes, ácido nítrico e adípico, gases para refrigeração, gases isolantes na transmissão e rede de distribuição de eletricidade, usos como agentes de gravura em eletrônica, fabricação de wafers de silício, fabricação de magnésio e eletrônicos (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; SOVACOOOL et al., 2021).

Considerando a variabilidade do sistema atmosférico, o aquecimento causado por emissões antrópicas desde o período pré-industrial até o presente persistirá por séculos e milênios, e continuará causando mudanças a longo prazo no sistema climático (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; IPCC, 2018). Importantes consequências dessa alteração climática são as ocorrências de secas ou do aumento na intensidade das chuvas em várias regiões do globo terrestre. Fator que pode reduzir ou aumentar a disponibilidade de água no sistema (DE BRITO et al., 2022). De acordo com o IPCC (2001), o século XXI deve apresentar maior frequência de eventos extremos de temperatura, precipitação, seca e enchentes, que poderão aumentar os riscos de erosão, deslizamentos de terra, incêndios florestais, riscos à saúde humana e redução do potencial agrícola e da disponibilidade de água para os diversos usos (MELLO et al., 2008; SILVEIRA et al., 2013; IPCC, 2021). Prevê-se que a saúde humana será uma das áreas que mais sofrerão com o aumento da temperatura (MENDES et al., 2016).

Reconhecendo a gravidade dos elevados índices de aquecimento a nível do globo, aliadas ao aumento da emissão de poluentes e a devastação das florestas, surgiu a necessidade de debates internacionais, através de conferências, e a elaboração de documentos contendo linhas diretrizes para a mitigação dos problemas ambientais (MACHILI, 2020). Em 1997, o protocolo de Kyoto, que ocorreu na cidade de Kyoto, no Japão, foi um marco para as medidas de remediação das mudanças climáticas, visto que, o acordo internacional teve como proposta a redução das emissões de gases estufa dos países industrializados e buscava garantir um modelo de desenvolvimento limpo aos países em desenvolvimento (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009; PBMC, 2014; IPCC, 2018). O Acordo de Paris, em 2015, é o acordo sobre clima subsequente ao Protocolo de Kyoto (1997) e o primeiro a ter um compromisso de todos os países, e não somente dos mais desenvolvidos, com a redução de emissões de gás com efeito estufa (PESSINI; SGANZERLA, 2016).

Diferentes autores também abordam o tema com preocupação e avaliam seus impactos já observados em todo o globo. Sesana et al. (2021) discutem sobre os impactos das mudanças ao patrimônio cultural. Buscam apresentar as avaliações de risco e vulnerabilidade dos sítios do patrimônio cultural diante das alterações climáticas, sendo mais urgentes mediante a necessidade de adaptação. Assim como, possíveis efeitos das mudanças climáticas na saúde mental por meio de respostas emocionais, como aumento da ansiedade (CLAYTON, 2020).

Eventos meteorológicos e climáticos extremos tiveram grandes impactos em todos os continentes habitados em 2023 (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2023). Estes incluíram grandes inundações, calor extremo e seca, incêndios florestais associados. Quanto a alterações na agricultura Singh Malhi, Kaur e Kaushik (2021) discutem que as anomalias de precipitação têm efeitos prejudiciais, principalmente nos países em desenvolvimento. Além de afetar a produtividade das culturas, as variações no clima influenciam de forma significativa também as áreas de cultivo. Há evidências sugestivas quanto a expansão das terras agrícolas relacionadas as anomalias de secas, nas últimas duas décadas. Isto, à medida que os agricultores expandem a área para compensar as perdas de rendimento (ARAGÓN; OTEIZA; RUD, 2019; SINGH MALHI; KAUR; KAUSHIK, 2021). Para a Amazônia, o cenário de severidade de secas pode se agravar, conforme sugerido por modelos climáticos (GLOOR et al., 2015). Nas duas últimas décadas, três secas extremas (2005, 2010 e 2015-2016) atingiram a região amazônica, cada uma com aumento sucessivo em intensidade. A seca de 2015/2016 teve a maior proporção já registrada de contagens de incêndios ativos em relação ao desmatamento e as consequências ecológicas são mais severas e extensas do que as secas de 2005 e 2010 (ERFANIAN; WANG; FOMENKO, 2017; ARAGÃO et al., 2018; DE BRITO et al., 2022).

Também foram identificados eventos extremos de seca recentes no oeste dos Estados Unidos. Stephens et al. (2020) afirma que as mudanças climáticas em curso podem influenciar a ocorrência e a severidade do fogo, e provavelmente o farão ainda mais à medida que as áreas se tornam mais quentes e secas. A Califórnia exemplifica a interação entre o uso da terra e as mudanças climáticas pois são projetados para o estado, até o final do século 21, sob altas rotas globais de emissões de gases de efeito estufa (GEE), aumentos de 77% na área anual queimada e 178% na área máxima queimada (SINGLETON et al., 2018; WESTERLING; DISCLAIMER; BROWN, 2018). A Organização Mundial de Meteorologia (2023) destaca os incêndios florestais no Havaí, Canadá e Europa que levaram à perda de vidas, destruição de casas e poluição atmosférica em grande escala. Além de inundações associadas a chuvas extremas do Mediterrâneo, o ciclone Daniel afetou a Grécia, a Bulgária, a Turquia e a Líbia. O relatório

também destaca que os perigos meteorológicos e climáticos exacerbam os problemas com segurança alimentar, deslocamentos populacionais e os impactos nas populações vulneráveis em muitas partes do mundo, e continuam a ser motivo de preocupação em 2023.

### 3.1.1 – Soluções de adaptação e mitigação frente as mudanças climáticas

Diante dos cenários futuros alarmantes, soluções de adaptação e mitigação aplicáveis são discutidas por diferentes autores. Segundo Wamsler et al. (2020b), ampliar o foco em relação aos fundamentos da relação humana com a natureza geram múltiplos benefícios, incluindo adaptação às mudanças climáticas. Visto que, as áreas urbanas são sistemas ambientais humanitários que dependem, fundamentalmente dos ecossistemas, conceitos de serviços ecossistêmicos (ES) e soluções baseadas na natureza (SBN) são novas abordagens que reconhecem a dependência das sociedades humanas e seu desenvolvimento em sistemas naturais (MA, 2005).

O planejamento da adaptação com base na natureza é um esforço desafiador, até porque requer abordagens transdisciplinares para unir esforços e capacidades de diferentes atores (WAMSLER et al., 2020b). No entanto, o conhecimento empírico nos processos de governança associados é escasso e fragmentado e há uma necessidade de traduzir o conhecimento sobre soluções baseadas na natureza para futuras políticas e planejamentos (CHAUSSON et al., 2020; FRANTZESKAKI, 2019; WAMSLER et al., 2020b).

Frantzeskaki (2019) afirma que problemas ambientais, como as alterações climáticas, desafiam as capacidades das cidades para encontrar e gerir soluções sozinhas, portanto, a mudança de foco é a parceria com outros atores sociais capazes ao longo do tempo. Entretanto, é importante destacar que embora exista um consenso generalizado de apoio, estes exigem abordagens transdisciplinares. Dentre elas, nomeadamente envolvendo os cidadãos no processo de mudança e de encontrar formas inovadoras de unir esforços e capacidades de diferentes atores. Wamsler et al. (2020a) demonstram em seus resultados que, nas condições atuais, o envolvimento do cidadão muitas vezes dificulta os resultados sustentáveis. Isto, porque, os cidadãos são mais propensos a se envolver em questões relacionadas com a natureza do que a adaptação ao clima. Sendo, portanto, necessário estabelecer mecanismos e estruturas adequadas que possam ultrapassar os constrangimentos atuais e apoiar todos os níveis e fases da integração para criar novas narrativas.

Na discussão sobre como as cidades podem efetivamente integrar soluções baseadas na natureza para mitigar e se adaptar aos efeitos negativos das mudanças climáticas, Frantzeskaki et al. (2019) elaboram formas de avançar na agenda de planejamento e conhecimento para

soluções baseadas na natureza focando na coprodução de conhecimento, uso de indicadores e big data e novos modelos de financiamento. Um dos desafios apontados por eles diz respeito à resolução e às formas que as funções ambientais são moldadas. Isto pois, as condições influenciam as formas de trabalhar com indicadores, os quais podem operar em cenários diversos e fornecer aproximações suficientes para a tomada de decisão. Entretanto, é necessário mudanças nas culturas institucionais acostumadas a trabalhar com indicadores que podem ser facilmente transpostos de um lugar para outro e onde há uma suposição de que o conhecimento “perfeito” está disponível para tomar uma decisão (FRANTZESKAKI et al., 2019).

Chausson et al. (2020), para abordar os impactos das mudanças climáticas e riscos hidrometeorológicos sobre as pessoas, produziram o primeiro mapa sistemático global de evidências sobre a eficácia das intervenções baseadas na natureza. No geral, os estudos relataram mais sinergias do que compensações entre impactos climáticos reduzidos e resultados ecológicos, sociais e de mitigação de mudanças climáticas mais amplos. DeLosRíos-White et al. (2020) já propõem como método de adaptação às alterações climáticas o mapeamento do processo de Co-Criação do Ciclo de Vida de Soluções baseadas na natureza.

Chausson et al. (2020) concluem que as intervenções baseadas na natureza se mostram frequentemente tão ou mais eficazes do que as alternativas. Já Anderson et al. (2019) discorrem que soluções climáticas naturais não são suficientes e a descarbonização da economia deve continuar a ser uma prioridade crítica. Observam que os benefícios das soluções climáticas naturais (SCN), embora importantes, não diminuem o imperativo de mitigação dos setores de energia e indústria. A velocidade em que o poder da natureza é liberado é tão importante quanto a mitigação potencial (QIN et al., 2021). O impacto do atraso na mitigação das SCN tem sido subestimado. Dependendo do tempo necessário para a implantação da tecnologia e ganho de carbono natural, a mitigação real pode ser drasticamente atrasada e a mitigação total até 2030 ou 2050 pode ser reduzida para mais da metade em comparação com o potencial estimado. Outro ponto relevante são os trade-offs que podem surgir se a política de mitigação climática encorajar SBN com baixo valor da biodiversidade, como o reflorestamento com monoculturas não nativas (QIN et al., 2021; SEDDON et al., 2020). Com a política climática se tornando cada vez mais focada para abordagens de remoção de gases de efeito estufa, como o reflorestamento, se enfatiza a necessidade urgente de cientistas naturais e sociais se envolverem com os formuladores de políticas (SEDDON et al., 2020).

Visto que, estas alterações podem ter impactos em cascata sobre desenvolvimento nacional e progresso em direção a um desenvolvimento sustentável, em 2015, na Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU), aprovou-se o documento denominado "Transformando nosso

mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável" (ONU, 2016). Nesta assembleia os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) foram substituídos pela nova Agenda 2030, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes objetivos são globais por natureza e universalmente aplicáveis. A partir das metas globais que compõem os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), a ONU passou a incentivar os países membros a adotar este acordo, adaptando-os às suas metas nacionais e, com as devidas adequações, aos contextos subnacionais (IPEA, 2018; SILVA; BAZZOLI, 2021).

Para isso, à Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS) para desenvolver seu trabalho de assessoramento técnico e elaborar a proposta de adequação das metas globais dos ODS, o Ipea instituiu, internamente, grupos de trabalho para cuidar de cada um dos dezessete ODS. Em síntese, de um total de 169 metas globais encaminhadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), 167 foram consideradas pertinentes ao país, ainda que muitas delas tenham requerido alterações no texto para se adequarem às especificidades nacionais (IPEA, 2018).

Portanto, tanto as soluções climáticas naturais, como os ODS's, podem desempenhar um papel fundamental na habilitação do desenvolvimento sustentável dentro dos limites planetários. No entanto, seus benefícios não serão percebidos a menos que sejam implementados dentro de uma estrutura de pensamento sistêmico. É necessário reconhecer as interconexões entre clima e desenvolvimento, e assim, levar a uma ação sinérgica. Principalmente diante de uma necessidade crescente à medida que o mundo se desvia ainda mais da consecução dos ODS e do Acordo de Paris. Pesquisadores e formuladores de políticas devem garantir que o SBN possa atingir seu potencial de enfrentar a crise do clima e da biodiversidade, ao mesmo tempo em que contribui para desenvolvimento sustentável. E isso exigirá uma mudança sistêmica na maneira como realizar pesquisas e administrar as instituições (SEDDON et al., 2020; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO, 2023).

### 3.2- MODELOS CLIMÁTICOS

As consequências das mudanças climáticas representam um sério desafio para os formuladores de políticas, principalmente mediante as metas globais que devem ser alcançadas. Por isso, eles precisam de uma fonte objetiva de informações sobre o assunto, seus impactos e possíveis opções de resposta. Reconhecendo isso, a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization) e o Programa Ambiental das Nações Unidas (United Nations Environmental Programme) estabeleceram conjuntamente, em 1988, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (GRIGGS; NOGUER, 2002). Assim, o



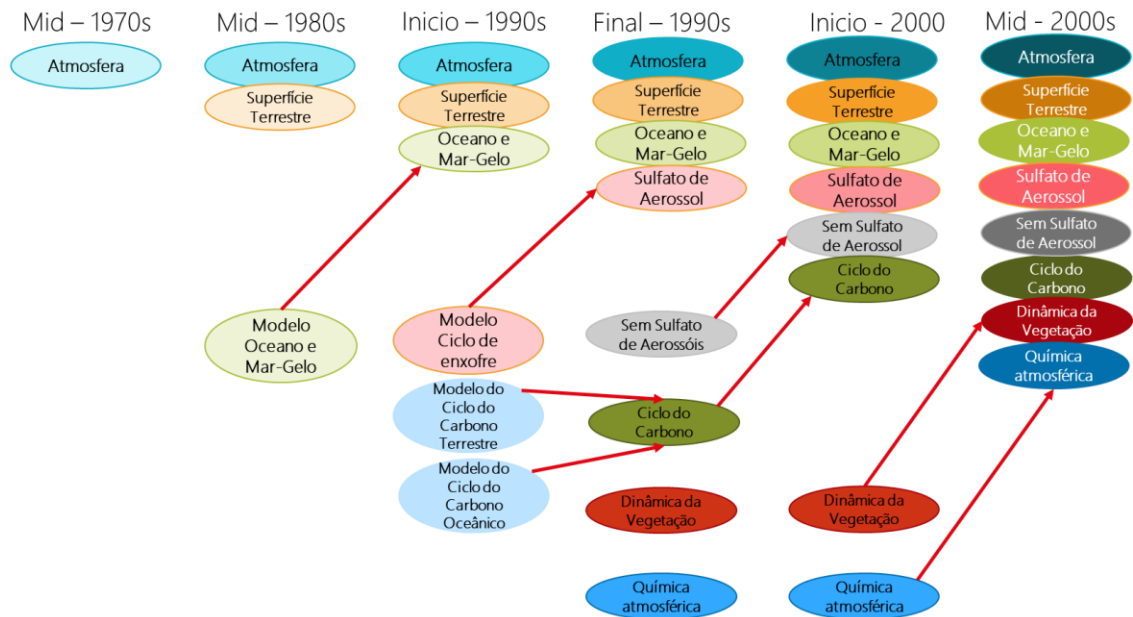
IPCC fornece informações científicas e técnicas para a Conferência das Partes (COP), da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, e seus órgãos (NOBRE; MARENGO, 2017). Os modelos de circulação geral foram definidos como a ferramenta mais desenvolvida, na época, para modelar o clima e a mudança climática (IPCC, 1992). Esses modelos são baseados nas leis da física e uso de descrições em termos físicos simplificados (chamados parametrizações), entretanto, nos relatórios IPCC 1990 e IPCC 1992 foi depositada uma confiança muito baixa nos cenários de mudanças climáticas produzidos por modelo de circulação geral, atribuída principalmente à resolução grosseira do modelo, limitações em relação às representações da física do modelo, erros na simulação de características climáticas regionais e amplo modelo inter-gama de cenários simulados de mudança regional (IPCC, 1990, 1992, 1998).

A atual geração de modelos climáticos é chamada de Modelos do Sistema Terrestre. Estes podem ser utilizados tanto para a previsão de tempo como também para estudar a variabilidade climática natural e as influências humanas, associadas às emissões de gases de efeito estufa ou às mudanças de usos da terra (SAMPAIO; DIAS, 2014) Assim, os modelos climáticos são usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, que são apresentadas usando uma ampla gama de cenários de futuras emissões de gases de efeito estufa e aerossóis (GORDON et al., 2000; GRIGGS; NOGUER, 2002; MACHADO, 2017). Boer et al. (1992) discorrem que esses modelos são sofisticados em suas técnicas matemáticas para resolver as equações governantes e que os tratamentos geram processos técnicos importantes para o sistema. Discorrem também que a capacidade de deduzir o clima atual desta forma leva ao uso do modelo para simular e compreender as mudanças climáticas. Billionnet (2013) apresenta como o uso de programação matemática pode fornecer ajuda aos tomadores de decisão na proteção da biodiversidade.

Os modelos climáticos podem ser usados para simular o clima e dar respostas sobre diferentes cenários de entrada de futuros agentes forçadores, um modelo climático é uma representação matemática simplificada do sistema climático da Terra. Ele tem sido usado como medida para investigar a sensibilidade climática de um componente do sistema terrestre nos recentes Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007, 2013) Para simulação de clima, os principais componentes do sistema de clima devem ser representados em submodelos (atmosfera, oceano, terra superfície, criosfera e biosfera), junto com os processos que acontecem dentro e entre eles (IPCC, 2001). A evolução temporal dos modelos demonstra que sua construção se dá mediante a integração de diferentes

componentes. Estes submodelos são desenvolvidos primeiro separadamente e, posteriormente, acopladas em modelos climáticos (Figura 1).

Figura 1. O desenvolvimento de modelos climáticos no passado.



Fonte: IPCC, 2001

Os Modelos Acoplados de Circulação Geral Oceano-Atmosfera (ocean-atmosphere general circulations models - OAGCMs) se tornaram um instrumento valioso na tentativa de entender e prever as mudanças climáticas (AMBRIZZI et al., 2007). Murphy (1995) reconhece que os modelos de circulação geral que acoplam a atmosfera e o oceano são necessários para prever a resposta transitória do clima ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa atmosféricos. Johns et al. (1997) já diziam que apenas modelos de circulação geral oceano-atmosfera que incluem representações abrangentes da atmosfera do mundo, superfície terrestre, oceano e componentes do gelo marinho, cuidadosamente validados contra o clima observado, oferecem a possibilidade de explorar os feedbacks complexos no sistema climático e as interações entre regional, forçantes e respostas climáticas globais. Gordon et al. (2000) já discorriam que uma das principais desvantagens desses modelos globais se davam pelas grandes variações climáticas que ocorriam quando eram usados para simular o clima atual.

Schewe et al. (2019) descobriram, usando a onda de calor e a seca europeia de 2003, que a maioria dos modelos subestima a extrema gravidade dos impactos em setores importantes, dentre eles a agricultura, ecossistemas terrestres e mortalidade humana relacionada ao calor. Quanto aos impactos sobre recursos hídricos e hidrelétricas afirmam que são superestimados em algumas bacias hidrográficas e a dispersão entre os modelos muitas vezes é grande.

Portanto, há implicações importantes para as avaliações econômicas dos impactos das mudanças climáticas que dependem dos modelos e que os riscos sociais de futuros eventos extremos podem ser maiores do que se pensava anteriormente.

Portanto, em qualquer instância, muitos usuários de dados de modelos climáticos exigem alguma forma de correção de viés, às vezes chamada de ajuste de viés, que pode ser definido, para um contexto de modelagem climática, como a diferença sistemática entre uma estatística climática simulada e a estatística climática do mundo real correspondente (MARAUN, 2016). Como as condições de escoamento são fortemente controladas pelo clima, quaisquer incertezas nas projeções sobre o clima futuro se traduzem diretamente em incertezas no escoamento futuro (KLING; FUCHS; PAULIN, 2012). As origens da correção de viés remontam às chamadas estatísticas de saída do modelo na previsão numérica do tempo (GLAHN; LOWRY, 1972). Maraun (2016) afirma que devido à sua relativa simplicidade e baixa demanda computacional, juntamente com bases de dados crescentes de simulações de modelos climáticos globais e regionais, a correção de viés tornou-se muito popular na pesquisa de impacto climático. Nos últimos anos, muitos métodos diferentes foram desenvolvidos e amplamente aplicados para projeções climáticas pós-processo (MARAUN, 2016).

Para a realização de projeções futuras do clima, os modelos do sistema terrestre são forçados por um conjunto de condições de contorno determinadas por cenários de emissões antropogênicas de dióxido de carbono e outros gases radiativamente ativos. Tais cenários de emissões representam uma faixa de desenvolvimento socioeconômico e suas emissões associadas e baseiam-se em projeções da população, desenvolvimento socioeconômico, produto interno bruto, usos e fontes de energia, entre outros parâmetros (SAMPAIO; DIAS, 2014).

### 3.2.1- Modelo AWI-CM-1-1-MR

O modelo AWI-CM-1-1-MR foi desenvolvido pelo Alfred Wegener Institute Climate Model (AWI-CM), o qual participa pela primeira vez do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP), CMIP6 (SEMMLER et al., 2020).

O componente gelo marinho-oceano, FESOM (Finite Element Sea Ice-Ocean Model) é acoplado ao Modelo atmosférico ECHAM 6.3 do Instituto Max Planck com uma resolução horizontal de cerca de 100 km (SEMMLER et al., 2020).

O componente de gelo marinho-oceano do AWI-CM é o Modelo FESOM (DANILOV; KIVMAN; SCHRÖTER, 2004; WANG et al., 2014) ele usa malhas não estruturadas com resoluções horizontais variando de 8 a 80 km, que permitem simulações da dinâmica do oceano

e do gelo marinho com resolução de grade variável. Isso também permite o refinamento da resolução para áreas onde a dinâmica de pequena escala é predominante, como realizado por Sein et al. (2016, 2017). Além disso, as variáveis selecionadas também são disponíveis em malhas regulares de latitude-longitude (SEMMLER et al., 2020).

O componente atmosférico do AWI-CM é o modelo atmosférico espectral ECHAM6.3.04p1 do MPI-M (Max Planck Institute for Meteorology) (STEVENS et al., 2013) que é usado aqui sem nenhuma modificação ou ajuste adicional. Esta versão também é usada na contribuição do MPI-M para o CMIP6.

Uma descrição mais detalhada dos componentes AWI-CM e uma avaliação de seu estado médio e variabilidade são fornecidas em Sidorenko et al. (2015) e Rackow et al. (2018), respectivamente. AWI-CM simula de forma realista muitos aspectos do clima moderno, mostrando um desempenho geral que geralmente é melhor do que os modelos climáticos mais realistas participantes do CMIP5 (RACKOW et al., 2019; RACKOW; JURICKE, 2020; SEMMLER et al., 2020).

### 3.2.2 - Cenários futuros de mudanças climáticas

Os cenários de emissão e concentração de gases de efeito estufa são usados como forçantes dos modelos climáticos na obtenção de projeções sobre o clima global, portanto, são representações plausíveis das emissões futuras de Gases de Efeito Estufa (GEE) baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes radioativas, tais como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas (MACHADO, 2017; SOARES, 2022).

O quarto relatório do IPCC define força radiativa como a diferença em irradiância líquida na tropopausa, em unidades de  $W/m^2$ , entre um estado de referência e um estado perturbado. A perturbação ocorre pela ação de um agente forçante enquanto as temperaturas de superfície e da troposfera são mantidas fixas, mas permitindo-se que a estratosfera atinja o equilíbrio radiativo. Ou seja, é uma medida da mudança no balanço energético como resultado da alteração de um agente forçante (por exemplo, gases de efeito estufa, aerossol, nuvem e albedo da superfície) capaz de afetar o balanço energético global e contribuir para a mudança climática (CORREIA; YAMASOE, 2014; IPCC, 2007). Assim, as avaliações das vulnerabilidades, locais, regionais ou nacionais, são dadas pelas estimativas dos impactos potenciais causados pelas mudanças climáticas baseados nestes cenários climáticos futuros (IPCC, 2001; MACHADO, 2017).

Em 1992, o IPCC divulgou cenários de emissão para serem usados no impulsionamento de modelos de circulação global e desenvolver cenários de mudança climática (IPCC, 2002). Esses modelos são denominados cenários A1, A2, B1 e B2, onde ‘A’ e ‘B’ significam baixo e alto comprometimento com o desenvolvimento sustentável, e ‘1’ e ‘2’, a integração ou fragmentação regional, respectivamente (IPCC, 2001, 2002; GUARDA; DURANTE; CALLEJAS, 2020). O relatório AR5 do IPCC de 2013 introduziu os novos cenários RCPs (Representative Concentration Pathways) (SOARES, 2022).

Os cenários RCPs foram desenvolvidos no âmbito do projeto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), em 2007, que levam em conta os impactos das emissões. Estes são identificados por sua forçante radiativa total, a ser atingida durante ou próximo ao final do século XXI e cada RCP provê conjuntos de dados, espacialmente distribuídos, de mudanças no uso da terra e de emissões setoriais de poluentes do ar e especifica as concentrações anuais de gases de efeito estufa e as emissões antropogênicas até o ano 2100. Grupos de trabalho interdisciplinares elaboraram estes cenários que usam um sistema mais completo levando em conta o quanto haverá de alteração no balanço de radiação no sistema terrestre. Os principais RCPs são: RCP 2.6 (Baixas emissões), RCPs 4.5 e 6.0 (estabilização de médias emissões de GGE) e o RCP 8.5 (altas emissões) (IPCC, 2013; SOARES, 2022).

Na preparação para o IPCC AR6, em 2014, a comunidade de modelagem desenvolveu um novo conjunto de cenários de emissões. Estes foram impulsionados por diferentes premissas socioeconômicas, que são os SSPs (Shared Socio-Economic Pathways - Caminhos Socioeconômicos Compartilhados) (SOARES, 2022). O ponto de partida das SSPs é a criação de narrativas com trajetórias plausíveis e coerentes de desenvolvimento. Estas buscam sintetizar e traduzir dinâmicas qualitativas em quantitativas, em termos populacionais, econômicos, energéticos e, conseqüentemente, em emissões de gases de efeito estufa (MARQUES SILVA, 2023; RIAHI et al., 2017). Para maximizar a utilidade da avaliação dos cenários pela comunidade, foram utilizados os níveis nominais de forçamento radiativo dos RCP (2,6, 4,5, 6,0 e 8,5 W/m<sup>2</sup> em 2100) como metas climáticas de longo prazo para os cenários de mitigação.

Cada um dos cenários SSPs resulta em níveis de forçamento radiativo semelhantes aos de seu cenário predecessor (RCP do AR5) em 2100. Entretanto, o cenário SSP1-2.6 mostra um declínio mais gradual nas emissões do que RCP 2.6 e um ponto de partida mais alto, refletindo em parte que as emissões de 2007-2014 foram notavelmente maiores do que o esperado no cenário RCP 2.6 do CMIP5. O SSP5-8.5 tem emissões de CO<sub>2</sub> substancialmente mais altas do que o RCP 8.5. As trajetórias do SSP abrangem uma gama mais ampla de emissões de poluentes

atmosféricos do que considerados nos cenários RCP (IPCC, 2007, 2014, 2023; RIAHI et al., 2017; SOARES, 2022).

Os cenários de base do SSP1 mostram o panorama climático mais baixo, com cerca de  $5\text{W/m}^2$  (faixa de  $5,0 - 5,8\text{W/m}^2$ ), entre 200 e 400 ppm de concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$ . O cenário SSP5-8.5 é considerado um cenário de elevado forçamento radiativo e estabiliza o forçamento radiativo em  $8,5\text{ W/m}^2$  em 2100 (entre 400 e 2.000 ppm de concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$ ) (LIN; ZHAO; FENG, 2022). Em resumo, o  $\text{CO}_2$  total e o  $\text{CO}_2$  provenientes de emissões de gases de efeito estufa e o forçamento radiativo resultante correlacionam-se bem com os desafios à mitigação em todos os SSPs (IPCC, 2023; RIAHI et al., 2017).

Os cenários são marcados por narrativas projetadas para abranger uma gama de futuros em termos de desafios socioeconômicos que implicam na mitigação e adaptação às alterações climáticas. As cinco narrativas propostas do SSP (O'NEILL et al., 2017) compreendem narrativas textuais descritivas de como o futuro pode se desenrolar em termos de tendências sociais e são um importante complemento às projeções do modelo quantitativo. Portanto, buscam apresentar o contexto para que a comunidade de usuários entenda melhor o fundamento e significado das projeções quantitativas dos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (RIAHI et al., 2017). A presente pesquisa se propôs a comparar as narrativas SSP1 e SSP5 que se diferem, basicamente, em termos de sistemas energéticos e de uso do solo. Fatores que resultam em diferentes níveis de emissões de  $\text{CO}_2$  projetados e forte correlação com os desafios futuros de mitigação.

A narrativa SSP1 contempla um futuro sustentável com baixos desafios para mitigação e adaptação. A gestão dos bens comuns globais melhora lentamente, os investimentos na educação e na saúde aceleram a transição demográfica e a ênfase no crescimento econômico muda para uma ênfase mais ampla ao bem-estar humano. A desigualdade é reduzida tanto entre como dentro de cada país e o consumo é orientado para o baixo crescimento material e menor intensidade de recursos e energia. A narrativa SSP5 possui o desenvolvimento alimentado por Fósseis, com elevados desafios para mitigação, baixos desafios para adaptação. Este cenário considera um mundo que deposita cada vez mais fé nos mercados competitivos, na inovação e nas sociedades. Visando produzir um rápido progresso tecnológico e desenvolvimento do capital humano como caminhos para o desenvolvimento sustentável. Considera que os mercados globais estarão cada vez mais integrados. E haverá fortes investimentos em saúde, educação e instituições para melhorar capital humano e social. Entretanto, o impulso para o desenvolvimento econômico e social está associado à exploração de recursos abundantes de

combustíveis fósseis e à adoção de estilos de vida intensivos em recursos e energia em todo o mundo. Os problemas ambientais locais, como a poluição do ar, são geridos com sucesso. Há fé na capacidade de gerir eficazmente os problemas sociais e ecológicos, inclusive por geoengenharia, se necessário (O'NEILL et al., 2017; RIAHI et al., 2017).

O segundo passo no desenvolvimento dos SSPs compreendeu a tradução das narrativas qualitativas em projeções quantitativas para os principais impulsionadores socioeconômicos dos caminhos: população, educação, urbanização e desenvolvimento econômico. Em consonância com as narrativas, a população é mais baixa no SSP1 e SSP5, atingindo cerca de 7 bilhões de pessoas até 2100. Os resultados em termos de composição educacional para os cenários SSP1 e SSP5 melhora dramaticamente, com o nível médio de educação no globo, em 2050, atingindo aproximadamente o nível atual da Europa. A quantificação das tendências de urbanização segue as tendências históricas (JIANG; O'NEILL, 2017). As projeções mostram que o mundo continua a urbanizar-se em todos os SSPs, mas as taxas de urbanização diferem amplamente entre eles, com a urbanização atingindo entre 60% (SSP3), 80% (SSP2) e 92% (SSP1, SSP4, SSP5) pelo final do século. Vale ressaltar que a urbanização é considerada rápida tanto no SSP1 quanto no SSP5, pois estão associados com alto crescimento da renda. Entanto, no SSP1 a rápida urbanização é dada a alta eficiência que áreas urbanas compactas podem alcançar, enquanto no SSP5 as cidades se tornam destinos atraentes devido, por exemplo, a mudança tecnológica. Em termos de projeções econômicas (PIB) para os caminhos, o SSP5 retrata um desenvolvimento e uma convergência muito rápidos entre os países com perspectivas de longo prazo, com níveis de renda média global se aproximando de quase 140.000 dólares americanos por ano (referência de cotação de 2005) em 2100. Os desenvolvimentos mais equitativos são representados por SSP1 e SSP5, ambos apresentando uma rápida recuperação dos países atualmente pobres do mundo (DING; SUN, 2023; LIN; ZHAO; FENG, 2022; MARQUES SILVA, 2023; RIAHI et al., 2017).

Todos os cenários do SSP retratam mudanças no uso da terra em resposta a demandas agrícolas e industriais, como alimentos, madeira e bioenergia. A natureza e a direção dessas mudanças são, no entanto, fundamentalmente diferentes entre eles. O cenário SSP1 apresenta uma transformação sustentável da terra pouca pressão sobre os recursos terrestres, comparativamente com os outros cenários. Consistente com sua narrativa, este cenário retrata uma reversão de tendências históricas, incluindo uma gradual, expansão em escala global e generalizada de florestas e outros recursos naturais terras. Assim, a maior dependência de combustíveis fósseis da linha SSP5 resultará em maiores emissões de CO<sub>2</sub> e num maior desafio de mitigação. Da mesma forma, que a dependência comparativamente baixa dos combustíveis

fósseis e o aumento implantação de fontes de energia não fósseis, da linha SSP, resulta em menores emissões de CO<sub>2</sub> e menores desafios de mitigação (RIahi et al., 2017).

### 3.3 -VULNERABILIDADES CLIMÁTICAS NO ESTADO

A mudança na concentração de gases de efeito estufa tem causado um evidente aumento gradual da temperatura global que pode alterar outros campos meteorológicos, como a precipitação (SILVEIRA et al., 2013; IPCC, 2021). Sendo a precipitação a variável climática com maior variabilidade em regiões tropicais e também um fator fundamental de processos relacionados com a ocorrência de desastres naturais (inundações e deslizamentos de terra) ou eventos extremos (seca e umidade), o monitoramento das chuvas e a comparação com registros históricos são essenciais para setores da sociedade, como geração de energia, atividades turísticas, agricultura, indústria produção, engenharia civil e planejamento urbano (LYRA et al., 2018). Portanto, pesquisas sobre padrões espaciais e temporais da precipitação pluviométrica, no Estado do Rio de Janeiro, são fundamentais para subsidiar as atividades nas áreas do Estado e diferentes autores buscam mapear esses padrões utilizando diferentes métodos de interpolação (RIO et al., 2016; FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017; LYRA et al., 2018).

O sul do estado fluminense, onde a Serra do Mar aproxima-se do litoral, apresenta um clima Tropical Atlântico, onde o índice pluviométrico anual ultrapassa 2.500 mm. No entanto, a pluviosidade sofre significativa variação ao longo do ano, os seis meses com maior valor pluviométrico na região hidrográfica da baía da Ilha Grande (RHBIG), representam 70% do valor anual (FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017). Como apontado por Aires et al. (2022), sobre o desastre no município de Angra dos Reis, em 2010, a presença de relevo acidentado combinada com o evento de precipitação extrema de 440 mm ocorrido em 36 horas, além da ocupação desordenada do solo sem o devido planejamento urbano contribuíram para a ocorrência do desastre. Neste, 52 pessoas morreram, centenas ficaram desabrigadas, sendo declarado Estado de Calamidade Pública.

No entanto, enquanto a Região Sul do Estado apresenta altas taxas pluviométricas, a Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro (RNERJ), onde se observa o desenvolvimento de atividades agrícolas significativas para o desenvolvimento econômico e social, apresentam totais anuais da ordem de 1.000 mm (NORONHA; AQUINO; MASSERA, 2016).

No Estado do Rio de Janeiro, segundo Noronha, Aquino e Massena (2016), se tem dado mais importância às enchentes e suas consequências do que para impactos de secas meteorológicas. Os principais fatores que afetam a desertificação, ao considerar o clima, são altas temperaturas e baixa precipitação, o que leva a má formação de matéria orgânica e rápida



oxigenação nos solos, aumentando os dados da erosão (SANTOS et al., 2021). Alguns municípios, como o de São José de Ubá, vêm se deparando com a degradação das paisagens, com sinais dos impactos da erosão e do empobrecimento dos solos (NORONHA; AQUINO; MASSERA, 2016). Assim, a região em função da escassez hídrica dos últimos anos, vem sofrendo sérias restrições de abastecimento de água para consumo humano e animal. O desmatamento excessivo das florestas, o uso e o manejo inadequado dos solos conduziram a processos erosivos, tornando o solo menos permeável. Estes fatores, por consequência, geram um prejuízo em relação à plena recarga dos sistemas hídricos, levando ao desaparecimento de rios temporários, ao assoreamento dos rios e à migração de nascentes, o que compromete a manutenção dos ecossistemas e a produção agropecuária da região (MORAES, 2007).

Além dos problemas climáticos as estruturas econômicas e sociais amplificam os impactos causados pelo aumento de períodos secos. Sabe-se que a região noroeste fluminense apresenta baixo IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), com participação somente de 1% do PIB do Estado e com a economia local basicamente agropecuária (pecuária leiteira). Na tese de Moraes (2007), ele discorre que na região noroeste do Estado, em função da escassez hídrica, apresenta sérias restrições de abastecimento de água para consumo humano e animal.

A região norte, também é caracterizada pela pobreza e pela concentração fundiária de terras, apesar de possuir royalties da exploração de petróleo (bacia de Campos) e muitas indústrias do setor petrolífero. De forma geral, as terras são férteis, mas existem cultivos intensivos de cana para geração de etanol e um modelo de agricultura extensiva e a paisagem é marcada por relevo plano com extensas áreas de pastagem degradada (SANTOS, 2019; TCE-RJ, 2021). Santos et al. (2021) estima a sucessibilidade a desertificação do Sudeste brasileiro e dentre suas conclusões o Norte do Estado do Rio de Janeiro está suscetível à desertificação e, portanto, requer ação urgente de políticas públicas para reverter a situação atual e mitigar impactos futuros. A ocorrência de secas como consequência de alteração climática, em várias regiões do globo terrestre, na década de setenta, evidenciou a vulnerabilidade do homem a esse risco climático, demonstrando a necessidade de melhor entendimento, melhor previsão de sua ocorrência e uso correto de medidas mitigatórias (NORONHA; AQUINO; MASSERA, 2016; SANTOS et al., 2021).

Além das secas, a frequência de chuvas é outro fator que influencia nas perdas de solo, pois se os intervalos entre elas foram curtos, o conteúdo de umidade do solo ainda pode estar alto, e com isso, as enxurradas serão mais volumosas mesmo a intensidade da chuva não sendo tão elevada (MACHADO, 2011). O aumento de eventos de chuva intensa são responsáveis por

enchentes e deslizamentos de terra e normalmente causam diversos transtornos à sociedade e acarretam prejuízos socioeconômicos.

Por consequência das chuvas de verão fortes e concentradas, anualmente, dezenas de pessoas morrem e milhares são afetadas em decorrência de desastres naturais na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em especial por inundações e movimentos de massa (DOURADO; COUTINHO ARRAES; E SILVA, 2012). A catástrofe que atingiu a região em janeiro de 2011, produziu vários deslizamentos de encostas matando mais de 900 pessoas e desabrigando milhares. Entretanto, apesar dos deslizamentos e das fortes chuvas serem fenômenos comuns nessa região, o evento catastrófico surpreendeu pela magnitude, abrangência e poder de destruição. Oliveira-Filho (2012) destaca que o agravamento dos impactos socioambientais estava relacionado ao processo desordenado de ocupação das encostas, e com este evento ficou constatado que o país ainda não possui um plano consolidado para enfrentamento de desastres ambientais.

Os episódios de chuva forte na Região Sudeste geralmente estão associados com a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (QUADRO, 1999; SANCHES, 2002; SANTIS, 2022), sistemas frontais (DA SILVA et al., 2019; ESCOBAR; DE ALMEIDA MARQUES; DEREZYNSKI, 2022; SELUCHI; CHOU, 2009) ou com sistemas convectivos isolados (PRISTO et al., 2018; TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2007). Além disso, áreas serranas sofrem o efeito da topografia. Andrade et al. (2015) afirmam que especialmente na estação chuvosa, estes episódios são comuns sobre o Sudeste do Brasil, mas, a particularidade de alguns fenômenos está no volume acumulado de chuva, que algumas vezes é considerado extremo. Concluem também que a orografia da Região Serrana do Rio de Janeiro e da Serra do Mar favorecem a intensificação da atividade convectiva que resulta nos eventos de chuva intensa no período analisado por eles (17 e 18/03/2013) (ANDRADE; PINHEIRO; DOLIF NETO, 2015).

Diante, portanto, das previstas variações climáticas em decorrência das mudanças climáticas, Frantzeskaki et al. (2019) afirmam que as cidades deverão estar na linha de frente das respostas globais para as alterações climáticas. Isto pois, possuem as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa e com grandes populações vulneráveis aos impactos e riscos de um clima em mudança. Fatores que influenciam diretamente o desenvolvimento em âmbito regional e nacional e o progresso em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O Instituto Cidades Sustentáveis (2021) apresentaram um panorama de todos os municípios do Brasil com relação ao alcance das metas propostas pelos ODS's. Para tal, eles

estabeleceram algumas classificações. Dentre elas, uma pontuação geral, que mede o progresso total das cidades para a realização de todos os 17 ODS. Assim, para o Estado do Rio de Janeiro, se observa que a única cidade que possui pontuação geral considerada alta (60 a 79,99) é Niterói, com 60,47. São Francisco de Itabapoana é a única com pontuação considerada muito baixa (0 a 39,99), possuindo pontuação igual a 39,52. As outras cidades permanecem em uma pontuação média (50 a 59,99) ou Baixa (40 a 49,99) (INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2021).

O Instituto Cidades Sustentáveis (2021) também classifica mediante uma pontuação específica. Esta indica o nível de desafios dos municípios para o alcance de cada um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Ao focar no ODS 13, “Ação contra a mudança global do clima”, descrito como “Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”, foi possível observar o desempenho dos municípios do Rio de Janeiro. Barra Mansa e Niterói foram os únicos que já conseguiram atingir este objetivo. São Francisco de Itabapoana, Macuco, Sapucaia e Rio das Flores ainda apresentam grandes desafios para o alcance das metas. Sendo relevante destacar que os indicadores utilizados pelos autores para definir como ODS atingido foram os de emissões de CO<sub>2</sub>e per capita, concentrações de focos de calor, proporção de estratégias para gestão de riscos e prevenção a desastres naturais e percentual de município desflorestado.

### 3.4- BIBLIOMETRIA

A ampliação do conhecimento científico e tecnológico apresenta a possibilidade de um amplo número de produção e publicações na comunidade científica, especialmente por oferecer o uso dos meios eletrônicos (DA SILVA; DOS SANTOS; RODRIGUES, 2011). Os congressos e revistas científicas são os canais midiáticos mais adequados e rápidos utilizados para publicar pesquisas de reconhecido valor para a sociedade acadêmica (MEDEIROS et al., 2015). Visto que, a bibliometria assume papel primordial na análise do comportamento da produção científica e possibilita o aumento da visibilidade das novas fontes de informações e conhecimentos, esta possibilita o direcionamento de investigações sobre o tema e contribuem para obtenção de indicadores da produção científica, identificando temporalidade, origem dos trabalhos, temas e metodologias empregadas (DE OLIVEIRA et al., 2023). Assim, as análises bibliométricas representam um método bem estabelecido para analisar e mensurar as publicações em uma área científica de interesse (FILSER; DA SILVA; DE OLIVEIRA, 2017). Se tornando, portanto, uma ferramenta valiosa para traçar um panorama de pesquisas sobre um tema alvo.

A origem da bibliometria se deu diante da preocupação acerca da mensuração do valor científico de publicações enquanto referências bibliográficas e atualmente vai muito além de sua proposta inicial (ARAÚJO, 2006; MEDEIROS et al., 2015; ELLEGAARD, 2018).

Inicialmente, tinha como foco medidas de livros, como quantidade de edições, palavras contidas nos exemplares, espaço de ocupação nas bibliotecas ou estatísticas relativas à esta indústria. Aos poucos se voltou para o estudo de diferentes formatos de produção bibliográfica, como artigos de periódicos e outros tipos de documentos. E depois a bibliometria ocupou-se, também, da produtividade de autores e do estudo de citações. É uma ferramenta analítica que pode ser usada em contextos muito diferentes, como medições tradicionais de impacto de citação até a identificação de substâncias problemáticas no meio ambiente (DE LIMA, 1986; ARAÚJO, 2006; ELLEGAARD, 2018). E deve-se ao pesquisador Samuel Clement Bradford (1878-1948) a abertura do campo da bibliometria, com enfoque menos bibliográfico (qualitativo) e mais documentalista (quantitativo), sua obra mais importante foi o livro *Documentation*, publicado em 1948, ano de sua morte (ALVARES; ARAÚJO JÚNIOR, 2010).

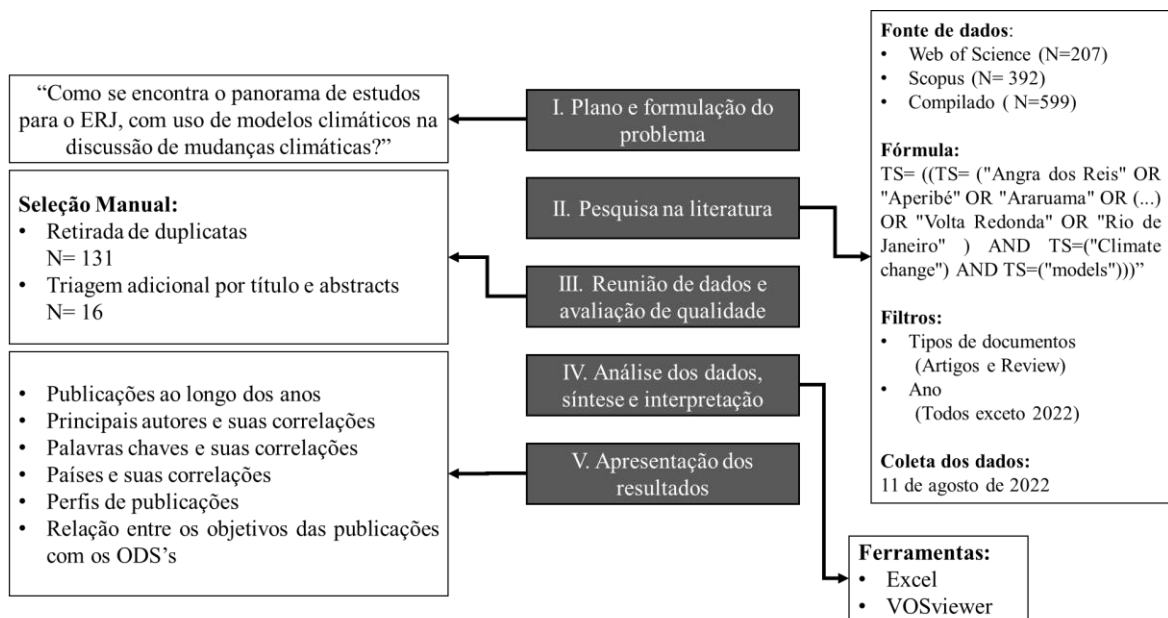
No Brasil, a aplicação de métodos quantitativos à ciência da informação foi iniciada nos anos 70 e sob o impulso inicial de Tefko Saracevic, no curso de mestrado do IBICT/UFRJ (DE LIMA, 1986). Estes estudos incluem, sob o termo bibliometria, todas as análises quantitativas que, aplicando modelos e métodos matemáticos e estatísticos, se propõem a estudar o comportamento e os efeitos da informação registrada (DE LIMA, 1986; FILSER; DA SILVA; DE OLIVEIRA, 2017; ELLEGAARD, 2018).

## 4- MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1- ANÁLISE BIBLIOMETRICA

As análises serviram como base para subsidiar a etapa seguinte desta pesquisa (Figura 2). Buscou-se através de uma análise bibliométrica (ELLEGAARD, 2018) apresentar um panorama sobre os estudos que utilizam modelos como ferramenta ou base teórica para a discussão das mudanças climáticas, tendo como alvo abordar o Estado do Rio de Janeiro.

Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa bibliométrica.



Fonte: Autora, 2023.

#### 4.1.1 – Pesquisa na Literatura

Os dados para a análise bibliométrica foram coletados usando os bancos de dados que representam as principais bases de busca, comumente usados em análises bibliométricas: i) Scopus da Elsevier e ii) Web of Science (WoS) da Thomson Reuters (FILSER; DA SILVA; DE OLIVEIRA, 2017; COSTA et al., 2021) A escolha dessas bases justifica-se pelo fato da Scopus representar a maior base de dados bibliométricos disponível na Web e a WoS oferecer a cobertura mais completa de periódicos científicos online e se comunicar com a Scielo, base nacional relevante pois se objetiva analisar parte do território brasileiro (PACKER, 2014; FILSER; DA SILVA; DE OLIVEIRA, 2017). Além disto, as bases permitem a extração de metadados específicos para análises bibliométricas (IRITANI et al., 2015).

A busca cobriu as palavras-chave relacionadas ao tema de Mudanças climáticas, Modelos Climáticos e o nome de todos os municípios do Estado do Rio de Janeiro, com grafia em língua inglesa ((TS= ("Angra dos Reis" OR "Aperibé" OR "Araruama" OR "Areal " OR

"Armação de Búzios " OR "Arraial do Cabo" OR "Barra do Piraí " OR "Barra Mansa " OR "Belford Roxo" OR "Bom Jardim" OR "Bom Jesus do Itabapoana" OR "Cabo Frio " OR "Cachoeiras de Macacu" OR "Cambuci" OR "Campos dos Goytacazes" OR "Cantagalo" OR "Carapebus" OR "Cardoso Moreira" OR "Carmo" OR "Casimiro de Abreu" OR "Comendador Levy Gasparian" OR "Conceição de Macabu" OR "Cordeiro" OR "Duas Barras" OR "Duque de Caxias" OR "Engenheiro Paulo de Frontin" OR "Guapimirim" OR "Iguaba Grande" OR "Itaboraí" OR "Itaguaí" OR "Italva" OR "Itaocara" OR "Itaperuna" OR "Itatiaia" OR "Japeri " OR "Laje do Muriaé" OR "Macaé" OR "Macuco" OR "Magé" OR "Mangaratiba" OR "Maricá" OR "Mendes" OR "Mesquita" OR "Miguel Pereira" OR "Miracema" OR "Natividade" OR "Nilópolis" OR "Niterói" OR "Nova Friburgo" OR "Nova Iguaçu" OR "Paracambi" OR "Paraíba do Sul" OR "Paraty" OR "Paty do Alferes" OR "Petrópolis" OR "Pinheiral" OR "Piraí" OR "Porciúncula" OR "Porto Real" OR "Quatis" OR "Queimados" OR "Quissamã" OR "Resende" OR "Rio Bonito" OR "Rio Claro" OR "Rio das Flores" OR "Rio das Ostras" OR "Santa Maria Madalena" OR "Santo Antônio de Pádua" OR "São Fidélis" OR "São Francisco de Itabapoana" OR "São Gonçalo " OR "São João da Barra" OR "São João de Meriti" OR "São José de Ubá" OR "São José do Vale do Rio Preto" OR "São Pedro da Aldeia" OR "São Sebastião do Alto" OR "Sapucaia" OR "Saquarema" OR "Seropédica" OR "Silva Jardim " OR "Sumidouro" OR "Tanguá" OR "Teresópolis" OR "Trajano de Moraes" OR "Três Rios" OR "Valença" OR "Varre-Sai " OR "Vassouras" OR "Volta Redonda" OR "Rio de Janeiro" ) AND TS=("Climate change") AND TS=("models"))). Foram recuperados artigos relevantes na base de dados com o uso de filtros de pesquisa específicos, que limitava os tipos de documento para apresentar somente aqueles classificados como “pesquisa” ou “revisão”, e excluindo o ano de 2022. A pesquisa teve início em 11 de agosto de 2022, obtendo 207 documentos publicados na WoS e 392 na Scopus.

#### 4.1.2- Reunião de dados e avaliação de qualidade

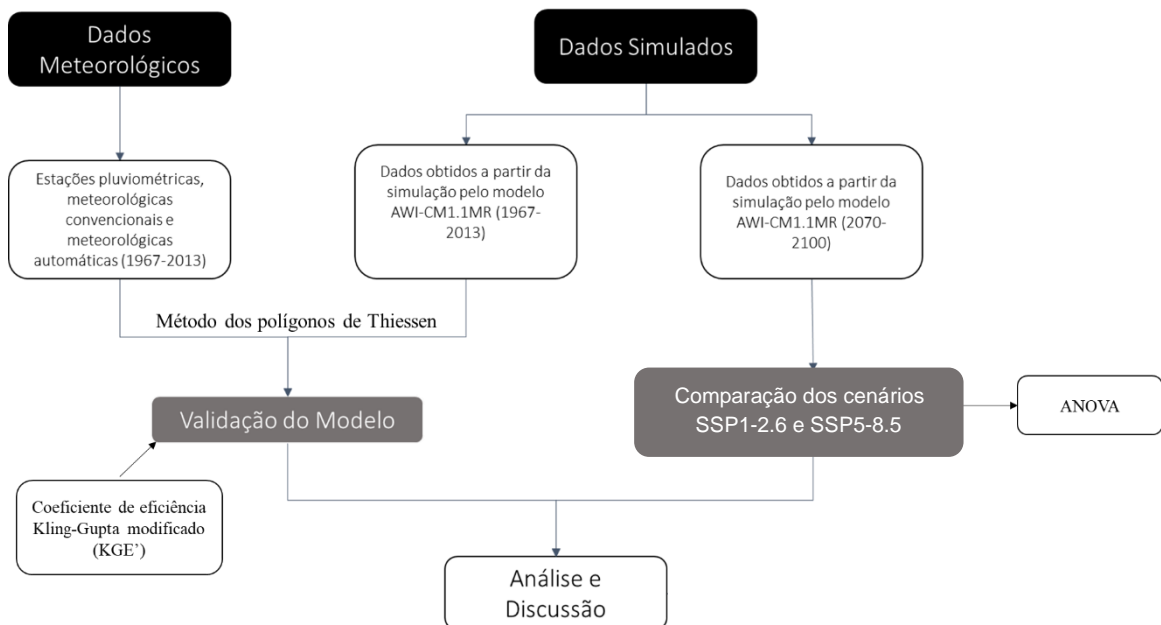
Para efetuar a análise, os artigos foram baixados diretamente das respectivas plataformas, com o registro completo dos dados, no formato .csv (Excel) para a Scopus e em formato de documento de texto (.txt) para a WoS. Após os devidos ajustes, uma planilha foi criada utilizando o Microsoft Excel® 365 (2020) com um compilado das duas bases para o refino das duplicatas. Os artigos que apareciam em mais de uma base foram contabilizados e chegaram a um total de 131 duplicatas. Sendo importante destacar que na base Scopus dois artigos estavam duplicados na própria base. Contando assim com compilado de 466 artigos para análise.

Como algumas publicações recuperadas não estavam intimamente relacionadas com o tópico, para coletar dados úteis, foi realizada uma seleção manual com uma triagem de título e resumo das publicações, para assim, obter dados de pesquisas qualificadas. Os critérios para exclusão desses artigos foi principalmente trazer informações relevantes para o estudo de mudanças climáticas no Estado do Rio de Janeiro. Portanto, foram excluídos somente os artigos que tinham foco de estudo específico para outra localidade, obtendo-se 33 artigos. Destes, 16 utilizavam modelos climáticos e foram utilizados para apresentação dos resultados.

#### 4.2 – SIMULAÇÕES PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A figura 3 ilustra as etapas realizadas na metodologia da pesquisa documental.

Figura 3. Fluxograma das etapas da pesquisa.



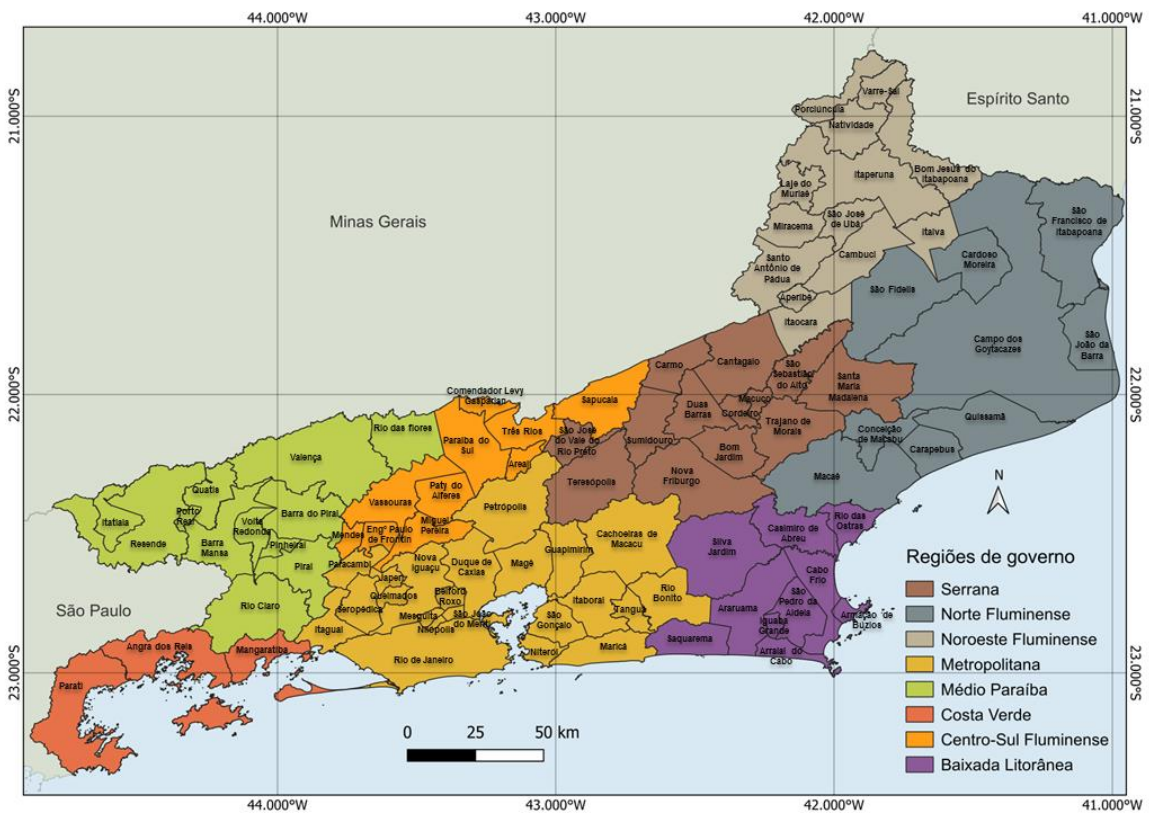
Fonte: Autora, 2023.

##### 4.2.1- Área De Estudo

O estado do Rio de Janeiro localiza-se na região Sudeste do Brasil, possuindo uma área de 43.750,425 km<sup>2</sup>, confrontando com o estado de São Paulo, à Sudeste, com os estados de Minas Gerais (Norte e Noroeste) e Espírito Santo (Nordeste) e, ao Leste, com o Oceano Atlântico. Se encontra entre as latitudes 20° 45' 54 e 23° 21' 57" S e as longitudes 40° 57' 59" e 44° 53' 18" W (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021).

O Estado está dividido em oito Regiões de Governo (Figura 4). Esta divisão está apoiada na Lei nº 1.227/87, que aprovou o Plano de Desenvolvimento Econômico e Social 1988/1991. Desde então, foram feitas algumas alterações tanto na denominação quanto na composição dessas Regiões. São elas: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde (RIO DE JANEIRO, 2018).

Figura 4. Mapa do Estado do Rio de Janeiro, com divisão das regiões de Governo.

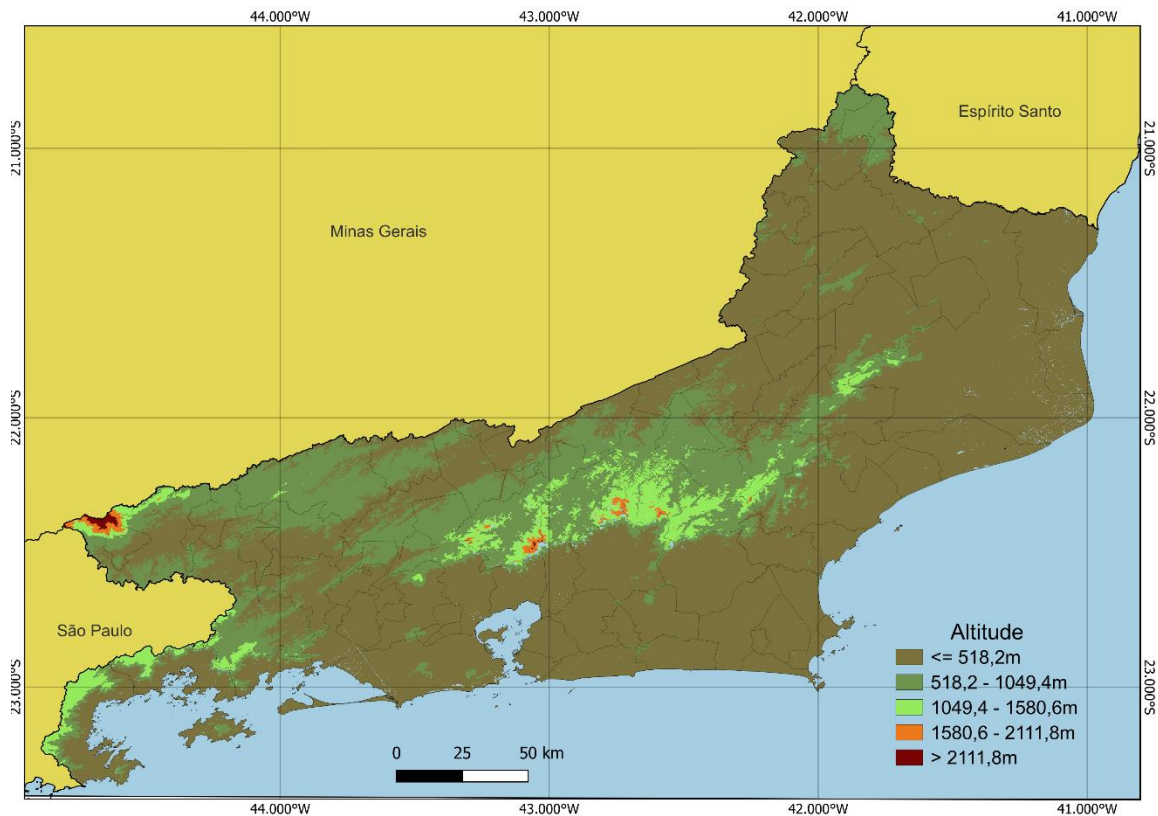


Fonte: Autora, 2024.

O Estado do Rio de Janeiro apresenta um clima muito variado em função da orografia bastante acidentada, com morros, serras, vales, vegetação diversificada, regiões de baixada e baías, além da proximidade com o Oceano Atlântico (SILVA, 2014). A topografia do Estado tem uma influência marcante no regime de precipitação (Figura 5). As configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação no Estado, com extensas áreas próximas ao nível do mar, como a baixada litorânea e a região norte, e áreas montanhosas com altitudes acima de 1500 metros (ANDRÉ et al., 2008; SILVA, 2014). A interação do aporte de umidade do oceano com o relevo induz a chuvas orográficas. Além disto, sua interação com a urbanização nas mesorregiões Metropolitana e Baixadas provocam chuvas convectivas (CORREIA et al., 2011).



Figura 5. Mapa topográfico do Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Autora, 2024.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Sistemas Frontais (SF) são os principais sistemas de grande escala responsáveis pelas chuvas na região Sudeste. Além desses, a circulação de grande escala associada à migração sazonal do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) influencia nas chuvas da região. No inverno, a ASAS encontra-se próximo ao continente, o que inibe a formação de nuvens, enquanto no verão localiza-se preferencialmente sobre o Oceano Atlântico, e assim, sua borda oeste contribui com o transporte de umidade para o continente (CORREIA et al., 2011; FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017).

#### 4.2.2- Dados simulados

Nesse estudo, para a simulação dos cenários futuro e os valores históricos, foi utilizado o conjunto de dados processados pelo modelo AWI-CM-1-1-MR produzidos pelo Alfred Wegener Institute Climate Model (SEMMLER et al., 2020), para o Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado 6 (CMIP6) (<https://wcrp-cmip.org/cmip-phase-6-cmip6/>). Os dados de precipitação foram cedidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no formato NetCDF, e os detalhes dos dados podem ser obtidos através do site ES-DOC – Viewer (<https://view.es->

doc.org/?renderMethod=name&project=cmip6&type=cim.2.designing.NumericalExperiment &client=esdoc-url-rewrite&name=historical). Os dados de precipitação estavam em kg/m<sup>2</sup>s. A série temporal histórica estava entre 1850 e 2014 e os cenários futuros começavam em 2015 até 2100.

O modelo AWI-CM1.1MR possui o componente gelo marinho-oceano, FESOM, que funciona em uma malha não estruturada com resoluções horizontais variando de 8 a 80 km. O FESOM é acoplado ao Modelo atmosférico ECHAM 6.3 do Instituto Max Planck com uma resolução horizontal de cerca de 100 km.

Na contribuição de Semmler et al. (2020) para o AWI-CM-1-1-MR CMIP6, o modelo FESOM é executado em uma malha “MR” de resolução média que segue a estratégia de design de malha proposta por Sein et al. (2016, 2017). A abordagem principal é aumentar localmente a resolução em áreas de alta altura da superfície do mar (SSH) conforme obtido a partir de dados de satélite. O número de pontos de grade de superfície da malha MR é próximo ao número de pontos de grade em grades de modelos regulares convencionais de resolução de ¼°. O desempenho das malhas “tipo MR” em um clima configuração com AWI-CM em comparação com várias outras malhas FESOM é avaliada em Rackow et al. (2019) e Sein et al. (2018).

O recorte dos dados globais foi executado pelo Python através da delimitação do Estado do Rio de Janeiro feito pelas linhas de grade mais próximas das coordenadas do Estado. Os valores de precipitação foram transformados para mm/dia (multiplicada a variável de precipitação por 86.400). E o recorte das séries temporais também foi realizado no Python. Para os dados históricos foi feito o recorte de 1967 a 2013, e para os cenários futuros de 2070 a 2100. Os mapas e os dados de precipitação também foram extraídos pelo Python (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2023).

#### 4.2.3 – Dados históricos observados

Os dados históricos observados foram cedidos pelo professor Givanildo Gois (GOIS, 2017). A série temporal mensal de chuva (1967 a 2013) foi computada de 100 estações pluviométricas, meteorológicas convencionais e meteorológicas automáticas distribuídas nas oito regiões do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Composta pelos dados da ANA (Agência Nacional de Águas), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), SERLA (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) e LIGHT (Light Serviços de Eletricidade S/A).

As séries temporais mensais de chuva que apresentaram falhas foram preenchidas por Gois (2017) com dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) via produto

3B43 (obtidos no formato NetCDF no site: [www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM\\_3B43\\_007.shtml](http://www.mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B43_007.shtml)) e das normais climatológicas proveniente do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O produto 3B43 foi usado no período de 1998 a 2013 e as normais climatológicas do INMET no período 1947 a 1997.

A análise da série temporal foi realizada pelo Excel e pelo software ArqGIS. Para formar a tabela de atributos necessária para o processamento do software ArqGIS, foi realizada, com os dados mensais computados, a média anual para cada um dos anos de análise. Isto, em todas as 100 estações. Em sequência foi obtida uma média geral dos anos para cada estação. A tabela de atributos foi construída com a média geral de cada estação alinhada com as coordenadas, formando médias vinculadas a pontos. E no software ArqGIS esses pontos gerados foram associados ao mapa do Estado do Rio de Janeiro pela técnica de interpolação da geoestatística krigagem que realiza a predição de medições e observações em localidades desconhecidas com base em dados previamente coletados (YASOJIMA, 2020). E assim, formadas as isoietas. Para a coloração do mapa foi utilizada a classificação de limites pluviométricos, referenciados na legenda.

#### 4.2.4- Análise estatística

O coeficiente Kling-Gupta modificado ( $KGE'$ , do inglês modified Kling-Gupta efficiency statistic) representa um índice para medir a concordância entre o escoamento simulado e observado em termos da correlação linear ( $r$ ), do viés ( $\beta$ ) e da variabilidade ( $\gamma$ ) entre ambos (Equação 1) (BILLERBECK et al., 2021; DE OLIVEIRA, 2019; KLING; FUCHS; PAULIN, 2012).

$$KGE' = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad \text{Equação 1}$$

Na qual:  $r$  = coeficiente de correlação linear de Pearson;  $\beta$  = razão entre as médias;  $\gamma$  = razão entre os coeficientes de variação.

O  $KGE'$  reproduz a dinâmica temporal entre os dados de superfície e dos simulados (medida pelo  $r$ ), assim como a razão entre volume estimado sobre o volume observado e a razão entre a variabilidade dos dados simulados pelo modelo e os dados de superfície (medida pelo  $\beta$  e  $\gamma$ , respectivamente). O valor ideal para o  $KGE'$ ,  $r$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  é 1.

Para o cálculo dos componentes foi utilizada as Equações 2, 3 e 4, apresentadas na sequência:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}_i) \cdot (P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}} \quad \text{Equação 2}$$

na qual:  $n$  = tamanho da amostra;  $P_i$  = precipitação pluviométrica;  $\bar{P}_i$  = média da precipitação pluviométrica;  $S_i$  = estimativa de precipitação pelo modelo;  $\bar{S}_i$  = média da estimativa de precipitação pelo modelo.

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_p} \quad \text{Equação 3}$$

na qual:  $\mu_s$  = precipitação média do produto de satélite e  $\mu_p$  = precipitação média pluviométrica.

$$\gamma = \frac{CV_S}{CV_P} = \frac{\frac{\sigma_S}{\mu_S}}{\frac{\sigma_P}{\mu_P}} \quad \text{Equação 4}$$

na qual:  $CV_S$  = coeficiente de variação dos produtos do modelo;  $CV_P$  = coeficiente de variação dos pluviômetros;  $\sigma_S$  = desvio padrão dos produtos do modelo;  $\sigma_P$  = desvio padrão dos pluviômetros;  $\mu_s$  = precipitação média do produto de satélite;  $\mu_p$  = precipitação média pluviométrica.

Diferentes autores utilizam o KGE' para comparação entre valores simulados e observados com a intenção avaliar as previsões de precipitação de diferentes modelos atmosféricos, utilizados para a gestão de recursos hídricos. Billerbeck et al. (2021) utilizam o coeficiente de eficiência modificada de Kling Gupta como base para comparar combinações de Modelos climáticos regionais com métodos de correção de vieses. Irving et al. (2018) utilizam o coeficiente como um dos métodos para validar as previsões temporalmente. Bozzini et al. (2020) a partir do coeficiente realizam a comparação entre os modelos de previsão (Modelos climáticos regionais) e métodos de medição da precipitação (Radar e Pluviômetro) (BILLERBECK et al., 2021; BOZZINI; MÉLLO JÚNIOR, 2020; DE OLIVEIRA, 2019; IRVING et al., 2018).

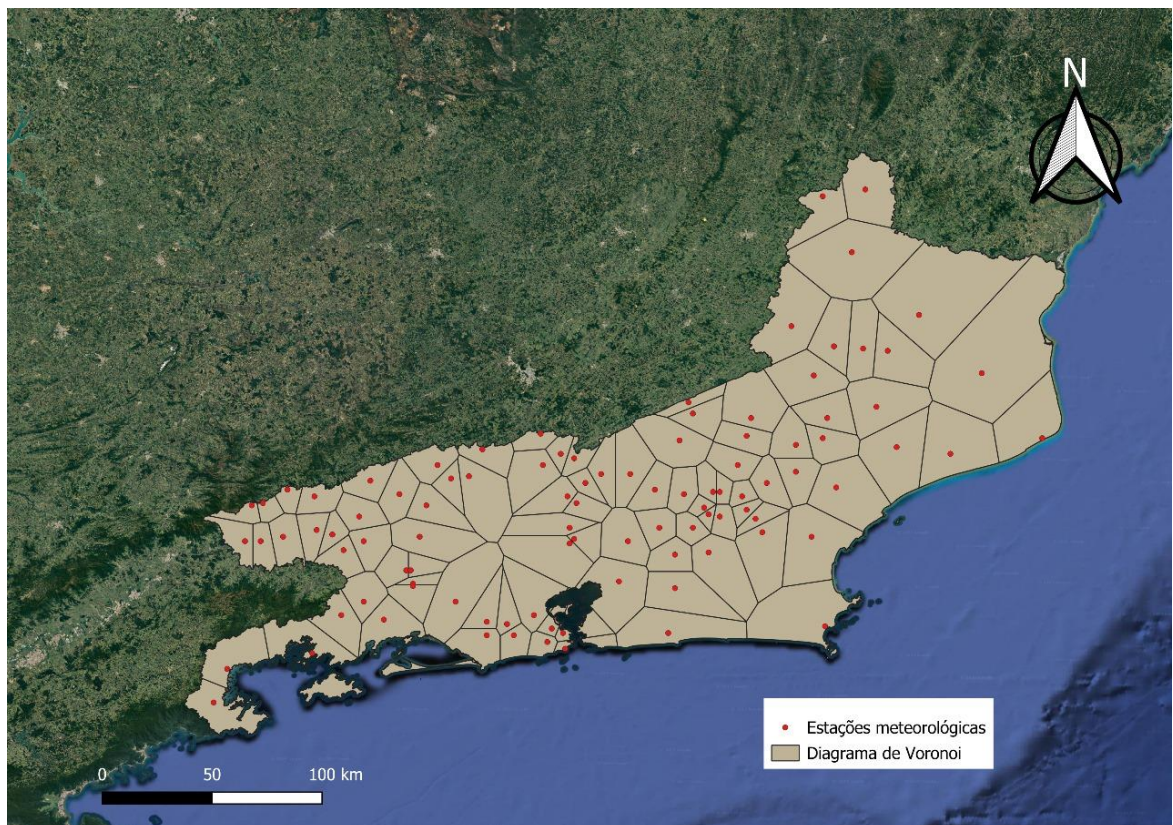
Mediante isto, a análise utilizada neste estudo, para validar a similaridade dos dados simulados pelo modelo AWI-CM-1-1-MR e os observados nas 100 estações pluviométricas e meteorológicas, no mesmo período (1967-2013), se baseou no coeficiente de eficiência Kling-Gupta modificado (KGE') (GUPTA et al., 2009; KLING; FUCHS; PAULIN, 2012). Assim, comprovada a similaridade entre os dados, foi possível aferir que o modelo AWI-CM-1-1-MR simula dados com representatividade para o Estado do Rio de Janeiro, validando seu uso para projeções futuras.

Para aplicar o coeficiente de eficiência Kling-Gupta modificado foi necessário igualar o tamanho da amostra dos dados observados e simulados. Para os dados computados pelas estações, foi obtida uma precipitação média mensal, para cada região de governo, de 1967 a 2013 através do método dos polígonos de Thiessen. E para os simulados foram utilizados os valores obtidos pelas oito linhas de grade do modelo mais próximas as oito regiões de governo do ERJ.

Para determinar as áreas de influência de cada estação foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen (THIESSEN, 1911). Tal método foi desenvolvido pelo meteorologista americano Alfred H. Thiessen, que aplicou a teoria do diagrama de Voronoi para o cálculo da precipitação média na região de estudo (MARCIANO; BARBOSA; SILVA, 2017).

Assim, foi construído um mapa no Qgis como apresenta a figura 6, e extraída as áreas de cada polígono formado.

Figura 6. Mapa demonstrativo do Diagrama de Voronoi para as 100 estações pluviométricas, meteorológicas convencionais e meteorológicas automáticas.



Fonte: Autora, 2023.

Assim, para o cálculo da precipitação média de cada região de governo foi aplicada a equação 5.

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{A} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:  $P_m$  é a precipitação média da região de governo analisada (mm);  $P_i$  é a precipitação na estação (mm);  $A_i$  é a área de influência da estação;  $A$  é a área total da região de governo.

Para a comparação entre os cenários futuros otimista (SSP1-2.6) e pessimista (SSP5-8.5) foi realizada uma análise de variância (ANOVA). A análise de variância permite comparar mais do que duas médias, permitindo verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (RODRIGUES, 2015).

Conseqüentemente, existe o interesse em testar se há diferenças entre as médias dos grupos, o que implica testar as seguintes hipóteses: hipótese nula ( $H_0$ ) em que os valores médios populações são iguais, e não há variação entre os valores médios dos grupos; e hipótese alternativa ( $H_1$ ) em que pelo menos numa população, o valor médio difere, isto é, existe variação entre os valores médios dos grupos (Isto não significa que todos os valores médios sejam diferentes).

A análise da variância pode ser medida através da soma dos quadrados, onde se calcula: a variância total ( $SQ_{total}$ ), que corresponde à dispersão de cada indivíduo relativamente à média total. A variância entre grupos, que corresponde à dispersão entre as médias dos grupos ( $SQ_{Res}$ ). E a Variância dentro dos grupos, que corresponde à dispersão dentro de todos os grupos ( $SQ_{trat}$ ). Também são definidos a média da soma dos quadrados entre grupos ( $QM_{Res}$ ) e a média da soma dos quadrados dentro do grupo ( $QM_{Trat}$ ). Os valores de  $QM_{Res}$  e  $QM_{Trat}$  são as duas estimativas de variância ( $\sigma^2$ ). Desta forma, quando a hipótese  $H_0$  é verdadeira, então a divisão de terá um valor próximo de 1. No caso de  $H_0$  não ser verdadeira, então o valor de  $QM_{Res}$  será significativamente superior ao valor de  $QM_{Trat}$  e conseqüentemente a hipótese  $H_0$  será rejeitada.

Por fim, recorre-se à construção de uma tabela para a obtenção do teste F (Tabela 1) que corresponde à razão entre duas estimativas da variância: a dada pelas diferenças entre os grupos e a dada pelas diferenças dentro dos grupos.

Tabela 1. Quadro de análise de variância (ANOVA).

<b>FV (Fator de variação)</b>	<b>GL (Graus de liberdade)</b>	<b>SQ (Soma de quadrados)</b>	<b>QM (Quadrado médio)</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento (Variação entre os grupos)</b>	(I - 1)	$SQ_{trat}$	$SQ_{trat} / GL_{trat}$	$F = QM_{Trat} / QM_{Res}$

<b>Resíduo (Variação dentro dos grupos)</b>	$(GL_{Total} - GL_{trat})$	$SQ_{Res}$	$SQ_{Res}/GL_{Res}$
<b>Total</b>	n-1	$SQ_{Total}$	

I = Número de tratamentos

n= tamanho da amostra

A tabela de análise de variância pelo software Sisvar apresenta uma coluna  $Pr > F_c$ . A interpretação desta se baseia na seguinte regra: se o valor encontrado de  $Pr > F_c$  for menor que o nível de significância definido para a análise, rejeita-se a hipótese nula de médias iguais e se conclui que pelo menos uma das médias populacionais é diferente das demais; se o valor de  $Pr > F_c$  for maior que o nível de significância, se aceita a hipótese nula de médias iguais. A partir destes valores o pesquisador define se as diferenças são significativas ou não significativas. Diferença significativa, indica que os tratamentos avaliados são potencialmente diferentes e diferença não significativa indica que os tratamentos avaliados são potencialmente semelhantes e que a diferença observada entre eles foi devido à variação acidental.

Para a presente pesquisa, visto que os cenários SSP1-2.6 e SSP5- 8.5 se diferem, em termos quantitativos, pelos níveis de emissões, buscou-se com o uso da análise de variância observar a influência do aumento e redução dos níveis de emissões para a precipitação futura nas regiões de governo do Estado do Rio de Janeiro. Para a construção da tabela de variância, foi definido nível de significância de 5%. O delineamento escolhido foi inteiramente casualizado (VIEIRA, 2021), visto que ambos os valores foram simulados pelo modelo, portanto, com material experimental semelhante e condições de estudo uniformes. Os dados foram organizados como um experimento em fatorial, para assim analisar a relação entre os tratamentos. Os tratamentos escolhidos são as coordenadas das linhas de grade, que definem as regiões de governo na pesquisa, e os cenários otimista e pessimista. A repetição é a serie temporal mensal (2070 a 2100). Assim, a hipótese nula para os tratamentos é: os dois cenários possuem o mesmo efeito; todas as regiões (linhas de grade) possuem o mesmo efeito; e que a interação entre cenários e regiões não ocorre.

A análise estatística foi realizada pelo software estatístico Sisvar. Portanto, os dados foram organizados de acordo com a estrutura apresentada na tabela 2, pois é a estrutura aceita pelo software. Os dois cenários futuros (Otimista e pessimista) e as oito regiões de governo entram como tratamentos e a serie temporal de 30 anos com valores mensais são as repetições (360 valores de precipitação para cada linha de grade, para cada cenário). A variável dependente

analisada foi a precipitação simulada pelo modelo AWI-CM-1-1-MR de acordo com os cenários e as coordenadas correspondentes.

Tabela 2. Estrutura dos dados para entrada no Software Sisvar.

<b>Tratamento 1 (Linhas de grade)</b>	<b>Repetição (Serie temporal)</b>	<b>Tratamento 2 (Cenários)</b>	<b>Variável resposta (precipitação)</b>
Norte	1	Otimista	1250
	...		200
	360		800
Norte	1	Pessimista	799
	...		955
	360		487
Noroeste	1	Otimista	1250
	...		600
	360		800
Noroeste	1	Pessimista	799
	...		955
	360		487
...	...	...	...

Fonte: Autora, 2023.

Quando na condução da análise de variância para um modelo estatístico em que os tratamentos são de efeito fixo e o teste F global apresenta resultado significativo, conclui-se que existem evidências de diferenças entre as médias populacionais dos tratamentos comparados e o próximo passo da pesquisa é determinar quais médias de tratamentos se diferem entre si, para que seja possível determinar qual o melhor tratamento dentro das expectativas da pesquisa. Assim, para efetuar a comparação entre as médias obtidas pela análise de variância, foi utilizado o teste proposto por Tukey (1953), o qual compara todo e qualquer contraste entre duas médias (RODRIGUES, 2015).



## 5- RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 – BIBLIOMETRIA

Ao final da seleção por título e resumo foram retirados 433 artigos. Dos 33 restantes, 16 faziam uso de modelos climáticos e 17 utilizavam outros métodos. Assim, foram elaborados os resultados mediante os 16 artigos que faziam uso de modelos climáticos como metodologia de análise das mudanças climáticas para o estado do Rio de Janeiro.

#### 5.1.1- Evolução ao longo dos anos

É possível observar que a primeira publicação, considerando o compilado das bases Scopus, WoS e Scielo foi no ano de 2004. Até o ano de 2018 as publicações para o Estado mantinham-se uma por ano. Em 2019, chegaram a quatro publicações por ano e após este período, há uma queda em 2020 com duas publicações neste ano, que pode ser associada a pandemia por COVID 19. E no ano de 2021 o número de publicações volta a crescer e chega a cinco publicações.

É importante destacar que o Estado do Rio de Janeiro sediou importantes conferências mundiais da ONU sobre o clima e o meio ambiente. Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro ocorre a Eco-92 (ou Rio-92), ou mais precisamente a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A partir deste feito a questão ecológica ganha visibilidade midiática e se transforma numa questão política importante de muitas nações (PESSINI; SGANZERLA, 2016). Em 2012, também na cidade do Rio de Janeiro, ocorreu a Rio+20 com o propósito de formular um plano de desenvolvimento que garantisse vida digna a todas as pessoas, administrando os recursos naturais de modo que as gerações futuras não fossem prejudicadas. Uma das expectativas era a formulação de metas de desenvolvimento sustentável em diferentes áreas, mas isso não foi atingido (PESSINI; SGANZERLA, 2016).

#### 5.1.2 – Principais Autores

Ao todo, foram identificados pelo Software VOSviewer 69 autores. Os cinco principais autores envolvidos com os estudos para o Estado do Rio de Janeiro com o uso de modelagem climática foram organizados na Tabela 3.

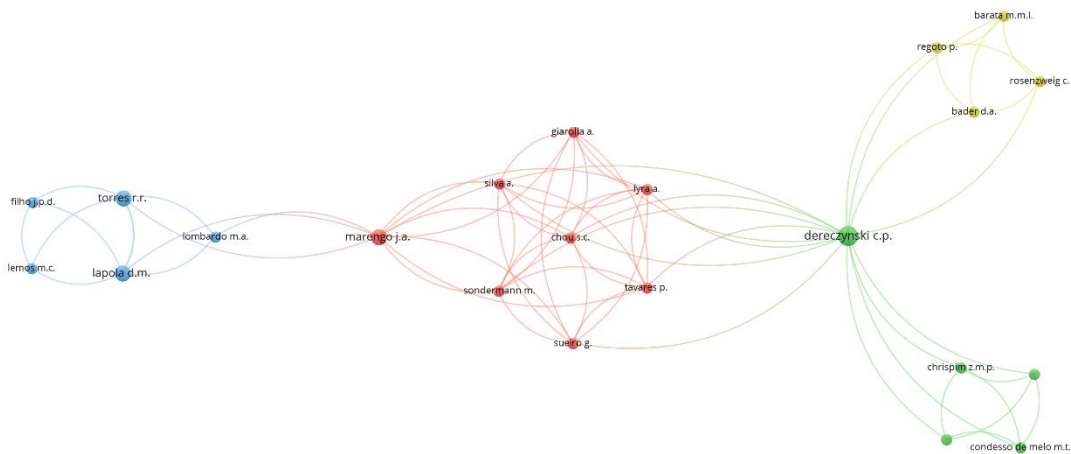
Tabela 3. Número de publicações e citações para os cinco autores com maior frequência de artigos. Considerando o compilado das bases Scopus, WoS.

Autores	Frequência Absoluta (Total)	Frequência Relativa (%)	Citações
Dereczynski c.p.	3	4%	65
Lapola d.m.	2	3%	70
Marengo j.a.	2	3%	103
Torres r.r.	2	3%	70
Alves d.m.c.c.	1	1%	1

Fonte: Autora, 2023

Através do Software VOSviewer também foi possível apresentar as correlações mais relevantes entre os autores (Figura 7).

Figura 7. Network dos autores com correlações mais relevantes. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS.



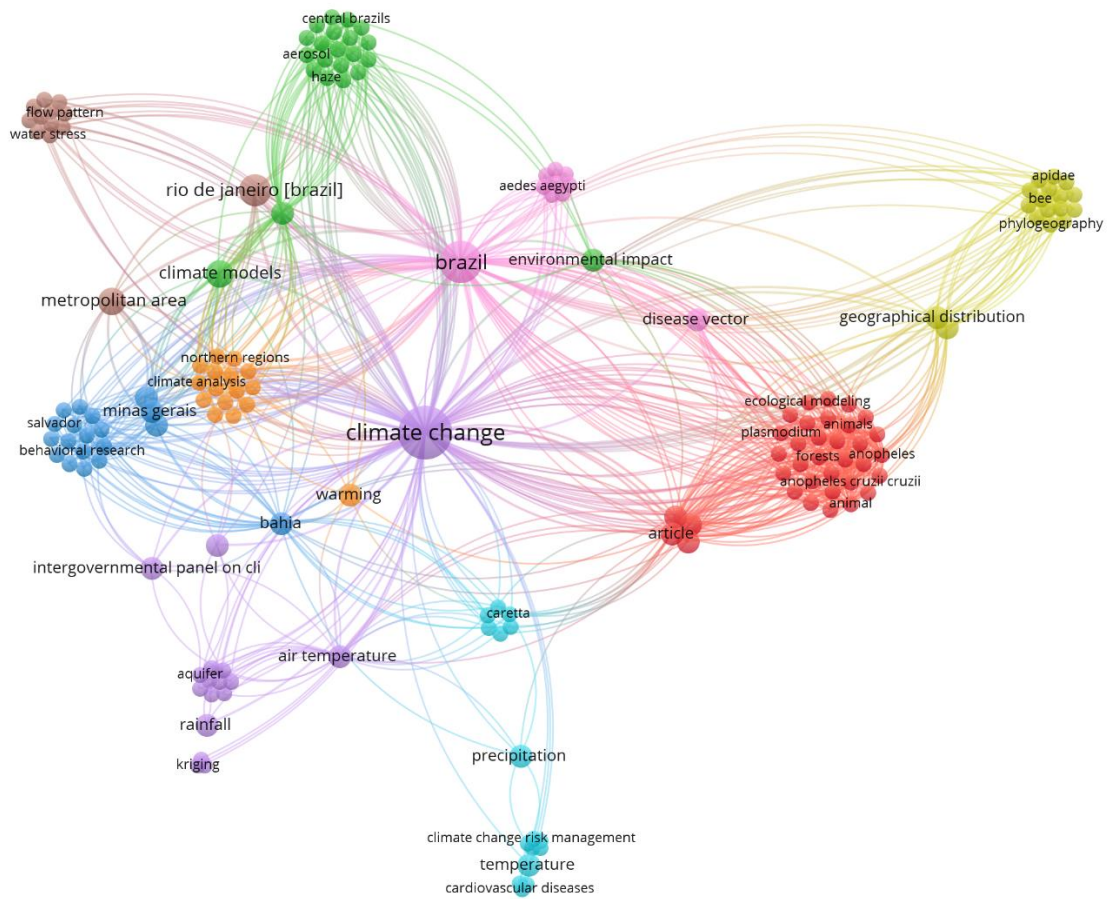
Fonte: Autora, 2023.

Os autores José Antônio Marengo e Claudine Pereira Dereczynski são apresentados como pontes entre grupos de autores com publicações em comum sobre o tema.

### 5.1.3- Palavras – chave mais relevantes

Através do Software VOSviewer foi possível encontrar a correlação entre as palavras chaves com maior ocorrência nos artigos analisados. A Figura 8 apresenta as palavras “Climate Change”, “Brazil” e “Rio de Janeiro [Brazil]” as três palavras com maior número de ocorrência entre os artigos.

Figura 8. Network das palavras-chave, considerando o compilado das bases Scopus e WoS.



Fonte: Autora, 2023.

É relevante destacar que palavras chaves com o nome de outros estados e municípios aparecem na figura visto que alguns dos artigos selecionados fazem análise de mais de um estado além do Rio de Janeiro.

#### 5.1.4 - Principais países

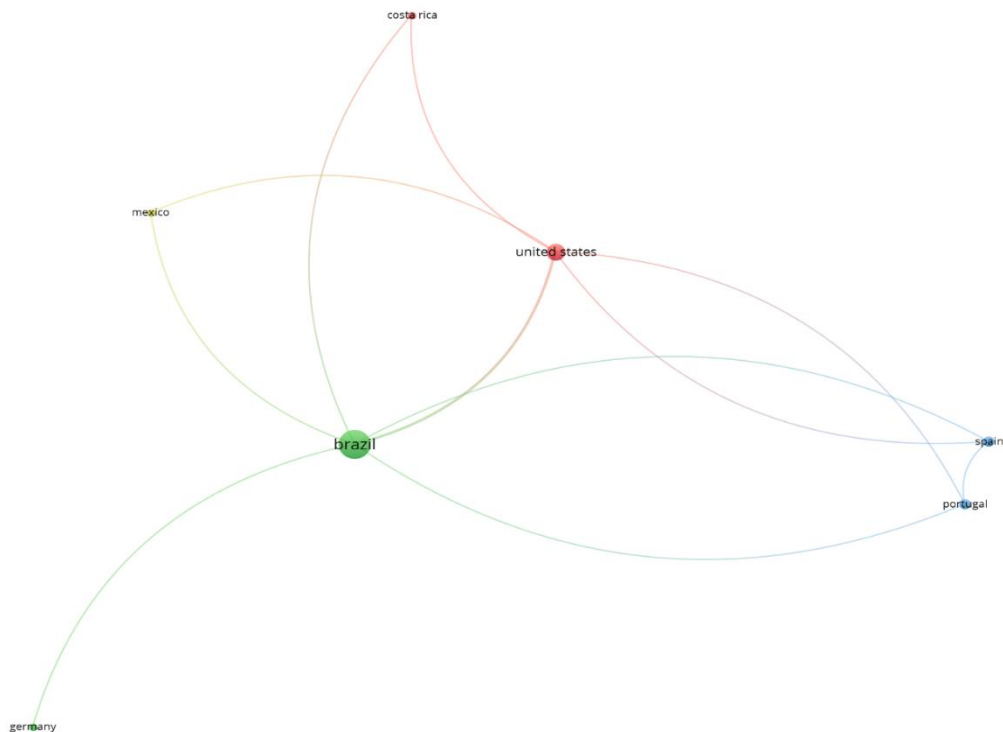
Diferentes países foram identificados com contribuição para a construção dos artigos analisados. A Tabela 4 demonstra a frequência de documentos associados a cada um deles. É relevante destacar o Brasil como primeiro e os Estados Unidos na sequência com maior número de documentos. E através da Figura 9 é possível observar que todos os países possuem correlação com o Brasil.

Tabela 4. Número de publicações e citações para os países com maior frequência de artigos. Considerando o compilado das bases Scopus, WoS.

Países	Frequência Absoluta (Total)	Frequência Relativa (%)	Citações
Brasil	15	56%	177
Estados Unidos	5	19%	63
Portugal	2	7%	21
Espanha	2	7%	32
Costa Rica	1	4%	13
Alemanha	1	4%	4
México	1	4%	1

Fonte: Autora, 2023

Figura 9. Network dos autores com correlações mais relevantes. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS.



Fonte: Autora, 2023.

#### 5.1.5- Perfis de estudos

Para efetuar uma classificação quanto aos perfis dos artigos, de acordo com as informações fornecidas no abstract de cada um, foram analisadas as 16 publicações que utilizam modelagem climática em sua metodologia. A descrição dos critérios aplicados para definir os perfis e agregar os artigos foi apresentada na Tabela 5.

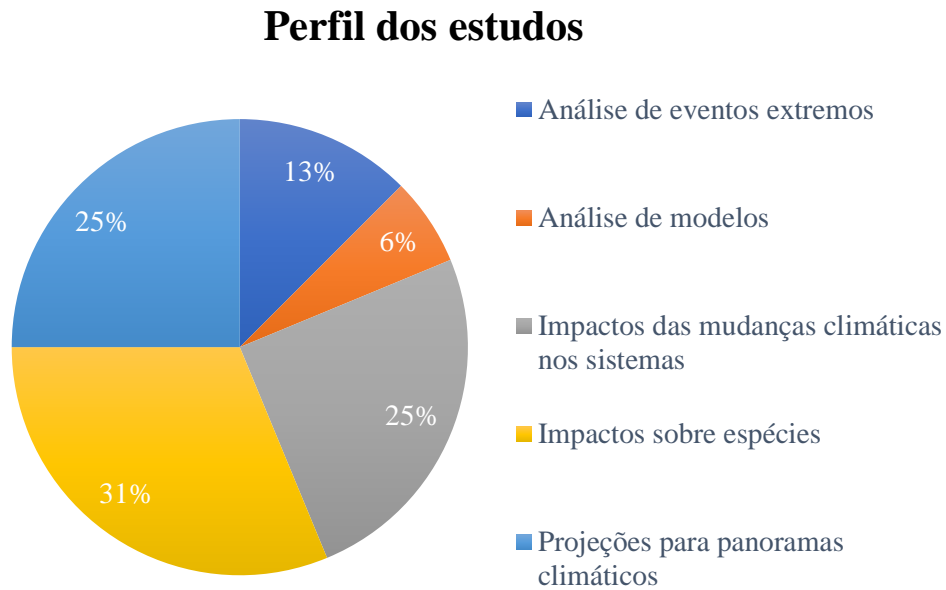
Tabela 5. Descrição dos critérios usados para definir os perfis dos artigos. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS.

<b>Perfis</b>	<b>Descrição</b>
<b>Análise de modelos</b>	Artigos que visam apresentar comparações entre modelos ou validar determinado modelo.
<b>Impactos das mudanças climáticas nos sistemas</b>	Artigos que visam estudar os impactos das mudanças climáticas em determinados sistemas (ex: energéticos, hidrológicos, biomas) ou como os impactos destes sistemas afetam nas mudanças climáticas.
<b>Análise de possíveis impactos sobre uma espécie</b>	Artigos que visam analisar o impacto das mudanças climáticas sobre determinadas espécies (microbiológicas, vegetais e animais).
<b>Análise de eventos extremos</b>	Artigos que buscam utilizar modelos para avaliar eventos extremos, projetar medidas confiáveis e eficazes de adaptação e mitigação.
<b>Projeções como fonte de informação para panoramas climáticos</b>	Artigos com foco em previsões para gerar informações climáticas que possam auxiliar no estudo de mudanças climáticas.

Fonte: Autora, 2023.

Após a classificação, de acordo com os critérios apresentados anteriormente, foi construída a Figura 10, que relaciona os perfis com o número de artigos associados. A maior parte dos artigos selecionados tem em vista analisar os impactos sobre espécies. Este perfil contempla os artigos que buscam discutir os impactos das mudanças climáticas em diferentes espécies dando ênfase a possível proliferação de vetores diante a variações no clima, com impacto na saúde da população e efeitos na biodiversidade (BRAZ; LORINI; VALE, 2019; CARLOS et al., 2021).

Figura 10. Frequência relativa de artigos relacionados a cada perfil. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS.



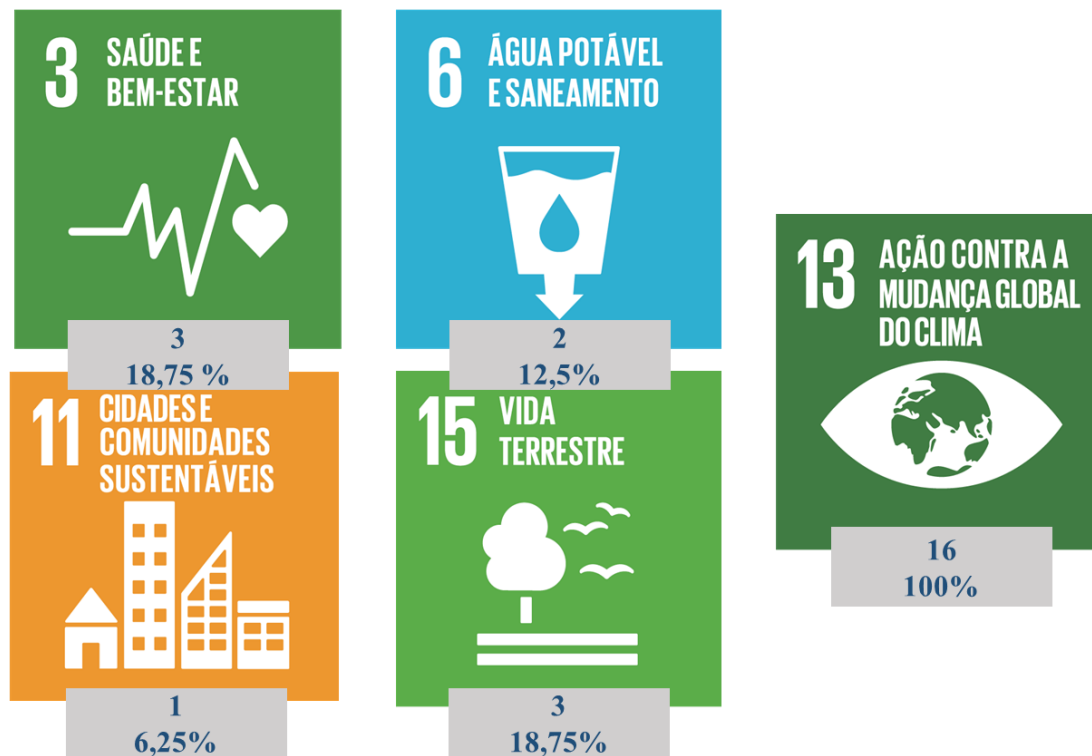
Fonte: Autora, 2023.

É relevante destacar que dentre o total de artigos selecionados, que usam ou não modelos climáticos, cerca de cinco documentos têm foco no estudo da mata atlântica. Nos últimos 30 anos, a Mata Atlântica tem sido considerada uma prioridade global para conservação da biodiversidade, um dos cinco principais hotspots de biodiversidade do planeta (MARQUES; GRELE, 2021). O principal foco dos documentos é o impacto sobre determinadas espécies com foco na biodiversidade e na saúde da população, além do estudo dos impactos causados pelas mudanças climáticas no bioma.

#### 5.1.6- ODS

Além da classificação dos perfis, foi proposto construir uma relação entre os objetivos principais dos artigos com os objetivos do desenvolvimento sustentável (Figura 11). Buscando, assim, identificar a contribuição deste arcabouço teórico para a discussão proposta pelos ODS's. Para tal, foram analisados os objetivos principais apresentados no abstract dos 16 artigos que utilizam modelagem climática em sua metodologia para analisar as mudanças climáticas no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 11. Frequência absoluta e relativa dos artigos relacionados aos ODS's. Considerando o compilado das bases Scopus e WoS.



Fonte: Autora, 2023

Pela análise foi possível observar que além do ODS 13, que visa “tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos”, o qual todos os artigos se relacionam e 43,75 % se relacionam exclusivamente, outras correlações foram identificadas. Dentre elas, 9 artigos, 56,25 %, puderam ser relacionados também com outras 4 ODS's.

Prevê-se que a saúde humana será uma das áreas que mais sofrerão com o aumento da temperatura (Mendes et al., 2016). Na análise, três artigos tinham por objetivo discutir os impactos das mudanças climáticas na saúde, seja pelo aumento das ondas de calor em regiões metropolitanas como na distribuição de vetores patogênicos com a variações do clima (CARLOS et al., 2021; MARQUES et al., 2021). O ODS 6 busca “Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos”. Na pesquisa, dois artigos discutiram sobre o tema. Foram abordados tópicos como segurança hídrica, disponibilidade e qualidade da água, balanço hídrico e dados de bacias hidrográficas (MARQUES; RODRIGUEZ, 2019; LA PASTA CORDEIRO et al., 2021). Um dos artigos, de Darela Filho et al. (2016), pode ser associado ao ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis). Este tem o objetivo de tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e

sustentáveis. O artigo visa utilizar modelos climáticos para atualizar mapas SCVI (Índice de Vulnerabilidade Socioclimática). Mostrando assim, que áreas metropolitanas densamente povoadas possuem suas populações mais vulneráveis às mudanças climáticas no país.

Vida terrestre (ODS 15) possui grande relação com discussões sobre biodiversidade e obteve três artigos relacionados. O objetivo se traduz em “Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade” (Ipea, 2018). Assim, as publicações relacionadas abordavam temas como os impactos das mudanças climáticas sobre diferentes espécies (BRAZ; LORINI; VALE, 2019; FRANÇOSO; ZUNTINI; ARIAS, 2019; MONTERO et al., 2019).

Através dos dados obtidos foi possível identificar as demandas associadas ao Estado. Demonstrando relevantes preocupações com áreas como saúde, biodiversidade, disponibilidade hídrica e áreas vulneráveis, frente as mudanças no clima.

## 5.2- DADOS SIMULADOS DE PRECIPITAÇÃO

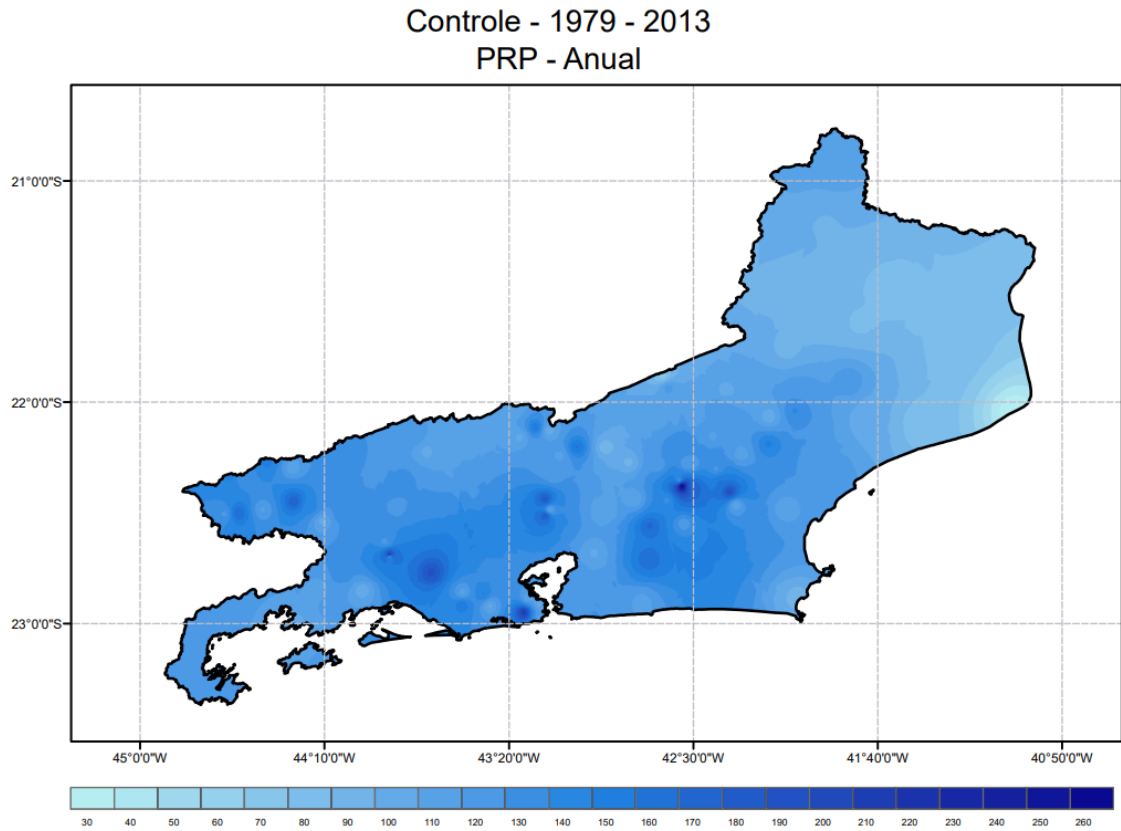
### 5.2.1- Validação do Modelo climático

É relevante destacar que os dados observados tiveram sua origem das medições realizadas pelas estações meteorológicas do Estado do Rio de Janeiro, com o mapa construído a partir de geoprocessamento (Figura 12). Os dados simulados foram obtidos do modelo AWI-CM-1-1-MR (Figura 13), sendo seus dados gerados a partir de aninhamentos de grade. Por isso, algumas distorções nos resultados são aceitáveis. Para uma caracterização mais detalhada das regiões é necessário o uso de um modelo de mesoescala para refinamento.

Mesmo de forma mais ampla, o modelo consegue representar características particulares ao Estado. O Estado apresenta durante o verão menores totais de chuva observados perto do litoral, sobre as regiões Metropolitana, Norte e Baixadas Litorâneas e maiores somas de chuva observadas acima da altitude de 500 m sobre as regiões Costa Verde e transições com região Serrana e o estado de Minas Gerais (LYRA et al., 2018).

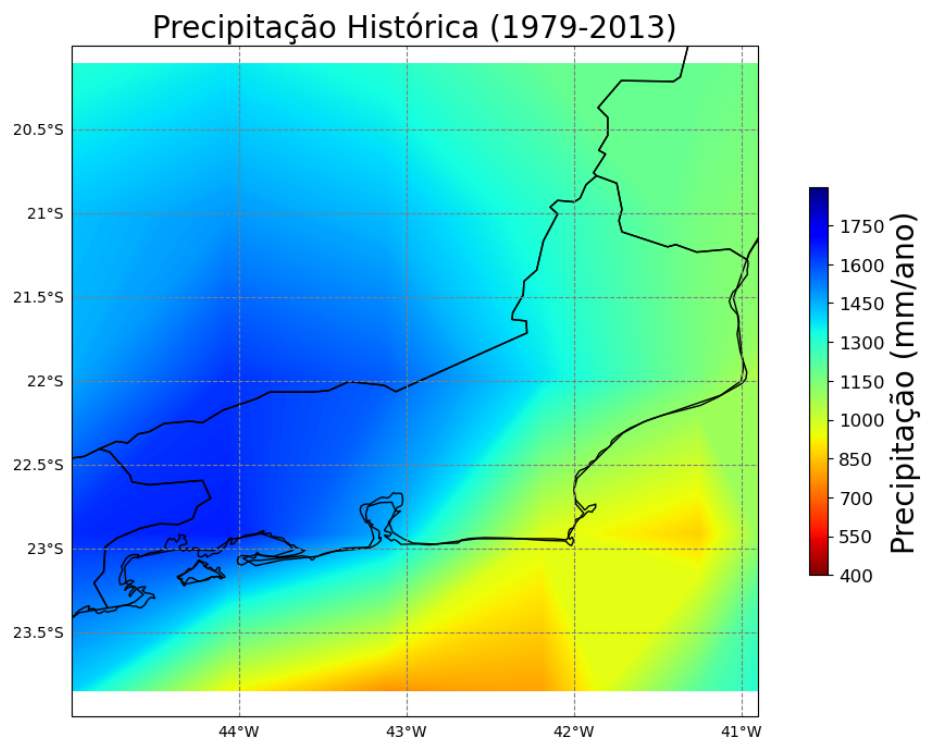


Figura 12. Resultado dos dados observados construído a partir de geoprocessamento.



Fonte: Autora, 2023

Figura 13. Resultado dos dados simulados obtidos pelo modelo AWI-CM-1-1-MR.



Fonte: Autora, 2023.

Através de uma perspectiva visual, o modelo representou as características básicas das regiões de governo. Os valores para a região Serrana, Centro-Sul Fluminense, Costa Verde e Médio Paraíba se mantiveram em uma média mais alta de índice de precipitação (PRP) anual e as regiões Norte Fluminense, parte da região Metropolitana e as Baixadas Litorâneas variando com índices mais baixos de precipitação para o período histórico analisado.

Entretanto, além de uma análise visual, para validar a posterior análise futura do modelo AWI-CM-1-1-MR ao ERJ através dos cenários, foi utilizado o coeficiente de eficiência Kling-Gupta modificado (KGE'). Obteve-se, a partir deste, um coeficiente de comparação dos valores simulados pelos modelos e os oriundos das estações pluviométricas, meteorológicas convencionais e meteorológicas automáticas do Estado do Rio de Janeiro. Para o mesmo período histórico (1967 a 2013).

O valor do KGE' encontrado foi de 0,6 (Tabela 6). É relevante apontar que quanto mais próximo de 1(um), maior semelhança há entre os valores simulados e observados por este método.

Tabela 6. Métricas do KGE'.

<b>MÉTRICAS</b>	<b>VALORES</b>
<b>KGE'</b>	0,59836987
<b>KGE': R</b>	0,646889761
<b>KGE':B</b>	0,931770485
<b>KGE':<math>\gamma</math></b>	1,178786615

Fonte: Autora, 2023.

Autores como Billerbeck et al. (2021) e Irving et al. (2018) consideram valores acima de 0,4 como uma correlação alta. Inclusive, Billerbeck et al. (2021) afirmam que embora modelos climáticos sejam as principais ferramentas para analisar impactos de mudanças climáticas em variáveis hidrológicas, estes frequentemente apresentam vieses quando comparados a observações para o mesmo período. Assim, o valor encontrado ratifica que há semelhança entre os dados, validando a análise do Estado do Rio de Janeiro por este modelo.

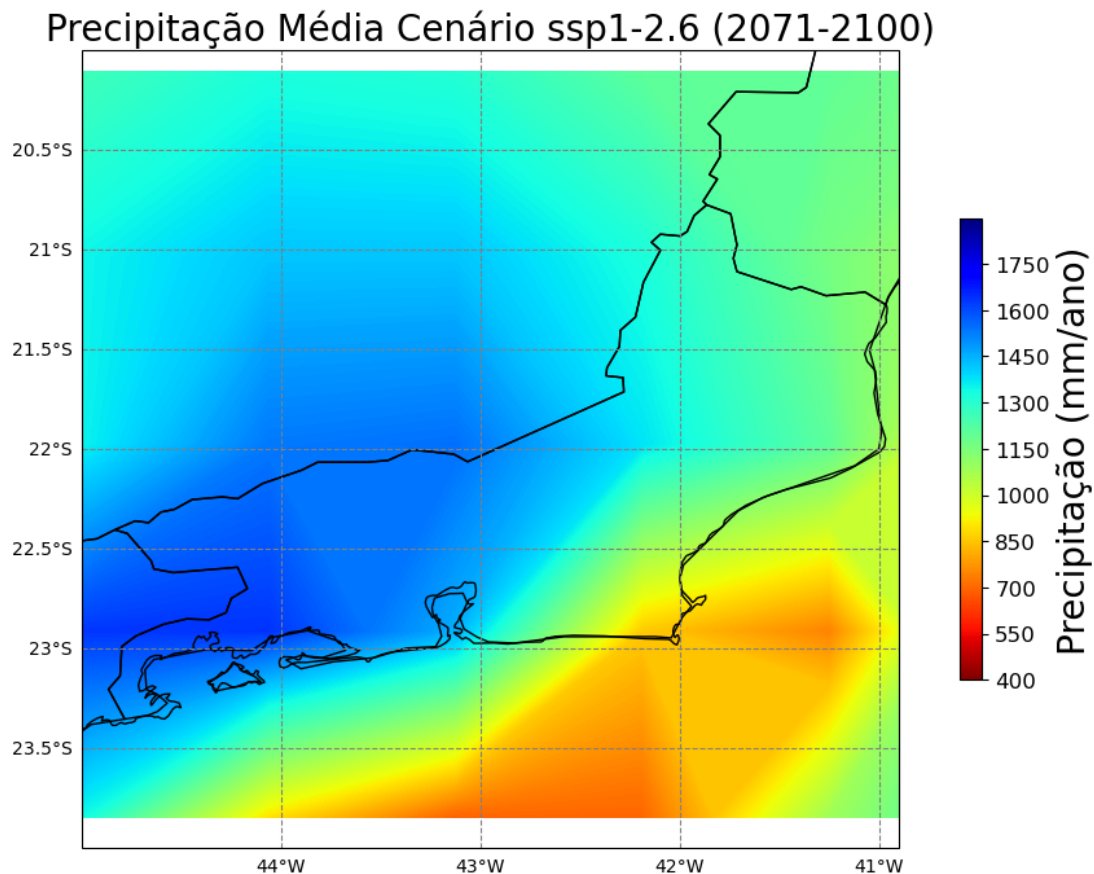
### 5.2.2 - Cenários futuros SSP1- 2.6 (Otimista) e SSP5-8.5 (Pessimista)

Foi possível identificar, através do modelo AWI-CM-1-1-MR, que o cenário SSP5- 8.5, pessimista diante as emissões de gases de efeito estufa, a tendencia é o aumento de secas e chuvas nas diferentes regiões do Estado do Rio de Janeiro. Já o cenário SSP1-2.6, quando comparado com o presente, demonstra uma gradação mais sutil. Mas, em ambos os cenários é

possível observar que trarão significativas alterações climáticas, com relevantes consequências sociais, ambientais e econômicas, as quais serão sentidas em todo o Estado.

A distribuição geográfica da precipitação no Estado do Rio de Janeiro para o futuro mais otimista de “pico-declino” (2071-2100) é apresentada na figura 14. Ou seja, apresenta o ERJ diante de um caminho de emissão representativo de cenários da literatura que levam a níveis de concentração de gases estufa muito baixos.

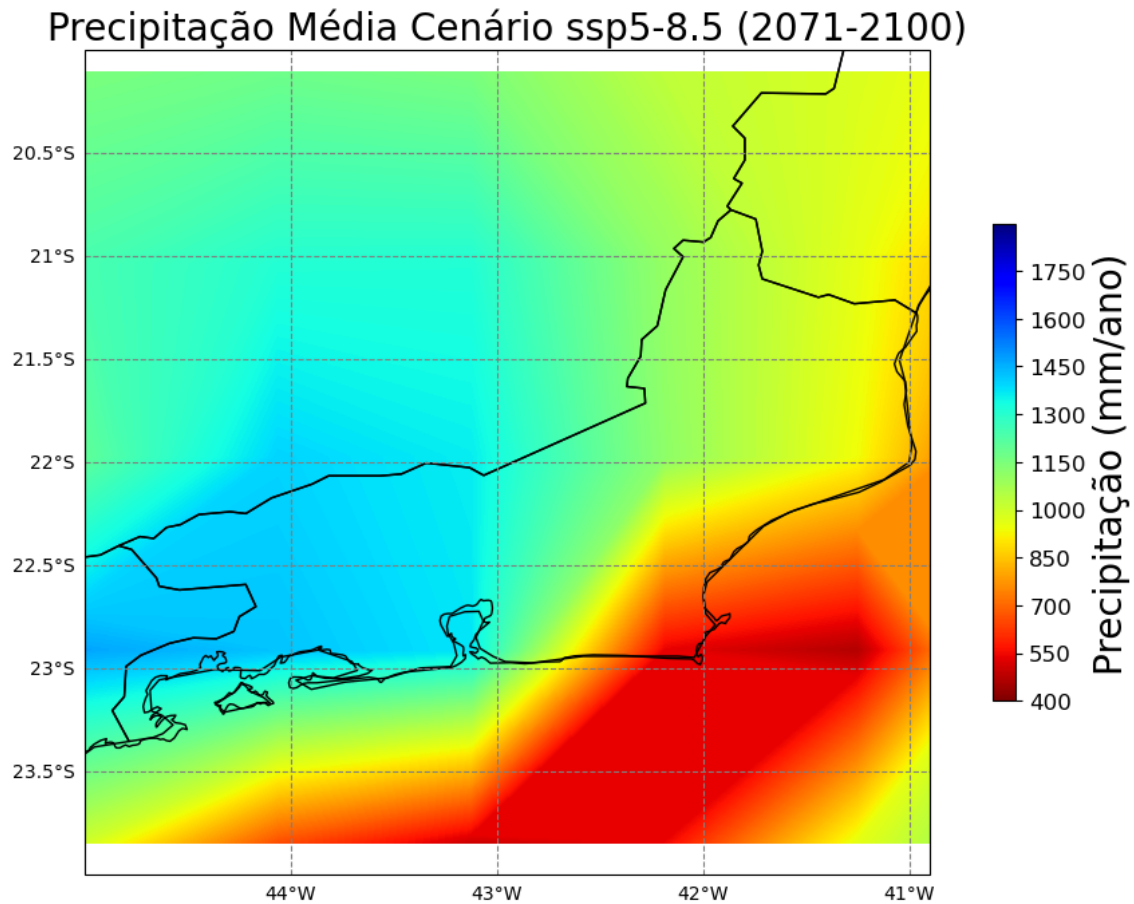
Figura 14. Precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o cenário ssp1-2.6 (otimista) de mudanças climáticas para o intervalo de 2071 à 2100.



Fonte: Autora, 2023

A figura 15 apresenta a distribuição geográfica da precipitação no Estado do Rio de Janeiro para o futuro (2071-2100) diante de um cenário pessimista, o qual é caracterizado pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo, representando cenários da literatura que levam a altos níveis de concentrações de GEE.

Figura 15. Precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o cenário ssp8.5 (pessimista) de mudanças climáticas para o intervalo de 2071 à 2100.

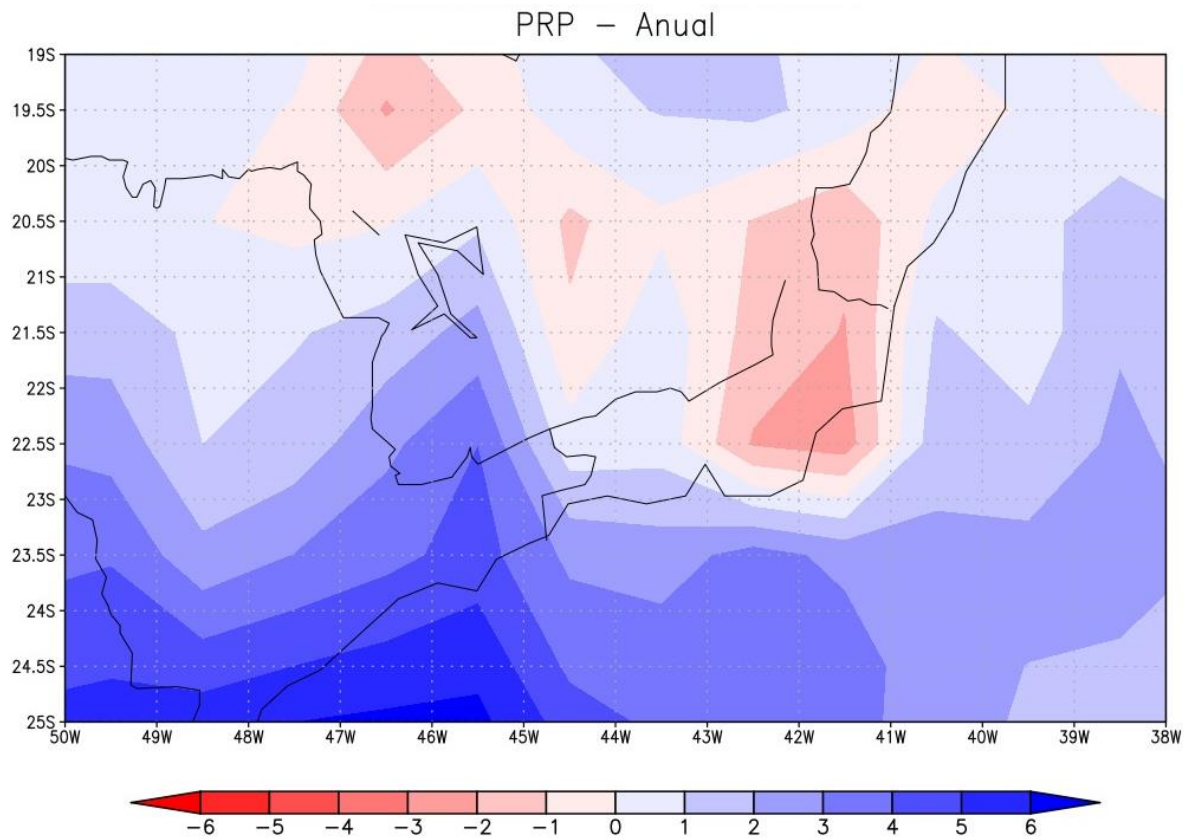


Para o cenário de clima futuro pessimista, caracterizado pelo aumento nas emissões de gases de efeito estufa, é possível observar as mesmas variações nos índices de precipitação vistas no cenário otimista. Entretanto, a intensidade com que os eventos irão se apresentar será de forma mais severa.

Um dos extremos identificados para o cenário futuro será redução no índice de precipitação, principalmente no cenário SSP5-8.5, que considera o aumento das emissões de gases estufa. As projeções demonstram uma redução na média de precipitação em todas as regiões quando comparado ao cenário otimista.

A representação das distribuições espaciais das diferenças entre o futuro (2071-2100) para o cenário otimista e o controle (1979-2013) do índice de precipitação anual projetados pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o Estado do Rio de Janeiro são apresentadas na Figura 16.

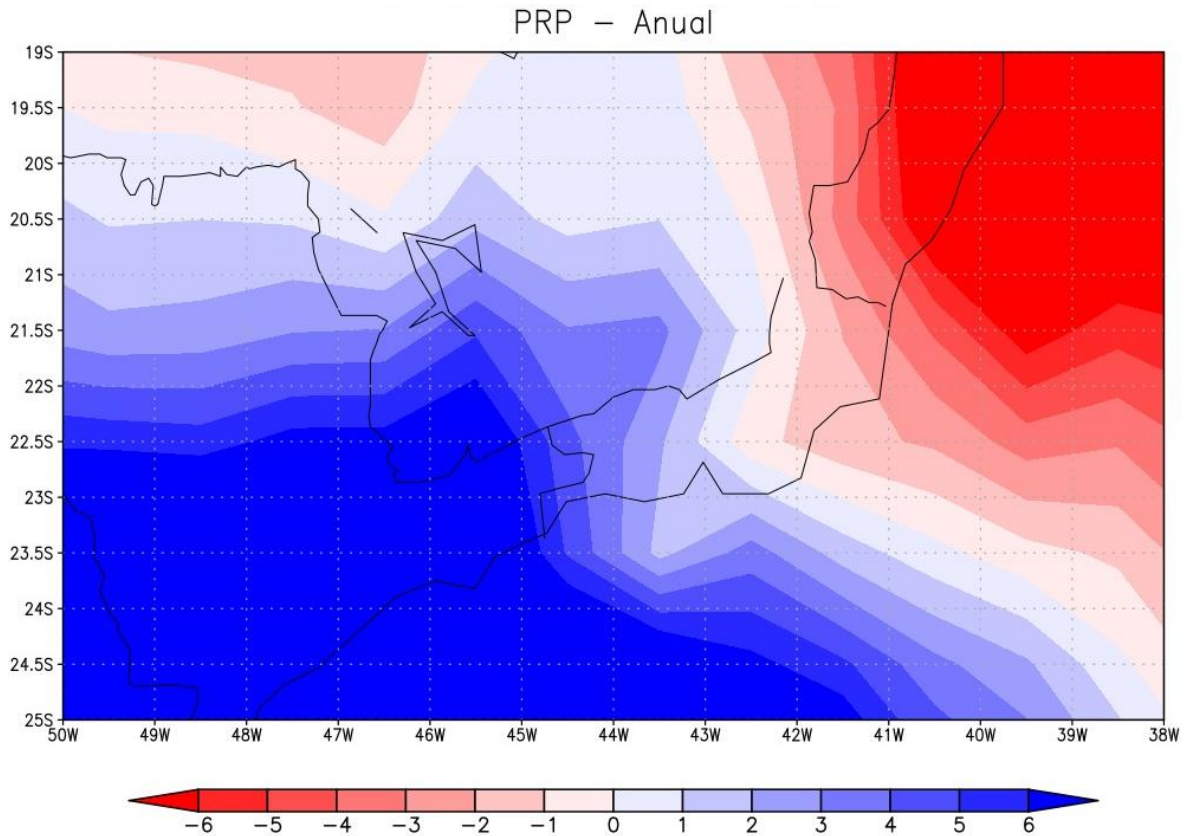
Figura 16. Diferença entre o futuro (2071-2100) para cenário SSP1-2.6 de mudanças climáticas e o controle (1979-2013) da precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR.



Fonte: Autora, 2023.

As distribuições espaciais das diferenças entre o futuro (2071-2100) para o cenário pessimista e o controle (1979-2013) do índice de precipitação anual projetados pelo modelo AWI-CM-1-1-MR para o Estado do Rio de Janeiro são apresentadas na Figura 17.

Figura 17. Diferença entre o futuro (2071-2100) para cenário ssp5-8.5 (pessimista) de mudanças climáticas e o controle (1979-2013) da precipitação anual no Estado do Rio de Janeiro projetadas pelo modelo AWI-CM-1-1-MR.



Fonte: Autora, 2023.

Mapas de anomalias de precipitação destacam, em barras de cor azul, os períodos em que a precipitação mensal/trimestral superou a média histórica (anomalia positiva), e em barras de cor vermelha os períodos em que a precipitação foi menor que a média histórica (anomalia negativa) (INPE, 2014; WELTER, 2018) .

O mapa de anomalia para o cenário pessimista apresenta o mesmo padrão que o cenário otimista, entretanto, com gradientes mais fortes. Ou seja, a intensidade dos eventos se amplificará se houver um aumento drástico nos níveis de emissões. Mas, nos dois cenários o Estado irá enfrentar sérios problemas de extremos de chuva e seca. Uma área tende a ficar muito seca e a outra muito úmida.

Quando observado ambos os mapas de anomalia (Figuras 16 e 17) é possível destacar claramente que a região da Costa Verde, e a cidade do Rio de Janeiro apresentam anomalias positivas de chuvas, ou seja, a projeção é que superem a média histórica de chuvas. E em contrapartida, a região Noroeste e Norte, possuem anomalias negativas, com projeções de

precipitação menores que a média histórica. Afetando também a região da baixada litorânea, e parte da metropolitana e Serrana.

Estas áreas merecem atenção especial não só por apresentarem áreas com moderado e baixo grau de susceptibilidade a desertificação, mas também por estarem inseridas em regiões do Estado do Rio de Janeiro com baixos índices pluviiais, altas temperaturas do ar e elevadas taxas de evapotranspiração, assim como, áreas onde o Índice de Aridez é pronunciado (SANTOS, 2019). Na tese de Gois (2017) uma análise temporal/anual histórica (1967 a 2013) apresentou para a região Norte um total de 83 episódios de seca nas categorias moderadamente, muito e extremamente seco. Santos (2019) conclui que qualquer alteração no delicado equilíbrio entre o meio natural e as atividades humanas nas regiões Norte, Noroeste, Baixada Litorânea e Metropolitana poderá conduzir o ecossistema no sentido da desertificação. Vale destacar que as consequências da desertificação extrapolam os limites geográficos ao impactar na produção de alimentos e migrações para áreas menos vulneráveis (NORONHA; AQUINO; MASSERA, 2016; SANTOS et al., 2021).

Através dos resultados do modelo AWI-CM-1-1-MR é possível identificar outro extremo quanto a tendencia de aumento nas chuvas. Para os dois cenários, quando comparados com o controle, se identifica valores de precipitação maiores que a série histórica. No cenário SSP5-8.5 se destacam: parte das regiões metropolitana e serrana, costa verde e médio paraíba. Acarretando, portanto, um possível agravamento de problemas relacionados com movimentos de massa e inundações, característicos destas regiões. Entretanto, os autores Marques e Rodriguez (2019) ao realizarem uma avaliação de Cenários de Mudanças Climáticas no Planejamento dos Recursos Hídricos do Sistema de Águas da Região Metropolitana Rio de Janeiro e do Baixo Paraíba do Sul, concluíram que tanto na RMRJ como no Baixo Paraíba do Sul, se apresenta possibilidade de déficit de oferta hídrica e demanda por água em determinados momentos, especialmente em situações de escassez, ou seja, quando as vazões mínimas são analisadas, o que afeta diretamente a sustentabilidade do sistema hídrico da região dependente da bacia do rio Paraíba do Sul.

### 5.2.3- Comparação entre os Cenários futuros SSP1- 2.6 (Otimista) e SSP5-8.5 (Pessimista)

Os cenários são representações plausíveis das emissões futuras de Gases de Efeito Estufa (GEE) baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes (IPCC, 2023; SOARES, 2022). As narrativas SSP1 e SSP5 se diferem em termos de uso da terra e sistemas energéticos e em termos quantitativos sua principal distinção é quanto aos níveis de emissões futuras. Assim, através da comparação entre os cenários

otimista e pessimista, busca-se analisar a influência do aumento ou redução das emissões de gases de efeito estufa na precipitação para as regiões de governo do ERJ. Para tal, foi realizada a análise de variância (ANOVA), tabela 7.

Tabela 7. Tabela de Análise de Variância

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Região de Governo</b>	7	651564684.212657	93080669.173237	102.172	0.0000
<b>Cenários</b>	1	102691452.422797	102691452.422797	112.721	0.0000
<b>Região * Cenários</b>	7	51505505.273643	7357929.324806	8.077	0.0000
<b>Erro</b>	5744	5.232905620E+0009	911021.173469		
Total corrigido	5759	6.038667262E+0009			
CV (%) =	101.57				
Média geral:	939.7176927	Número de observações:	5760		

Fonte: Autora, 2023.

Pelos valores calculados na tabela de análise de variância rejeita-se a hipótese nula de médias iguais para ambos os tratamentos (cenários e regiões de governo). Assim como, para os desdobramentos dos cenários nas regiões e vice-versa. Isto, por que, Pr>Fc é menor que 0,05 (significância adotada).

Então, pode-se afirmar que, com 5 % de significância, há diferença significativa entre os cenários, otimista e pessimista. Ou seja, os valores médios de precipitação são diferentes para cada um dos cenários. o cenário com altos níveis de concentrações de GEE, trará precipitações médias diferentes comparativamente com o cenário que apresenta níveis de concentração de gases estufa mais baixos.

Também é possível afirmar que há diferença significativa, com 5 % de significância, entre as linhas de grade representativas das regiões, o que possibilita concluir que pelo menos uma das médias são diferentes entre si. Assim como há interação entre os fatores em análise (Região \* Cenários => Pr>Fc é menor que 0,005).

O coeficiente de variação (CV) é a medida de dispersão, ou seja, a distância dos valores da média (CV= desvio padrão/média). Na análise de variância dos dados, foi calculado um CV de 101,57%. Este valor se justifica pelos dados serem obtidos por série temporal (ano 2070 a



2100) em uma ampla região. Segundo Vieira (2021) o valor de um coeficiente de variação só pode ser julgado em comparação com coeficientes de variação de experimentos similares feitos nas mesmas condições. Nessas circunstâncias, se o coeficiente de variação for maior que o padrão comum convém buscar explicações. Melo et al. (2023) analisaram projeções de precipitação e encontraram valores de CV variando entre 12,83% e 90,02% para o cenário RCP 4.5.

Para analisar o efeito dos tratamentos e das interações entre si na variável dependente (Precipitação) foi realizado o teste Tukey. Através do teste foi possível aferir que o cenário otimista, comparativamente com o pessimista, possui uma média de precipitação mais alta no período futuro (2070 à 2100). O teste também apresentou que entre os cenários desdobrados em cada região de governo do ERJ, somente na região Centro Sul Fluminense aceita-se a hipótese nula de médias iguais, ou seja, não há diferença significativa entre os cenários pessimista e otimista para esta região no futuro. Enquanto em todas as outras regiões, foi observada que para o cenário pessimista haverá uma média menor de precipitação em comparação com o otimista, demonstrando uma relação provável entre o agravamento na questão da seca e o aumento das emissões de gases de efeito estufa no Estado.

Os resultados demonstram de forma clara a necessidade de ações urgentes visando a preparação das áreas foco aos possíveis cenários, impedindo que sejam seriamente impactadas. O desenvolvimento de políticas públicas que busquem não somente mitigar os problemas ambientais e sociais, mas também agir de forma a se adaptar as possíveis mudanças se farão cada vez mais necessários. As soluções baseadas na natureza atualmente têm considerável atração política, com maior ênfase no papel dos ecossistemas como sumidouros de GEE (CHAUSSON et al., 2020). Além de servir como opções proativas de adaptação para os municípios (KABISCH et al., 2016).

Metas e indicadores globais também se apresentam como uma ferramenta fundamental para assegurar a coordenação, comparabilidade e o monitoramento dos progressos dos países em relação ao alcance dos ODS (IPEA, 2018). Tal acompanhamento permite identificar os países e as áreas temáticas que necessitam de maior assistência dos organismos internacionais. Essas ferramentas, portanto, podem ser um ponto de partida para o estabelecimento de um plano de ação claro para o desenvolvimento do Estado no combate as consequências de variações no clima. Pois, como ratificado pelos resultados, focar somente na redução das emissões de gases de efeito estufa não será suficiente para impedir as mudanças na região.

## 6- CONCLUSÕES

Os resultados gerados pelo modelo AWI-CM-1-1-MR permitiram identificar a vulnerabilidade do Estado diante das mudanças no clima. Além disto, forneceram perspectivas relevantes para a futura elaboração de planos de ação focados em medidas mitigadoras e de adaptação frente a problemática climática.

Foi possível aferir que somente focar na redução de emissões de gases de efeito estufa não serão eficazes para enfrentamento do problema. Ações de adaptação e manejo das áreas foco são de extrema importância. Soluções baseadas na natureza associadas ao monitoramento de indicadores e o uso das diretrizes dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável podem ser o ponto de partida para a construção de um planejamento de enfrentamento eficaz a crise climática.

Embora o modelo AWI-CM-1-1-MR seja um modelo climático global, este demonstrou sensibilidade para as características regionais do ERJ. Uma futura associação com modelos de mesoescala poderá possibilitar um maior refinamento das informações e a elaboração de um panorama mais detalhado para o clima futuro nas regiões de governo, incluindo características particulares aos municípios.

Os dados bibliométricos permitiram apresentar como estão focados os estudos de mudanças climática, com uso de modelos, para o Estado, identificando as principais demandas de pesquisa para a região. Tendo principais focos nos impactos das mudanças climáticas na saúde, biodiversidade, disponibilidade hídrica e áreas vulneráveis.

De forma geral, a pesquisa apresenta ao leitor um panorama climático presente e futuro do Estado do Rio de Janeiro com foco nas principais demandas e vulnerabilidades frente as mudanças climáticas.

## REFERENCIAS

- AIRES, M. et al. Analysis of extreme rainfall associated with natural disaster occurring in Angra dos Reis - RJ in 2010, applying the BRAMS model. **RA'EGA**, v. 53, p. 71–94, 2022.
- ALVARES, L.; ARAÚJO JÚNIOR, R. H. Historical landmarks of information science: a brief chronology of the pioneers, classic works and key events. **TransInformação**, v. 22, n. 3, p. 195–205, 2010.
- AMBRIZZI, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. São Paulo: USP/INPE. Acesso em: 4 maio. 2022.
- ANDERSON, C. M. et al. Natural climate solutions are not enough. **Science**, v. 363, n. 6430, p. 933–934, 2019.
- ANDRADE, K. M.; PINHEIRO, H. R.; DOLIF NETO, G. Evento Extremo de Chuva no Rio de Janeiro: Análise Sinótica, Previsão Numérica e comparação com Eventos Anteriores. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 0, 2015.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 2018.
- ARAGÓN, F. M.; OTEIZA, F.; RUD, J. P. **Climate Change and Agriculture: Subsistence Farmers' Response to Extreme Heat**. 2019.
- ARAÚJO, C. A. Vista do Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.
- BARATA, M. et al. Mapa de Vulnerabilidade da população do Estado do Rio de Janeiro aos impactos das Mudanças Climáticas. **Adaptation Futures**, v. 1, n. 194, p. 194, 2014.
- BILLERBECK, C. et al. Multi-Criteria decision framework to evaluate bias corrected climate change projections in the piracicaba river basin. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 339–349, 2021.
- BILLIONNET, A. Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. **European Journal of Operational Research**, v. 231, n. 3, p. 514–534, 2013.
- BOER, G. J. et al. Some results from an intercomparison of the climates simulated by 14 atmospheric general circulation models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 97, n. D12, p. 771–786, 1992.
- BOZZINI, P. L.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Atmospheric model precipitation forecast analysis to support reservoir systems operation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 99–109, 2020.
- BRASIL. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2010.

BRASIL. Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2020.

BRAZ, A. G.; LORINI, M. L.; VALE, M. M. Climate change is likely to affect the distribution but not parapatry of the Brazilian marmoset monkeys (*Callithrix* spp.). **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 536–550, 2019.

CAMPOS, C. G. C. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêsego e de nectarina em Santa Catarina**. 2011. 191f. Tese (Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2011.

CARLOS, A. et al. Climate change and risk of arboviral diseases in the state of Rio de Janeiro (Brazil). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 145, p. 731–745, 2021.

CEZIMBRA, I. M. et al. Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. **Science of the Total Environment**, v. 780, 2021.

CHAUSSON, A. et al. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. **Global Change Biology**, v. 26, n. 11, p. 6134–6155, 2020.

CLAYTON, S. Climate anxiety: Psychological responses to climate change. **Journal of Anxiety Disorders**, v. 74, p. 102263, 2020.

CORREIA, T. P.; COSTA, C. D.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; MORAES, N. O.; LYRA, G. B. Distribuição espacial da precipitação pluvial mensal no Estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 17., 2011, Guarapari. Anais... Guarapari, ES: SB Agro. 2011. 6 p.

COSTA, R. A. et al. A bibliometric research of industry 4.0 opportunities in industrial engineering. **Brazilian Journal of Education, Technology and Societ**, v. 12, n. 4, p. 299–310, 2021.

DA SILVA, F. P. et al. Synoptic thermodynamic and dynamic patterns associated with Quitandinha River flooding events in Petropolis, Rio de Janeiro (Brazil). **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 131, n. 4, p. 845–862, 2019.

DA SILVA, R. A.; DOS SANTOS, R. N. M.; RODRIGUES, R. S. Estudo bibliométrico na base LISA: um enfoque nos artigos sobre os surdos. *Em Questão*, v. 17, n. 1, p. 289–304, 2011.

DANILOV, S.; KIVMAN, G.; SCHRÖTER, J. A finite-element ocean model: Principles and evaluation. **Ocean Modelling**, v. 6, n. 2, p. 125–150, 2004.

DARELA FILHO, J. P. et al. Socio-climatic hotspots in Brazil: how do changes driven by the new set of IPCC climatic projections affect their relevance for policy? **Climatic Change**, v. 136, n. 3–4, p. 413–425, 2016.

DE BRITO, A. P. et al. Analysis of the Rain Anomaly Index and Precipitation Trend for Pluviometric Stations in Central Amazonia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 19–30, 2022.

DE LIMA, C. R. M. Bibliometria: Análise quantitativa da literatura como instrumento de administração em sistemas de informação. **Ciência da Informação**, v. 15, p. 127–133, 1986.

DE OLIVEIRA, F. H. P. **Caracterização das diferenças ente precipitações estimadas por satélite e obtidas por pluviômetros**. Dissertação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

DE OLIVEIRA, N. C. R. et al. Environmental education and climate change: bibliometric analysis. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 61, p. 391–410, 2023.

DELOSRIÓS-WHITE, M. I. et al. Mapping the life cycle co-creation process of nature-based solutions for urban climate change adaptation. **Resources**, v. 9, n. 4, 2020.

DING, H.; SUN, R. Supply-demand analysis of ecosystem services based on socioeconomic and climate scenarios in North China. *Ecological Indicators*, v. 146, 2023.

DOURADO, F.; COUTINHO ARRAES, T.; E SILVA, M. F. O Megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro - as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 43–54, 2012.

ELLEGAARD, O. The application of bibliometric analysis: disciplinary and user aspects. **Scientometrics**, v. 116, n. 1, p. 181–202, 2018.

ERFANIAN, A.; WANG, G.; FOMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: Significantly under-predicted by tropical SST. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 2017.

ESCOBAR, G. C. J.; DE ALMEIDA MARQUES, A. C.; DEREZYNSKI, C. P. Synoptic patterns of South Atlantic Convergence Zone episodes associated with heavy rainfall events in the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Atmosfera**, v. 35, n. 2, p. 287–305, 2022.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação De Métodos De Interpolação Espacial Aplicados À Pluviosidade Em Região Montanhoso No Litoral Sul Do Estado Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

FILSER, L. D.; DA SILVA, F. F.; DE OLIVEIRA, O. J. State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 112, n. 2, p. 799–816, 2017.

- FRANÇOSO, E.; ZUNTINI, A. R.; ARIAS, M. C. Combining phylogeography and future climate change for conservation of *Bombus morio* and *B. pauloensis* (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Insect Conservation**, v. 23, n. 1, p. 63–73, 2019.
- FRANTZESKAKI, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. **Environmental Science and Policy**, v. 93, p. 101–111, 2019.
- FRANTZESKAKI, N. et al. Nature-based solutions for urban climate change adaptation: Linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making. **BioScience**, v. 69, n. 6, p. 455–466, 2019.
- ANDRÉ, G. B. R. et al. Identificação de Regiões Pluviometricamente Homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 501–509, 2008.
- GLAHN, H. R.; LOWRY, D. A. The Use of Model Outputs Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. **Journal of applied Meteorology**, v. 11, p. 1203–1211, 1972.
- GLOOR, M. et al. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 9, p. 1384–1399, 2015.
- GOIS, G. DE. **Catástrofes Naturais no Estado do Rio de Janeiro Baseado em Dados Climáticos e Produtos Orbitais: Uma Abordagem Estatística**. 2017. 346f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.
- GORDON, C. et al. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. **Climate Dynamics**, v. 16, n. 2–3, p. 147–168, 2000.
- GRIGGS, D. J.; NOGUER, M. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. **Weather**, v. 57, n. 8, p. 267–269, 2002.
- GUARDA, E. L. A. DA; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020031, 2020.
- GUPTA, H. V. et al. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p. 80–91, 2009.
- INPE. Informações Sobre Produtos De Monitoramento Climático Mensal E Trimestral Das Chuvas No Brasil. Na Página do CPTEC/INPE. Cachoeira Paulista: 2014. Disponível em: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br). Acesso em: 05 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades | Rio de Janeiro | Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 9 ago. 2022.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/map>. Acesso em: 10 ago. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment**. Cambridge: [s.n.], 1990.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments**The World Environment 1972–1992. Cambridge: [s.n.], 1992.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability**. Cambridge: [s.n.], 1998.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge, United Kingdom and New York: [s.n.], 2001.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Relatório Especial sobre Cenário de Emissões do IPCC: Sumário para Formuladores de Políticas**. Rio de Janeiro: traduzido pelo Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, 2002.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Em: FORSTER, P. et al. (Eds.). **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I. [s.l: s.n.]. 2007.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA – IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge, United Kingdom and New York: [s.n.]. 2013.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: [s.n.]. Disponível em: [papers2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D](https://publications2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D). Acesso em: 05 jan. 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. **Aquecimento Global de 1,5°C: Sumário para Formuladores de Políticas**. Incheon: [s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 4 out. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. **Chapter 8: Reporting Guidance and Tables**. Em: 1. ed. [s.l.] 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019. v. 1, p. 8.1-8.36.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: [s.n.]. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 4 out. 2022.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. **Technical Summary**. Em: *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. [s.l.] Cambridge University Press, 2023. p. 35–144.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. Agenda 2030 - ODS -Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável: proposta de adequação. 2018. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8636>. Acesso em: 13 jul. 2022.

IRITANI, D. R. et al. Análise sobre os conceitos e práticas de gestão por processos: Revisão sistemática e bibliometria. **Gestão e Produção**, v. 22, n. 1, p. 164–180, 2015.

IRVING, K. et al. Data descriptor: A high-resolution streamflow and hydrological metrics dataset for ecological modeling using a regression model. **Scientific Data**, v. 5, 2018.

JIANG, L.; O'NEILL, B. C. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 193–199, 2017.

JOHNS, T. C. et al. The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. **Climate Dynamics**, v. 13, p. 103–134, 1997.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T. Efeito Estufa e Aquecimento Global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 26, 2018.

KABISCH, N. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. **Ecology and Society**, v. 21, n. 2, 2016.

KLING, H.; FUCHS, M.; PAULIN, M. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. **Journal of Hydrology**, v. 424–425, p. 264–277, 2012.

LA PASTA CORDEIRO, M. et al. Analysis of indicators of climate extremes and projection of groundwater recharge in the northern part of the Rio de Janeiro state, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 12, p. 18311–18336, 2021.

LIN, S.; ZHAO, L.; FENG, J. Predicted changes in the distribution of Antarctic krill in the Cosmonaut Sea under future climate change scenarios. **Ecological Indicators**, v. 142, 2022.

LYRA, G. B. et al. Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 134, n. 3–4, p. 955–965, 2018.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT- MA. **Ecosystems and human well-being : synthesis**. Island Press, Washington, DC.: Island Press, 2005.



MACHADO, M. A. DE M. **Estimativa da Erosividade de chuvas para o Estado do Paraná sob cenários de mudanças climáticas**: distribuição anual, sazonalidade e uso de modelos climáticos. 2017. 159f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MACHADO, R. L. **Características Físicas de Chuvas e Erosividade no Estado do Rio de Janeiro e Erodibilidade de Argissolo Vermelho-Amarelo em Seropédica-RJ**. 2011. 117f. Tese (Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

MACHILI, B. J. As mudanças climáticas na Província do Niassa e seu impacto para a agricultura. **HOLOS**, v. 7, p. 1–15, 2020.

MARAUN, D. Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review. **Current Climate Change Reports**, v. 2, p. 211–220, 2016.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. *Revista Ambiente e Água*, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2017.

MARQUES, A. C.; RODRIGUEZ, D. A. Evaluation of climate change scenarios in water resources planning of rio de janeiro metropolitan region and paraíba do sul lower course water systems. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 42, n. 4, p. 249–258, 2019.

MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. **Thee Atlantic Forest**: History, Biodiversity, Threats and Opportunities off the Mega-diverse Forest. Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2021.

MARQUES, R. et al. Climate change impacts on Anopheles (K.) cruzii in urban areas of Atlantic Forest of Brazil: Challenges for malaria diseases. **Acta Tropica**, v. 224, 2021.

MEDEIROS, I. L. DE et al. Revisão Sistemática e Bibliometria facilitadas por um Canvas para visualização de informação. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 12, n. 1, p. 93–110, 2015.

MELLO, E. L. D. E. et al. Efeito das Mudanças Climáticas na Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 635–644, 2008.

MELO, M. H. B. DE et al. Análise das Projeções de Precipitação no Semiárido do Rio Grande do Norte- Experimentos RCP 4.5 e RCP 6.0. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 4, p. e442964, 2023.

MENDES, C. S. et al. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 21, n. 1, p. 263–272, 2016.

MONTERO, N. et al. Effects of local climate on loggerhead hatchling production in Brazil: Implications from climate change. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 2019.

MORAES, M. F. DE. **Estimativa do Balanço Hídrico na bacia Experimental/Representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá [Rio de Janeiro]**. 2007. 251f. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MURPHY, J. M. Transient response of the Hadley Centre coupled ocean-atmosphere model to increasing carbon dioxide. Part I: control climate and flux adjustment. **Journal of Climate**, v. 8, n. 1, p. 36–56, 1995.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. 1. ed. Bauru, SP: INCT- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas, 2017.

NORONHA, G. C. DE; AQUINO, M. DE; MASSERA, G. Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria / Cambiocó , RJ Rain Anomaly Index Analysis for the Santa Maria / Cambiocó Catchment , Rio de Janeiro State , Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 74–81, 2016.

OLIVEIRA-FILHO, G. R. Os movimentos de massa na região serrana do estado do Rio de Janeiro em 2011: diagnóstico e proposição de medidas para enfrentamento de desastres ambientais. **CES Revista**, v. 26, p. 149–164, 2012.

O'NEILL, B. C. et al. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 169–180, 2017.

ONU. **Roteiro para a Localização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Implementação e Acompanhamento no nível subnacional**. Disponível em: <https://brasil.un.org/>. Acesso em: 13 jul. 2022.

PACKER, A. L. SciELO Citation Index no Web of Science. **SCIELO**. Disponível em: <https://blog.scielo.org/blog/2014/02/28/scielo-citation-index-no-web-of-science/#.Yw4tttPMJPa>. Acesso em: 29 ago. 2022.

PBMC. **Capítulo 8: Avaliação de modelos globais e regionais climáticos**. Em: Painel Brasileiro De Mudanças Climáticas - Primeiro Relatório De Avaliação Nacional. 1. ed. v. 1, p. 323–363, 2014.

PESSINI, L.; SGANZERLA, A. Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da onu sobre o clima e meio ambiente. **Revista Iberoamericana de Bioética**, n. 1, p. 1–14, 2016.

PIHL, E. et al. **Ten new insights in climate science 2020- A horizon scan**. Global Sustainability Cambridge University Press, 2020.

PRISTO, M. V. DE J. et al. Heavy rainfall events climatology in the city of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 615–630, 2018.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python Language Site: Documentation, 2023. Disponível em: <<https://www.python.org/doc/>>. Acesso em: 06 de set. de 2023.

QIN, Z. et al. Delayed impact of natural climate solutions. **Global Change Biology**, v. 27, p.215–217, 2021.

QUADRO, M. F. L. DE. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 210–210, 1999.

RACKOW, T. et al. Towards multi-resolution global climate modeling with ECHAM6-FESOM. Part II: climate variability. **Climate Dynamics**, v. 50, n. 7–8, p. 2369–2394, 2018.

RACKOW, T. et al. Sensitivity of deep ocean biases to horizontal resolution in prototype CMIP6 simulations with AWI-CM1.0. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 7, p. 2635–2656, 2019.

RACKOW, T.; JURICKE, S. Flow-dependent stochastic coupling for climate models with high ocean-to-atmosphere resolution ratio. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 726, p. 284–300, 2020.

RIAHI, K. et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153–168, 2017.

RIO DE JANEIRO. Lei Complementar nº 184, de 27 de dezembro de 2018. Dispõe sobre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro**, 2018.

RIO, A. DO et al. Alternative sowing dates as a mitigation measure to reduce climate change impacts on soybean yields in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 11, p. 3664–3672, 2016.

ROCHA, J. CESAR; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 2. ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RODRIGUES, J. **Um estudo sobre testes de comparação de médias e sua aplicação a um teste F global significativo na análise de variância**. Tese—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2015.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. DA S. Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. **Revista USP**, n. 103, p. 41, 2014.

SANCHES, M. B. **Análise Sinótica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) utilizando-se a técnica de composição**. Dissertação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

SANTIS, R. F. DE. **Desenvolvimento de um algoritmo computacional para identificação de vórtices ciclônicos associados à zona de convergência do Atlântico Sul - [DIS]**.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente). Florianópolis: Instituto Federal de Santa Catarina, 2022.

SANTOS, C. A. DOS. **Detecção de áreas de risco à desertificação no Estado do Rio de Janeiro com utilização de geotecnologias**. Dissertação. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, J. C. DOS et al. Aridity Indices to Assess Desertification Susceptibility: A Methodological Approach Using Gridded Climate Data. **Research Square**, p. 1–43, 2021.

SCHEWE, J. et al. State-of-the-art global models underestimate impacts from climate extremes. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–14, 2019.

SEDDON, N. et al. **Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences Royal Society Publishing, 2020.

SEIN, D. V. et al. Designing variable ocean model resolution based on the observed ocean variability. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 8, n. 2, p. 904–916, 2016.

SEIN, D. V. et al. Ocean Modeling on a Mesh With Resolution Following the Local Rossby Radius. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 9, n. 7, p. 2601–2614, 2017.

SEIN, D. V. et al. The Relative Influence of Atmospheric and Oceanic Model Resolution on the Circulation of the North Atlantic Ocean in a Coupled Climate Model. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 10, n. 8, p. 2026–2041, 2018.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98, n. 1–2, p. 67–77, 2009.

SEMMLER, T. et al. Simulations for CMIP6 With the AWI Climate Model AWI-CM-1-1. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 12, n. 9, 2020.

SESANA, E. et al. Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 12, n. 4, 2021.

SIDORENKO, D. et al. Towards multi-resolution global climate modeling with ECHAM6–FESOM. Part I: model formulation and mean climate. **Climate Dynamics**, v. 44, n. 3–4, p. 757–780, 2015.

SILVA, C. A. M. Shared socioeconomic pathways in Brazil: Scenarios for population dynamics and the challenges to adaptation and mitigation. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 40, p. 1–27, 2023.

SILVA, É. N. DA; BAZZOLI, J. A. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Ods-11) e o Direito à Cidade. **Revista Desafios**, v. 8, n. Especial, p. 23–29, 2021.

SILVA, W. L. **Caracterização Climatológica e Mudanças Climáticas no Estado do Rio de Janeiro**. 2014. 118f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SILVEIRA, C. DA S. et al. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317–330, 2013.

SINGH MALHI, G.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. **Sustainability Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review**. 2021.

SINGLETON, M. P. et al. Increasing trends in high-severity fire in the southwestern USA from 1984. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037811271831661X>. Acesso em: 10 ago. 2023

SOARES, W. Cenários de Mudanças Climáticas. **IEC-ES**, v. 8, n. 5, p. 2003–2005, 2022.

SOVACOOOL, B. K. et al. Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 141, p. 1–55, 2021.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. Pearson Prentice Hall. 2. ed. Perarson Prentice Hall, 2009.

STEPHENS, S. L. et al. Fire and climate change: conserving seasonally dry forests is still possible. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 18, n. 6, p. 354–360, 2020.

STEVENS, B. et al. Atmospheric component of the MPI-M earth system model: ECHAM6. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 5, n. 2, p. 146–172, 2013.

TCE-RJ. Portal TCE-RJ / Estudos socioeconômicos. **TCE-RJ** Disponível em: [https://www.tcerj.tc.br/portalnovo/publicadordearquivo/estudos\\_socioeconomicos](https://www.tcerj.tc.br/portalnovo/publicadordearquivo/estudos_socioeconomicos). Acesso em: 9 ago. 2022.

TEIXEIRA, M. DA S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 2, p. 598–617, 2007.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, n. 7, p. 1082–1089, 1911.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. In: BRAUN, H. I. (Ed.) the collected works of John W. Tukey, Volume VIII, Multiple comparisons: 1948-1983. New York: Chapman e Hall, 1953. p.1-300.

VIEIRA, S. **Delineamento e Análise de Experimentos nas Ciências Agrárias**. 1. ed. Piracicaba/SP: 2021.

WAMSLER, C. et al. Beyond participation: when citizen engagement leads to undesirable outcomes for nature-based solutions and climate change adaptation. **Climatic Change**, v. 158, n. 2, p. 235–254, 2020a.

WAMSLER, C. et al. Environmental and climate policy integration: Targeted strategies for overcoming barriers to nature-based solutions and climate change adaptation. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, 2020b.

WANG, Q. et al. The Finite Element Sea Ice-Ocean Model (FESOM) v.1.4: Formulation of an ocean general circulation model. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 2, p. 663–693, 2014.

WELTER, V. **Precipitação em verões ob influência de eventos Enos Canônico e Modoki no sudeste da América do Sul**. Dissertação. Marechal Cândido Rondon: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.

WESTERLING, A. L.; DISCLAIMER, M.; BROWN, E. G. **Wildfire Simulations for California's Fourth Climate Change Assessment**: Projecting Changes In Extreme Wildfire Events With A Warming Climate California's Fourth Climate Change Assessment. 2018.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Provisional State of the Global Climate 2023**. Nature Climate Change. [s.l.] Nature Publishing Group, 2023.

YASOJIMA, C. T. K. Modelo de Krigagem Automática Baseada em Agrupamento. Tese—Belém: Universidade Federal do Pará, 2020.