



Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS IMPLICAÇÕES NOS RECURSOS HÍDRICOS DAS BARRAGENS: ENGENHEIRO ÁVIDOS, EPITÁCIO PESSOA E COMPLEXO COREMAS MÃE D'ÁGUA – PARAÍBA

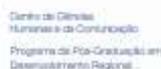
Yuri Batista Oliveira Gomes¹
Ângela Maria Cavalcanti Ramalho²

Resumo: As mudanças climáticas consistem em alterações que influenciam na temperatura global, provocando aumentos de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, implicando nos regimes de chuvas e promovendo o aumento de ocorrência de desastres ambientais, causando inundações, estiagens prolongadas, além de resultarem em longos períodos de secas. O objetivo principal do estudo foi analisar esse cenário de mudanças climáticas e suas implicações, baseado em dados de séries temporais de pluviometria e volume, desenvolvendo perfis de sazonalidades, tendências e previsões das vulnerabilidades hidroclimáticas nas principais barragens do semiárido paraibano: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe d'água. Evidenciamos, ainda, a necessidade de aperfeiçoamento da gestão hídrica em prol de um planejamento futuro. O estudo respaldou-se em pesquisa bibliométrica, na literatura nacional e internacional e em coletas e análises de dados de séries temporais gerados por modelos estatísticos. Por fim, verificamos que as mudanças climáticas e meteorológicas implicam tanto na disponibilidade quanto na qualidade dos recursos hídricos na região do semiárido Paraibano.

Palavras Chaves: mudanças climáticas; recursos hídricos; séries temporais.

¹ Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): graduado em Geografia e Mestre em Desenvolvimento Regional pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da UEPB, Campina Grande - Paraíba. Yuribog494@gmail.com. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001.

² Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): economista e doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), coordenadora adjunta e professora permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da UEPB, Campina Grande, Paraíba. angela@servidor.uepb.edu.br.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

CLIMATE CHANGE SCENARIOS AND THE IMPLICATIONS ON DAM WATER RESOURCES: ENGENHEIRO ÁVIDOS, EPITÁCIO PESSOA AND COMPLEXO COREMAS MÃE D'ÁGUA – PARAÍBA.

Yuri Batista Oliveira Gomes³
Ângela Maria Cavalcanti Ramalho⁴

Abstract: Climate change consists of changes that influence the global temperature, causing increases in the emission of greenhouse gases into the atmosphere, affecting rainfall patterns and promoting an increase in the occurrence of environmental disasters, causing floods, prolonged droughts, in addition to resulting in long dry periods. The main objective of the study was to analyze this climate change scenario and its implications, based on rainfall and volume time series data, developing seasonality profiles, trends and predictions of hydroclimatic vulnerabilities in the main dams in the semi-arid region of Paraíba: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa and Coremas Mãe d'água Complex. We also highlight the need to improve water management in favor of future planning. The study was supported by bibliometric research, national and international literature and collection and analysis of time series data generated by statistical models. Finally, we found that climate and meteorological changes impact both the availability and quality of water resources in the semi-arid region of Paraíba.

Keywords: climate change; water resources; time series.

³ Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): graduado em Geografia e Mestre em Desenvolvimento Regional pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da UEPB, Campina Grande - Paraíba. Yuribog494@mail.com. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001.

⁴ Universidade Estadual da Paraíba (UEPB): economista e doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), coordenadora adjunta e professora permanente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da UEPB, Campina Grande, Paraíba. angela@servidor.uepb.edu.br.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

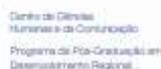
Florianópolis (SC) – 2024

1 Introdução

As mudanças climáticas estão associadas à influência de fatores naturais, às ações antrópicas e atmosféricas, assim como ao aumento médio da temperatura global da Terra, provocado pelas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. As variabilidades climáticas na escala temporal apresentam um conjunto de variações estatísticas com tendências sobre as mudanças no sistema climático, e as opções para combatê-las dependem da sua intensidade e do período ocorrido.

As consequências das mudanças climáticas ocorrem em diversos âmbitos e produzem impactos diretos e indiretos, gerando riscos globais e afetando o bem-estar humano na cidade e no campo, pois incide sobre a saúde, segurança alimentar, culturas agrícolas e sistema de produção. Além disso, pode ocasionar o aumento das ondas de calor, desastres, inundações, deslizamento de terras e secas, afetando, ainda, a vida das espécies, devido essas condições alterarem o ciclo de vida delas, tendo em vista que modificam os seus habitats, poluem e fazem surgir espécies invasoras, podendo submetê-las, inclusive, à extinção.

As mudanças climáticas podem persistir por um determinado período de tempo, seja eu curto ou prolongado, gerando riscos intensos, como as estiagens prolongadas, enchentes e desabamentos, fatores estes que podem ser identificados no histórico de dados meteorológicos. Segundo o relatório recente do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC) 2023, as mudanças climáticas são fenômenos que promovem o aquecimento global e suas interferências resultam em catástrofes ambientais danosas às populações locais, além de uma série de mudanças suaves ou monótonas (aumento ou diminuição) dos fenômenos climáticos





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

que, por sua vez, interferem nos processos de resiliência, mitigação e adaptação das mudanças climáticas que, conseqüentemente, são evidenciados em valores médios dessas séries históricas de chuvas e temperaturas, a médio e longo prazos, que podem acontecer a depender da escala geográfica de uma região específica, sendo confirmados por tendências de séries temporais (IPCC, 2023).

Vale salientar que os países em desenvolvimento estão mais susceptíveis às interferências climáticas, visto que possuem uma menor resiliência e capacidade de adaptação do que os países desenvolvidos. Com implicações ambientais e sociais, a exemplo do aumento das desigualdades, há a diminuição da capacidade produtiva de trabalho e o aumento dos riscos de doenças transmitidas pela água e vetores para a população que se encontra nos nichos de vulnerabilidade.

Nesse sentido, percebemos que a problemática das mudanças climáticas é pauta recorrente nos debates ambientais, acadêmicos, de políticas ambientais e estudos científicos; os dados sobre a frequência de eventos severos são alarmantes, o que sinaliza a necessidade da revisão de modelos de desenvolvimento rumo à sustentabilidade, no intuito de se obter avanços futuros.

Os assuntos ambientais das mudanças climáticas surgem a partir dos anos 1970 (especificamente no ano de 1972), na reunião da Organização das Nações Unidas sobre o meio ambiente, realizada em Estocolmo (Suécia), entretanto, somente a partir do ano 1987 a ONU criou a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, na qual foram definidas as premissas iniciais para o desenvolvimento sustentável para gerações futuras.

Vale ressaltar que os fatores climáticos interferem, significativamente, nos desastres ambientais de grandes proporções (sobretudo no aspecto hídrico),





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

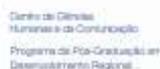
Florianópolis (SC) – 2024

resultantes das condições geográficas e hídricas em larga escala. Os recursos das bacias hidrográficas e de seus mananciais, considerando que cada uma tem função hidrológica de abastecimento, captação, armazenamento e distribuição quantitativa e qualitativa, são submetidos a avaliações sobre os efeitos das alterações climáticas e seus impactos para o uso e as perdas na distribuição da água.

Desse modo, crise hídrica e mudanças climáticas estão interligadas, pois o aumento da evapotranspiração afetando os corpos hídricos e a vulnerabilidade as barragens (especialmente no Nordeste brasileiro), comprometendo a disponibilidade da água em diversas regiões, agravando os cenários climáticos, aumentando a temperatura e diminuindo o índice pluviométrico, resultando em estiagens prolongadas. Além disso, as mudanças nos padrões de precipitação e temperatura também podem causar e/ou acentuar os problemas no volume de chuvas e, conseqüentemente, na qualidade, abastecimento e distribuição de água nas áreas mais atingidas.

No Brasil, os aumentos de temperatura previstos (1 a 6 °C), dependendo do grau de emissão de gases, podem intensificar a evaporação à superfície, provocando alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas, tendo como implicações o aumento da população, a distribuição espacial desigual e a falta de manejo adequado, trazendo um desafio à gestão de recursos hídricos: a garantia do acesso à água para todos; esse efeito é notado com mais intensidade em regiões onde predominam a agricultura de sequeiro e a subsistência, como no semiárido nordestino, por exemplo.

É importante destacar que a água é um dos recursos naturais mais impactados pelos efeitos das mudanças climáticas, as quais vêm provocando alterações nos





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

padrões de precipitação, disponibilidade e distribuição da vazão dos rios, além do aumento da ocorrência de eventos hidrológicos extremos (inundações e longos períodos de estiagens), eventos comprometem a oferta de água e ameaçam o suprimento desse recurso para os grandes centros urbanos e para as áreas vulnerabilizadas, sobretudo em regiões do semiárido (MORAIS et al. 2022).

Algumas projeções indicam que, ao longo do século XXI, os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos reduzirão na maioria das regiões subtropicais secas, intensificando a disputa por água. Este risco refere-se à redução da qualidade da água potável e/ou não tratada, pois, mesmo submetida ao tratamento convencional, não atinge a salubridade ideal devido ao aumento da temperatura, sedimentação, concentração de nutrientes e cargas poluentes provenientes de chuvas intensas (JIMÉNEZ CISNEROS et al. 2014).

Nesse intervalo, as ações mais relevantes dizem respeito ao modo como gerenciamos os recursos hídricos, partindo da premissa de que administrar riscos supõe ações de adaptação e mitigação às mudanças climáticas, demandando sistemas de alocação mais eficientes e flexíveis, além de melhorar o investimento em infraestrutura e políticas ambientais, possibilitando tanto o acesso à água quanto a redução dos riscos decorrentes das variações climáticas.

No âmbito dessas questões ambientais, situam-se os fatores relacionados ao planejamento e à gestão, visto que a governança dos recursos hídricos precisa se adequar às demandas econômicas, sociais e ambientais, de modo que viabilize ao cidadão o efetivo direito de acesso à água, por meio de políticas e ações que tornem essas mudanças menos danosas, desacelerando as mudanças climáticas diante de um momento decisivo para as gerações presentes e futuras.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

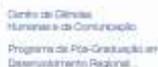
2 Aspectos Metodológicos

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a pesquisa exploratória e descritiva, no intuito de responder os questionamentos levantados nos objetivos geral e específicos. A obtenção dos dados aconteceu por meio de trabalho de campo e as informações coletadas foram submetidas a uma abordagem analítica e quantitativa, no intuito de identificar os cenários e implicações das mudanças hidroclimáticas nas barragens de Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'Água.

Ainda para a elaboração deste estudo, foi realizada uma ampla pesquisa bibliométrica, a qual compreendeu materiais nacional e internacional, além de documentos oficiais, provenientes de banco de dados de órgãos públicos governamentais, tais como: a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA), o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Serviram-nos como fontes de pesquisas também os periódicos das CAPES, sobretudo quando buscamos analisar as variações estatísticas dos últimos quatro censos demográficos realizados no estado Paraíba, as séries temporais dos índices de chuvas, volume, abastecimento, capacidade hídrica, perdas por evaporação e, ainda, fatores ambientais e antrópicos climáticos, nas últimas três décadas.

Para a localização dos municípios sedes das barragens e das bacias hidrográficas, utilizamos o *software* Qgis, além do programa estatístico R, o qual





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

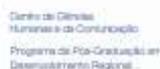
Florianópolis (SC) – 2024

demonstra a coleta e o tratamento das análises de um conjunto de dados em gráficos conjugados de série temporal, atribuindo valores às médias dos volumes percentuais das barragens por ano, aos índices pluviométricos em milímetros anuais dos municípios integrantes das bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas. Durante o período das ações climáticas decorrentes do fenômeno el ninho em dois intervalos (1997-2000 e 2012-2018), constatados em dados oficiais de medição da AESA, que compreendem só os últimos 29 anos a partir de janeiro de 1994 a setembro de 2023.

Com o propósito de analisar os dados mensais da AESA acerca dos volumes das barragens de engenheiro Ávidos, Complexo Coremas Mãe d'água e Epitácio Pessoa (integrantes das bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó, Piranhas) usamos o padrão matemático estatístico SARIMA (Modelo de Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis com Sazonalidade); além disso, tivemos o auxílio do Teste de *Mann-Kendall* e *Dickey-Fuller*, utilizado para observar as séries de não-estacionariedade que atribui a tendência na série temporal e que se adequa melhor na incorporação das funções de equações matemáticas para volume e sazonalidades, ciclos climáticos e variações próximas às barragens, correspondendo ao período de intensos fenômenos climáticos dos últimos 12 anos (janeiro de 2012 a março de 2024).

3 Cenários de Mudanças Climáticas: Implicações e Conexões

Os cenários de mudanças climáticas influenciam na permanência e atribuições dos níveis de excelência de eventos climáticos, por esta razão, podem ser úteis em estudos ambientais, apresentando as curvas de frequência acumuladas e





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

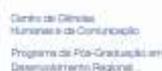
Florianópolis (SC) – 2024

comumente empregadas para descrever os eventos climáticos, sejam eles extremos ou moderados, de um determinado sistema hídrico.

É importante assinalar que as mudanças climáticas e a dinâmica da sua variabilidade, mesmo dentro do previsto, podem ocasionar reflexos significativos nas atividades humanas; assim, para determinar a necessidade dos recursos hídricos é preciso realizar um estudo da evapotranspiração, pois ela depende, fundamentalmente, das condições microclimáticas, tais como precipitação, velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar (PEREIRA *et al.*, 2019).

Desse modo, nos estudos que tomam por base uma abordagem quantitativa, as pesquisas exploraram essas curvas, analisando dados estatísticos que qualificam a água que é evaporada em rios, açudes e reservatórios (CUNHA; DODDS; CALIJURI, 2011). Enquanto isso, em outros estudos, avaliam o risco percentual de incompatibilidade dos resultados de monitoramento com padrões de qualidade (ZHANG & ARHONDITSIS, 2008) como, por exemplo, com os padrões estabelecidos pelo Brasil por meio da Resolução CONAMA nº 357/2005 (CUNHA & CALIJURI, 2010).

Em análise das mudanças climáticas ocasionadas por fatores naturais, bem como as alterações diante dos sucessivos desastres ambientais que impactam diretamente nas ações de adaptação, mitigação e resiliência hídrica, provenientes da incidência da radiação solar na região dos trópicos equatoriais, além das ações antrópicas e suas influências na expansão dos gases do efeito estufa, consideramos os principais fatores do aquecimento global, fenômeno que vem crescendo nos últimos anos, desencadeando o aumento das taxas de evaporação e precipitação,





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

tornando algumas regiões mais úmidas, enquanto, simultaneamente, outras enfrentam períodos de estiagem intensa.

Vale destacar que as ações antrópicas, ocorridas em grandes áreas urbanas, contribuem para o atual cenário climático que, aliado à falta planejamento governamental, colabora, substancialmente, para os agravos socioambientais, inclusive, hídricos, o que potencializa a incidência de ciclos de desastres ambientais, provocando impactos climatológicos, sobretudo, para a população mais vulnerável (falta de água potável, ausência de saneamento e proliferação de doenças ligadas à água), acentuando ainda mais a desigualdade social.

Segundo Jacobi e Nascimento (2016), as mudanças climáticas decorrem dos fatores chamados “riscos anunciados”, trazendo à tona o papel da gestão ambiental na administração dos cenários desses riscos anunciados, assim como dos desastres de forma mais urgente devido ao aumento da ocorrência e da intensidade de eventos extremos que põem em risco as populações de áreas vulneráveis; tal iniciativa demanda avanços na gestão preventiva hídrica, a médio e longo prazo, principalmente na governabilidade ambiental, que possibilite o desenvolvimento da capacidade adaptativa das sociedades contemporâneas.

Essa problemática constrói um cenário de intensificação de eventos ambientais extremos, como: a maior seca dos últimos cem anos, ocorrida no Nordeste entre 2012 e 2018; crise hídrica em São Paulo em 2014, os incêndios florestais descontrolados ocorridos na Amazônia em 2019 e no Pantanal em 2020; os ciclones tropicais, na região Sul em 2023; as fortes e históricas inundações no Rio Grande do Sul, em maio de 2024, o que se deveu também à transição brusca entre a seca provocada pelo el niño e um intenso período chuvoso na região, ocorridos entre





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

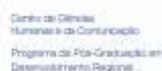
Florianópolis (SC) – 2024

2020 a 2024; além desses desastres, destacamos ainda a estiagem no Rio Amazonas desde 2023 que, aliada às tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, secas, nevascas, furacões, tornados e tsunamis em cadeia global, tendem a se tornar mais frequentes, podendo acarretar a extinção de diversas espécies de animais e plantas.

Devido a essas questões ambientais, sofrem interferências a qualidade do solo e da água para o uso humano, provocando também a poluição do ar, comprometendo a agricultura, com a irregularidade de chuvas e diminuição de recarga hídrica nas barragens, fatores que incidem diretamente na economia dos países, em especial dos periféricos, pois refletem na produção de alimentos e na geração de energia elétrica.

Outro agravante ocorre nos ciclos hídricos, tendo em vista que aumentam os níveis de vapor de água na atmosfera, tornando a disponibilidade deste recurso cada vez menos previsível, ou seja, à medida que a evaporação aumenta, altera a umidade do solo, o escoamento, o regime de chuvas e, conseqüentemente, a disposição de água para o consumo humano, provocando desequilíbrios regionais, pois enquanto algumas regiões enfrentam chuvas torrenciais, outras são acometidas de secas graves, especialmente durante o verão.

Em decorrência do aquecimento global e do aumento da emissão de gases do efeito estufa, o calor retido na atmosfera acaba sendo armazenado nos oceanos, afetando a temperatura e a circulação da água, além de acelerar o processo de derretimento das calotas polares. Essa situação resulta na entrada de água doce nos oceanos, alterando as correntes marinhas e o ciclo hidrológico, acarretando também no aumento do nível do mar em regiões litorâneas.





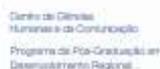
Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

Diante da emergência por medidas, planos, políticas e ações para o enfrentamento das alterações climáticas, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu metas de desenvolvimento sustentável na Agenda 2030, a fim de buscar soluções urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos socioambientais e infra estruturais, o que reforça a necessidade de intervenções mundiais no intuito de promover a conscientização e a mudança de hábitos para a economia de água, preservação de recursos naturais e redução dos desajustes das resiliências climáticas e suas desigualdades, o que demanda apoio da população para que se gerem efeitos significativos contra as desigualdades econômica e ambientais, visando um caminho de desenvolvimento e proteção dos ecossistemas hídricos (IPCC, 2023).

Os avanços temporais das ações antrópicas e a poluição das margens e dos cursos dos rios que já passam por processos impactantes em suas bacias hidrográficas, são alguns dos acontecimentos, com resultados imprevisíveis, que resultam em problemas ambientais, sobretudo, hídricos (BARBOSA et al, 2020). Além disso, o aumento no estágio de degradação e a maior demanda por água vem tornando a qualidade deste item vital precária e reduzindo drasticamente o seu volume, entretanto, o avanço tecnológico traz consigo ferramentas que fortalecem e respaldam o desenvolvimento de estudos sobre o gerenciamento dos recursos hídricos (LOURENÇO et al, 2011).

No contexto paraibano, onde cerca de dois terços do território se encontram na região semiárida (que enfrenta escassez hídrica, ocasionada pelo fenômeno el niño entre 2012 e 2018), as três maiores barragens abastecem, juntas, cerca de 1,5 milhão de habitantes em 120 municípios do estado, cujo problema de abastecimento





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

e racionamento ocorrera no final dos anos 90 e entre os anos de 2014 e 2018, amenizando, por meio de políticas públicas, com a chegada das águas da transposição do Rio São Francisco na Paraíba, no ano de 2017 (MORAIS, 2022).

Um fator que também interfere no acesso e distribuição de água é o crescimento populacional sem planejamento. Na Paraíba, segundo dados censo do IBGE de 2022, houve um aumento demográfico populacional de 3.974.405 habitantes, o que representa um acréscimo de 5,52% em relação a 2010; tal avanço demográfico amplia a demanda hídrica e sobrecarrega os mananciais das grandes bacias hidrográficas dos rios Paraíba, Piancó e Piranhas, em especial as grandes barragens do Complexo Coremas Mãe d'água, Epitácio Pessoa e Engenheiro Ávidos.

Essa situação agrava-se ainda mais em centros urbanos de regiões áridas/semiáridas de países em desenvolvimento, como é o caso de grande parte do Nordeste brasileiro, sobretudo na Paraíba, em que as condições climáticas, aliadas a sistemas de abastecimento obsoletos e à inadequação ou ausência de planejamento urbano sensível aos recursos hídricos, determinam o surgimento de graves danos ao abastecimento, dificultando o suprimento das necessidades da população, tanto no quesito volume quanto no fator qualidade (ALMINO; RUFINO, 2021).

Desse modo, é essencial que haja intervenção no intuito de se promover iniciativas e projetos de segurança hídrica que conscientizem ao reflorestamento às margens dos mananciais e reservatórios, a médio e longo prazo, e não somente realização de obras no setor apenas em emergências, reduzindo, assim os impactos ocasionados pelas mudanças. Nesse aspecto, cabe tanto ao poder público planejar e executar políticas públicas de prevenção e racionalização, como também aos organismos não-governamentais o desenvolvimento de estratégias que visem a



metas de preservação dos recursos hídricos, como é o caso da meta 6 da Organização de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecida pela agenda 2030 da ONU.

4 Resultados e Discussões

No intervalo de 29 anos (1994 a 2023) o gráfico a seguir (figura 12) mostra que as médias anuais das barragens tiveram uma considerável queda nos níveis de armazenamento entre 1997 e 2000 e entre 2013 e 2017, o que se deve às mudanças climáticas decorrentes do el niño e dos baixos níveis pluviométricos, fatores que comprometeram as recargas dos Rios Paraíba, Piancó e Piranhas, dos quais as média percentuais anuais dos volumes de água das barragens Epitácio Pessoa e Mãe D'água ficaram, respectivamente, abaixo dos 20%, em 1999 e de 3,5%, em 2017.

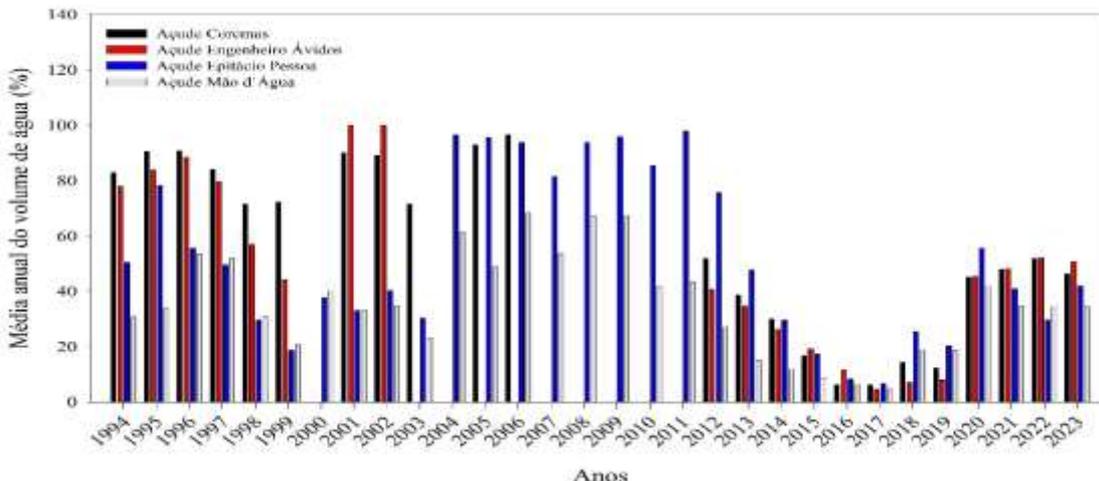


Figura 1: comparação média de volume anual de água por barragem.

Fonte: AESA, 2023.

Entretanto, podemos constatar que, no período entre 2004 e 2011, devido ao fenômeno la niña, tivemos chuvas abundantes e a barragem de Engenheiro Ávidos e



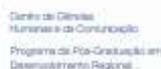
Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

nos anos de 2005 e 2006 atingiu o volume de quase 100%, e a barragem Epitácio Pessoa manteve média anual acima de 95% do nível d'água, o que perdurou até 2012, quando a média anual caiu para 80%, chegando a 3,18% em 2017. Salientamos que os dados de volume de água correspondentes às barragens de Coremas e Engenheiro Ávidos nos anos de 2000, 2003, 2004 e de 2006 a 2011, não puderam ser coletados devido à desativação das estações meteorológicas da SUDENE, cuja manutenção, por parte da AESA, foi realizada, normalizando as atividades a partir de 2012, ano em que se iniciou o último el niño, que perdurou até 2018.

Além dos fatores evidenciados no gráfico, a partir de 2020 houve um aumento considerável nos volumes anuais de água das barragens, o que se deve tanto à chegada das águas do Rio São Francisco nos eixos leste no Açude Epitácio Pessoa (abril de 2017) e no eixo oeste no Açude de Engenheiro Ávidos (janeiro de 2022), quanto aos efeitos do fenômeno la niña e às chuvas acima da média, fazendo as médias anuais superarem os 40% da capacidade de cada barragem.

A figura 2 a seguir demonstra a previsão futura da barragem de Coremas, através do modelo de Sarima da série anual anterior e futura do volume do manancial, baseado em dados de medição da AESA, realizando uma projeção futura, correspondente ao ano de 2025.



Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

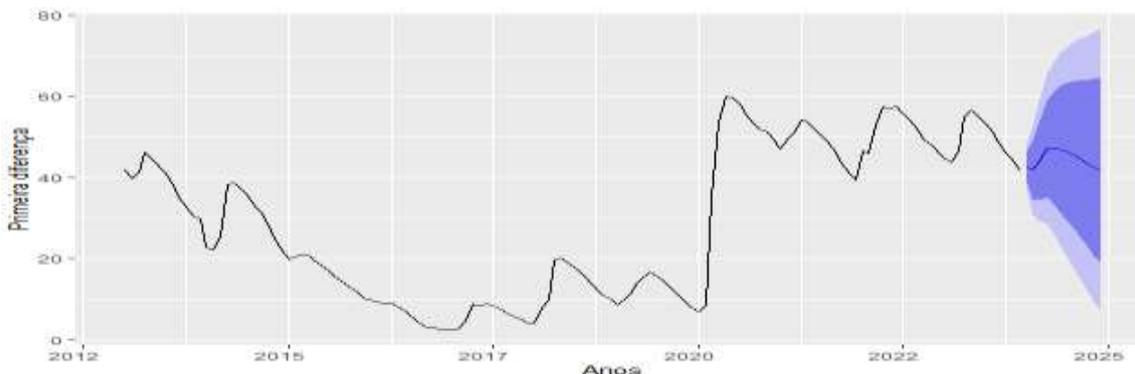


Figura 2: gráfico de variação temporal de previsão para o volume, em %, da barragem de Coremas para o período de 2025 em Coremas (PB).

Fonte: AESA, 2024.

Através do gráfico, podemos aferir que a tendência para o ano de 2025, na barragem de Coremas, é uma ligeira queda de 5% do volume hídrico para o ano subsequente; a primeira diferença explica essa previsão de queda no volume de Coremas, variando entre 45 a 40% do volume do açude.

Por meio do método de Sarima, que definiu o método de previsão através de variáveis climáticas, pode-se analisar vários elos de relação climática e meteorológica entre elas, o el niño e la niña, a exemplo da evotranspiração, precipitação pluviométricas e temperatura de umidade relativa do ar da região, que influencia diretamente na perda significativa de água para o ambiente no tempo estimado em uma medição futura, a qual respalda as correlações existentes, servindo como parâmetros de variância do volume hídrico do manancial de Coremas para o ano de 2025. Além disso, é argumentado também que, por meio do método de Sarima a previsão de volume futura de Coremas é associada às relações de efeitos das mudanças climáticas na faixa de previsão de volume estudada.

A ilustração 3 exibe o comportamento previsto do volume da barragem de Engenheiro Ávidos, através do modelo de Sarima da série anual anterior e futura do volume da barragem, de acordo com dados de medição da AESA, evidenciando o futuro no período correspondente à média anual do ano de 2025.

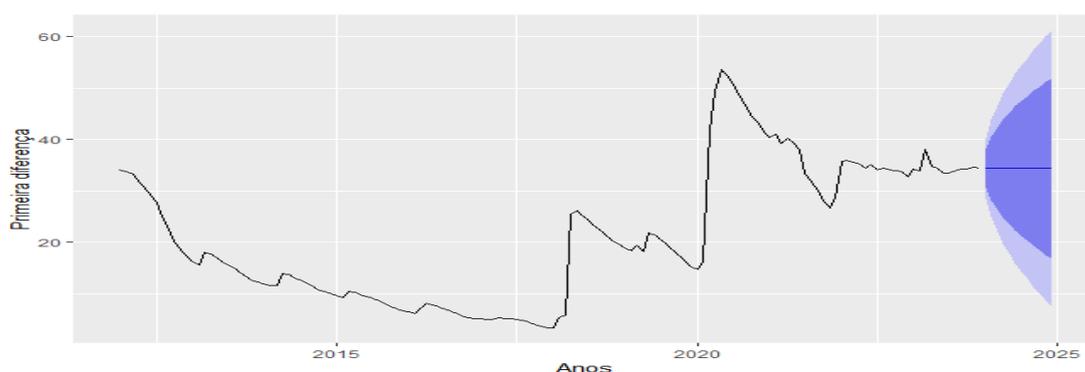


Figura 3: gráfico de variação temporal de previsão para os volumes, em %, da barragem de Engenheiro Ávidos, para o período de 2025.
Fonte: AESA, 2024.

Identificamos que a prospecção de 2025 para a barragem de Engenheiro Ávidos resume-se a uma tendência monoica ao longo do tempo de estacionariedade do volume hídrico para o ano, como demonstrado na primeira diferença no gráfico. Tal previsão de estacionariedade homogênea, média estacionada em 35% no volume da barragem, é explicada pelo método de Sarima, que mede a prevalência dos volumes da série temporal, através do teste de Mann Kendell, para definir o nível de significância do valor admitindo uma Sarima estacionária (p -valor < 0,05).

É preciso considerar outros métodos de previsão que utilizam as variáveis climáticas e meteorológicas para exemplificar os fenômenos climáticos el niño e la niño, associando-os à evotranspiração, à precipitação pluviométrica e à temperatura

Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

da umidade relativa do ar, fatores que influenciam na redução dos níveis de água no intervalo de tempo estimado; isso funciona como base para as correlações existentes, servindo como parâmetros de variância do volume do manancial de Engenheiro Ávidos para 2025 e, além disso traz a associação das relações de efeitos das mudanças climáticas na faixa de tempo estimada nos estudos levantados.

Na figura 4, verificamos a previsão do volume da Barragem Epitácio Pessoa, estimado por meio do modelo de Sarima da série anual anterior e futura, conforme a AESA, destacando a média anual prevista para o ano de 2025.

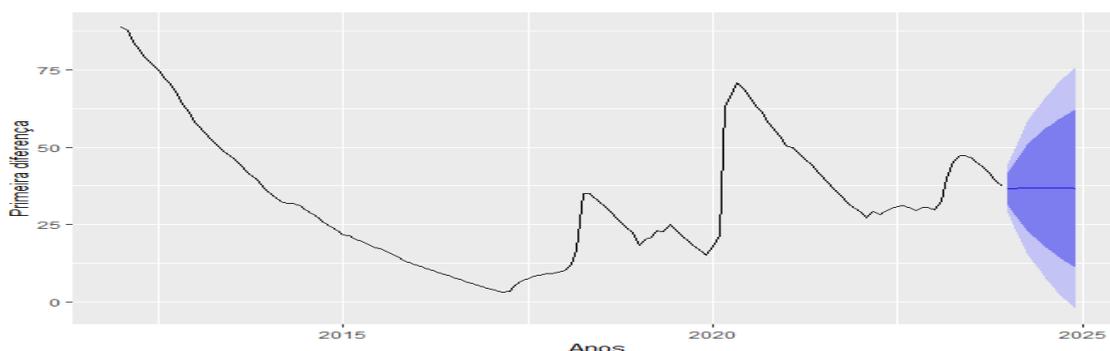


Figura 4: gráfico de variação temporal de previsão para o volume, em %, da barragem de Epitácio Pessoa para o período de 2025.
Fonte: AESA, 2024.

Na estimativa, verificamos que há uma tendência de declínio no volume hídrico em 2025, porém, haverá uma estacionária na média do volume da barragem Epitácio Pessoa, o que prevê uma tendência monoica de estacionariedade do volume hídrico para o ano subsequente, como podemos analisar na primeira diferença, presente no gráfico. O que explica esta estacionariedade homogênea em 40% no volume do manancial, é o método de Sarima, que mede a prevalência dos volumes

Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

da série temporal, através dos testes de Dicke-Fuller, o qual estipula o nível de significância em 5%, admitindo uma Arima estacionária.

Essa tendência de previsão de estacionariedade ocorre de acordo com o teste de Dicker Fuller, que define, por modelo matemático de Sarima, a média de previsão futura dos níveis hídricos para o ano de 2025, alcançadas por intermédio de variáveis climáticas e meteorológicas, definidas pelo teste de estacionariedade de Dicker Fuller (raiz unitária), que, dada como hipótese de nulidade, foi rejeitada, resultando numa prevalência do IRA com valor estacionário.

Com a projeção de volume da barragem de Coremas, a figura 5 traz a série anual da barragem, segundo o modelo de Sarima, segundo informações de medição da AESA, relacionando o intervalo de 10 anos (de 2013 a 2023).

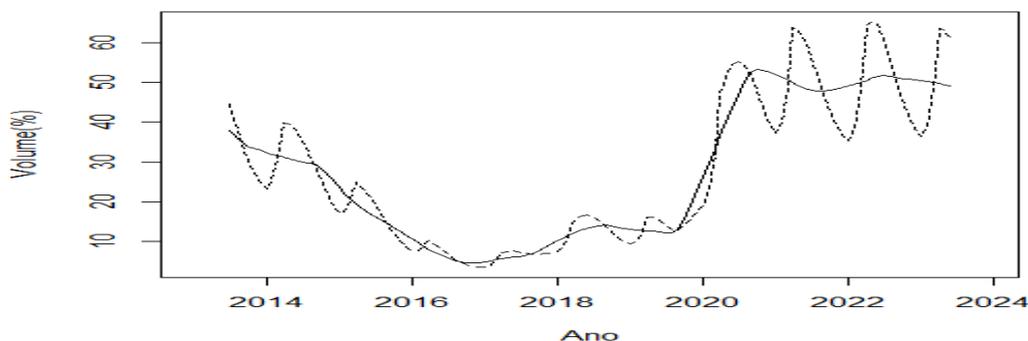


Figura 5: gráfico de tendência do volume (%), por ano, da barragem de Coremas, no período correspondente entre 2013 e 2023.

Fonte: AESA, 2024.

No gráfico 5 podemos observar a tendência de volume hídrico em da barragem de Coremas entre os anos de 2013 e 2023, notando uma previsibilidade de queda significativa entre 2013 a 2017, representando mais de 40% no espaço temporal

Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

de 4 anos; porém, a partir de 2020, verificou-se um tendencial aumento do volume hídrico de Coremas, que passou de 18 % para índices entre 45 e 50%, significando 30% de elevação do volume hídrico, ocasionado por fatores climáticos e meteorológicos pontuados no período estudado. As variabilidades das séries temporais climáticas e meteorológicas do volume hídrico de Coremas, dos últimos 10 anos, foi avaliado pelo teste de não paramétrico de Mann Kell, ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), representando uma perda do volume estimado.

A figura 6 apresenta a tendência do volume da barragem de Engenheiro Ávidos, construída por meio do modelo de Sarima da série anual e seguindo os dados de medição da AESA, em relação ao período compreendido entre 2012 a 2023.

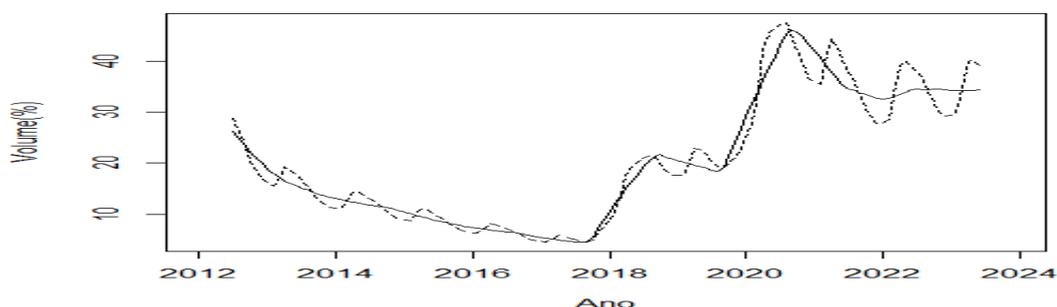


Figura 6: gráfico de tendência do volume, por ano, da barragem de Engenheiro Ávidos, no período correspondente entre 2012 e 2023.

Fonte: AESA, 2024.

Nesse contexto, podemos observar a tendência do volume hídrico da barragem de Engenheiro Ávidos de 2012 a 2023, no qual se observa um declínio de 27,2% entre 2012 e 2017, passando de 30% a 2,8% no intervalo de cinco anos. A partir de 2018 tivemos uma boa recuperação, passando de 5% para 30% em 2023, o que se deve aos fatores climáticos e meteorológicos (el niño e la niña) que incidem nas variações

Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

sazonais, na evotranspiração, nas precipitações pluviométricas e na temperatura da umidade relativa do ar do Sertão paraibano, corroborando para perdas significativas do volume de água na região de Cajazeiras, entre 2012 a 2017, onde está localizada a barragem de Engenheiro Ávidos.

Após 2020, notamos a retomada dos índices pluviométricos, o que se deve tanto à regularidade da chuva quanto à chegada das águas do eixo norte no Rio São Francisco, na região da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, alto sertão paraibano; assim, tivemos uma tendência de estacionariedade no volume do manancial para 2024, mantendo a média de 30% em perdas ou aumentos significativos. Nos últimos onze anos, a média do volume de Engenheiro Ávidos foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann Kell ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), representando uma média de estacionariedade do volume do manancial.

A figura 7 mostra o gráfico de tendência do volume da barragem Epitácio Pessoa, pelo modelo de Sarima da série anual do volume dessa barragem, segundo dados de medição da AESA, direcionados ao período decenal de 2012 a 2023.

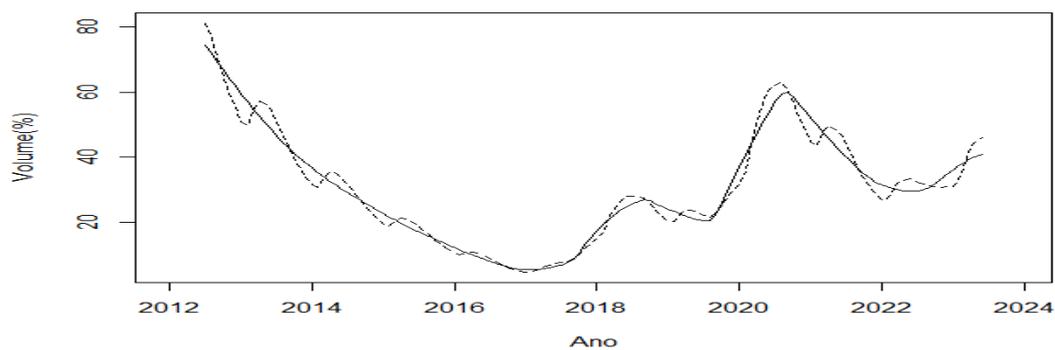


Figura 7: gráfico de tendência do volume (%), por ano, da barragem Epitácio Pessoa, no período correspondente entre 2012 e 2023.

Fonte: AESA, 2024.



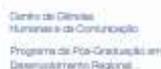
Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

No gráfico é apresentada a tendência da série temporal do volume hídrico da barragem Epitácio Pessoa no intervalo de 2012 a 2023, a partir da qual observamos um declínio assustador, até 2017, de 80% para 2,3%, representando uma perda de 77,7% do volume hídrico num intervalo de cinco anos. Após este episódio, notamos uma recuperação a partir da chegada das águas do eixo leste da Transposição do Rio São Francisco, resultando em um aumento expressivo, a partir de 2018, de 15% para 60%, uma tendência crescente de 45% no intervalo de três anos.

Diante disso, percebemos que o el niño e o la niña são os fatores climáticos e meteorológicos que, durante os onze anos da série temporal relatada, influenciaram diretamente e indiretamente nos ciclos de variações sazonais da região do Agreste da Paraíba, resultando em perdas significativas do volume de água, por evaporação entre 2012 a 2017, na região de Boqueirão, onde se localiza a barragem Epitácio Pessoa. No entanto, devido à regularidade dos índices pluviométricos e à chegada das águas do eixo leste do Rio São Francisco na região da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e Taperoá, obtivemos um aumento do volume no período entre 2017 e 2020.

Portanto, percebemos que há uma estimativa de aumento nos níveis do volume do Açude Público Epitácio Pessoa para 2024, uma probabilidade de média de 40% em elevação, projeção significativa em se tratando dos 5% do ano de 2023. Segundo o Modelo de Sarima, a média do volume hídrico do açude, nos últimos 11 anos, foi avaliada pelo teste de não paramétrico de Mann Kell, chegando ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$), resultando numa média de aumento do volume estimado do manancial.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

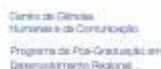
Florianópolis (SC) – 2024

5. Considerações Finais

O desenvolvimento deste trabalho buscou analisar os cenários de mudanças climáticas e suas implicações nos recursos hídricos da Paraíba, especificamente nas maiores barragens do estado: Engenheiro Ávidos, Epitácio Pessoa e Complexo Coremas Mãe D'água, com o propósito de montar um cenário da problemática, a partir de aspectos essenciais para a gestão hídrica, como também para estratégias que promovam um desenvolvimento sustentável.

Para isso utilizamos a pesquisa exploratória e descritiva, no intuito de sanar os questionamentos levantados nos objetivos geral e específicos, abordando de modo analítico e quanti-qualitativo os dados, cujas análises realizaram-se através de séries temporais de volume e pluviometria e com o auxílio dos modelos matemáticos e estatísticos de Sarima e Arima, gerados pelo programa R, resultando em gráficos de sazonalidade, tendência, previsão, resíduos, estacionariedade e não estacionariedade nas barragens anteriormente mencionadas.

Em se tratando do aspecto hidroclimático da Paraíba, o estudo revelou a previsibilidade do volume hídrico para o ano de 2025, mediante análises descritivas de testes de Mann Kendell (tendencialidade) e Dicker – Fuller (estacionariedade), modelos eficientes e ideais para acompanhar as séries temporais sobre os sistemas hídricos. Através disso, buscamos estimular a gestão pública e a promoção de medidas exequíveis sobre a questão, visando minimizar suas implicações sobre os recursos hídricos nos grandes mananciais do estado, viabilizando condições para a distribuição de água tomando por base medidas de planejamento governamental.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

Diante disso, sinalizamos que as mudanças climáticas interferem, diretamente, no cenário de alterações no regime de chuvas e nos volumes hídricos nos mananciais e, ainda, que os índices de séries temporais medidos comprovam esses efeitos socioambientais nos volumes de água das principais barragens do estado da Paraíba.

Referências

ALMINO, L. M. O.; RUFINO, I. A. A. **Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande (PB)**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, p. 915-925, 2021.

BARBOSA, E. M. **Produção de pesquisa acadêmica internacional sobre gestão de recursos hídricos**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11 n. 4, 2020.

CUNHA, D.G.F. & CALIJURI, M.C. **Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos - estudo de caso do Rio Pariquera-Açu (SP)**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 337-346, 2010.

CUNHA, T. B. et al. **Mapeamento e tipologia dos conflitos pela gestão e controle das águas no Estado da Paraíba**. Bol. geogr., Maringá, v. 30, n. 2, p. 31-43, 46 2011.

Disponível em:

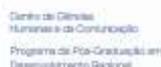
<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/download/14962/9428> . Acesso em: 12 de mar. de 2023.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**.

Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J.

Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. Disponível em:

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.





Os desafios do desenvolvimento socioambiental e as horizontalidades: Pontes entre região, o Estado e o cotidiano

Florianópolis (SC) – 2024

JACOBI, PEDRO R; NASCIMENTO, SAMIA S. **Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas**. REVISTA USP, v. 109, p. 133-142, 2016.

JIMÉNEZ CISNEROS, B. E., et al. 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: Cambridge University Press, 2014. p. 229-269. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267865567_Part_A_Global_and_Sectoral_Aspects_Contribution_of_Working_Group_II_to_the_Fifth_Assessment_Report_of_the_Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change. Acesso em 12 de mar de 2023.

LOURENÇO, A.M.G.; NUNES, T. H. C.; CARENEIRO, T.C.; FARIAS, C.A.S.; **Previsão Diária de Vazões Na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó Através de Redes Neurais Artificiais**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

MORAIS, Ana Clara da Silva; BARBOSA, Nyedja Fialho Morais. **Análise de dados volumétricos dos açudes Coremas e Mãe d'Água da Paraíba**. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e49111032397, 2022.

MORAIS, Ana Clara da Silva; BARBOSA, Nyedja Fialho Morais. **Modelagem de dados volumétricos do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)**. RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, v. 11, p. e409111133772, 2022.

PEREIRA, G. R., Silva Júnior, M. M., & Barbosa, A. H. S. **Mapeamento dos espelhos d'água de reservatórios da Paraíba: Estudo de caso da Transposição do Rio São Francisco**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019.

ZHANG, W. & ARHONDITSIS, G.B. **Predicting the frequency of water quality standard violations using bayesian calibration of eutrophication models**. Journal of Great Lakes Research, v. 34, p. 698-720. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0380133008716125>. Acesso em: 10 ago. 2023.

