

SEGURANÇA HÍDRICA DE MUNICÍPIOS PARAIBANOS: UMA MODELAGEM INTEGRADA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA E DAS DINÂMICAS NATURAIS E ANTRÓPICAS

RELATÓRIO CIENTÍFICO – ANO 1

FAPESP: 2022/08622-0

Pesquisador Responsável: Lincoln Muniz Alves

Instituição sede do projeto: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Período de vigência do projeto: 11/2022 a 11/2024

Período coberto pelo Relatório Científico: 11/2022 a 11/2023

30 de novembro de 2023
São José dos Campos, São Paulo

SUMÁRIO

Resumo

Equipe de pesquisa

Cronograma

Realizações no período

Descrição e avaliação do apoio institucional recebido no período

Plano de atividades para o próximo período

Lista de Publicações

Anexo 1 – Equipe

Anexo 2 – Cópias das primeiras páginas das publicações em revistas científicas indexadas

RESUMO

Na região Nordeste, a população nos centros urbanos cresceu nas últimas décadas de forma desordenada, o que levou a uma maior pressão sobre os recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, os quais, são utilizados de forma crescente e muitas vezes sem uma gestão e controle adequados, tanto para atividades agropecuárias como para consumo humano. Essa região tem-se mostrado vulnerável às variabilidades e mudanças do clima, devido tanto às variações naturais, associadas às condições oceânicas quanto às antropogênicas, decorrentes do aumento dos gases do efeito estufa (GEE's), das mudanças no uso e cobertura do solo (atividades agrícolas e expansão das ocupações urbanas). Além disso, as projeções climáticas indicam uma probabilidade de diminuição severa na chuva e aumento da temperatura. Neste cenário de uma região potencialmente mais seca, o papel da gestão dos recursos hídricos é crucial, haja visto o último grande evento de seca extrema e prolongada (2012-2017) registrado. Embora, o avanço científico das últimas décadas tenha possibilitado maior entendimento do sistema climático e contribuído para maior conhecimento da variabilidade climática no semiárido nordestino, dúvidas em relação a sinergia dos impactos regionais decorrentes das alterações no uso da terra e os efeitos das mudanças climáticas globais no clima presente quanto futuro, ainda permeiam e uma questão importante levantada na comunidade científica para um dos sistemas de abastecimento de água mais relevantes da região é: “De que maneira a variabilidade do clima, o aumento dos GEE's e as mudanças no uso e cobertura do solo podem afetar a disponibilidade hídrica do Sistema hídrico Poções- Epitácio Pessoa?”. Neste contexto, o objetivo geral do projeto é modelar integradamente a variabilidade climática e a dinâmica dos processos naturais e antrópicos que ocorrem na região do Rio Paraíba e do Rio Taperoá, considerando também o aporte de água advindo do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), visando identificar a influência destas variáveis sobre os fluxos de água e sedimentos que fluem para o Sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa (ou açude de Boqueirão) e, por consequência, sobre a segurança hídrica das cidades que dependem (direta ou indiretamente) da água deste manancial.

EQUIPE

A lista completa de todos os pesquisadores envolvidos no projeto na instituição sede e na instituição parceira encontra-se no anexo 1. Importante destacar que a lista mudou à medida que novos colaboradores e parceiros se juntam ao projeto ao longo da sua execução. Abaixo listado apenas os pesquisadores principais:

Lincoln Muniz Alves (INPE) – Pesquisador Principal

Iana Alexandra Alves Rufino (UFCG)– Pesquisadora Principal

CRONOGRAMA

O cronograma original apresentado a seguir sofreu ajustes em função da aprovação do termo de outorga da instituição parceira (UFCG) ter ocorrido após 3 meses, isto é, fevereiro de 2023. Ao longo do relatório são apresentadas atualizações.

Etapas e ATIVIDADES	MÊS																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Reunião inicial na PB																								
Reunião Técnica (intermediária)																								
Reunião Final Workshop Final de apresentação dos Resultados para Tomadores de Decisão e Sociedade Civil (Campina Grande, PB)																								
Visitas Técnicas aos parceiros (SP-PB)																								
3.1																								
3.2																								
3.4																								
3.4.1																								
3.4.2																								
3.5																								
3.5.1																								
3.5.2																								
3.5.3																								
3.6																								
Elaboração e submissão de artigos em periódicos científicos																								

REALIZAÇÕES NO PERÍODO

Reunião inicial na Paraíba – No dia 22 de dezembro de 2022 realizou-se de forma híbrida a reunião inicial do projeto no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com o objetivo de planejar as

etapas e atividades previstas para o primeiro ano de execução do projeto. Apesar da ausência do Termo de Outorga e Aceitação de Auxílios por parte da FAPESP, o encontro foi conduzido de maneira proativa, destacando o comprometimento dos envolvidos. Somente em fevereiro de 2023, três meses após a concessão por parte da FAPESP, os referidos termos foram oficialmente assinados, consolidando o apoio da FAPESP ao projeto. O fato ressalta a resiliência da equipe diante de desafios burocráticos e o empenho em dar continuidade ao planejamento estabelecido. Registros fotográficos da reunião atestam o engajamento dos participantes, evidenciando um momento colaborativo e produtivo no CCT/UFCG.



Reunião Técnica (intermediária) – Ao longo do ano, reuniões híbridas entre os membros da equipe foram realizadas para assegurar o alinhamento e acompanhamento das atividades programadas. A modalidade híbrida permitiu manter o projeto em curso, demonstrando a capacidade de adaptação diante de circunstâncias adversas.

Datas das reuniões:

<i>Data</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Registro</i>
16/03/2023	Reunião de alinhamento para a estruturação da base de dados cartográfica	
20/03/2023	Instruções para importação dos dados de uso e cobertura do solo do Mapbiomas	

03/05/2023	Discussões sobre o georreferenciamento das outorgas do Sistema Poções-Epitácio Pessoa	
15/06/2023	Esclarecimentos gerais sobre a inclusão de membros, informes sobre recursos disponíveis, apresentação do repositório, cronograma, produção científica e esclarecimentos	
05/07/2023	Reunião para o início da investigação das variáveis explicativas para modelagem futura de LULC	
14/11/2023	Reunião para alinhamento e definição final das variáveis explicativas para modelagem futura de LULC	

Visitas Técnicas aos parceiros – Diante da redução dos recursos provenientes da FAPESP e do atraso de três meses na assinatura do termo de outorga pela FAPESQ, uma decisão estratégica foi tomada em relação às Visitas Técnicas entre os parceiros no contexto do projeto. Optou-se por priorizar essas visitas para o segundo ano, conjuntamente com Visitas de Campo, garantindo a otimização dos recursos disponíveis. Essa readequação não afetou as atividades planejadas inicialmente uma vez que a equipe da UFCG realizou visitas de campo, além de uma visita à Universidade de Maryland conforme descrito a seguir.

A pesquisadora Dra. Iana Rufino (UFCG) ministrou palestra na School of Architecture, Planning and Preservation at the University of Maryland no dia 09 de abril de 2023 em formato híbrido permitindo assim a participação dos pesquisadores da equipe brasileira (INPE e UFCG). Localmente teve-se a participação de 35 pessoas, incluindo alunos de graduação, pós-graduação e professores do departamento de arquitetura da UMD. No mesmo dia a pesquisadora e o bolsista e aluno de doutorado Higor Costa ministraram um workshop intitulado “*How can we manage sprawl? Modelling tools for predicting urban changes*” para os alunos de graduação e

pós-graduação do SIRJ Lab cujo objetivo foi discutir fatores e variáveis para a modelagem de LULC com estudos de caso nos Estados Unidos e Brasil. O evento foi organizada por Dra. Priscila Alves e Dr. Marccus Hendricks, colaboradores e participantes do projeto.

Viagens Intermunicipais

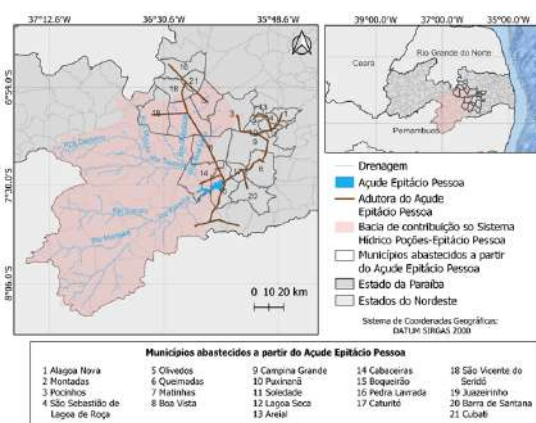
A equipe da UFCG realizou uma visita ao Município de Boqueirão nos dias 13 e 14 de outubro de 2023, entrevistando 6 agricultores na área rural e 23 moradores na área urbana. O objetivo principal foi avaliar a percepção dos impactos mais significativos resultantes da chegada das águas do PISF, bem como a percepção dos entrevistados em relação ao futuro. O questionário foi dividido em três áreas principais sendo estas: Fatores sociais: Idade, renda, educação e local de moradia; Percepção de impactos relacionados ao consumo de água para os diferentes tipos de usuários, qualidade dos serviços de abastecimento de água e fatores econômicos relacionados a alteração na produção agrícola e criação de rebanhos; Expectativa para o cenário futuro: Preocupação com a escassez e sensação de segurança hídrica, consumo racional de água e medidas a serem utilizadas para mitigação de impactos em cenários de escassez hídrica.



OE1 - Estruturar a Base de Dados e Informações

Meta 1.1. Estruturar a Base de Dados Cartográfica e Informações da Bacia em ambiente SIG e Banco de Dados

A estruturação da base de dados se iniciou com a coleta dos dados de uso e ocupação do solo abrangendo o período de 1985 a 2021 a partir da plataforma Mapbiomas versão 7.1. A caracterização biofísica e geral da bacia de contribuição encontra-se em fase de conclusão. Segue abaixo algumas imagens e dados desta caracterização que ilustra a área de estudo que é formada pela bacia de contribuição do Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa, que abrange o Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRP) e a sub-bacia do Rio Taperoá, e pelos municípios abastecidos pelo Açude Epitácio Pessoa, atualmente, 21 cidades.



A Paraíba está dividida em quatro mesorregiões no que se refere aos aspectos econômico, social e político, a saber: Agreste Paraibano, Borborema, Mata Paraibana e Sertão Paraibano. Sendo estas, desagregadas em 23 microrregiões geográficas (AESAs, 2016). Das mesorregiões, a região objeto de estudo compreende basicamente quase toda Borborema, parte do Agreste e apenas três municípios no Sertão Paraibano. Quanto às microrregiões, a área estudada abrange nove destas, sendo elas: Serra de Teixeira, Cariri Ocidental, Cariri Oriental, Seridó Ocidental Paraibano, Seridó Oriental Paraibano, Curimataú Ocidental, Campina Grande, Esperança e Brejo Paraibano.

Essa região é caracterizada pela menor precipitação, quando comparada com as outras do estado e varia anualmente entre 350 a 750 mm, com chuvas irregulares e intempestivas (CHAVES *et al.*, 2021; MEDEIROS *et al.*, 2020).

Toda a região é composta pelo bioma Caatinga que compreende uma gama de ambientes, fisionomias e flora. Esse bioma é exclusivo do Brasil. O bioma Caatinga possui uma biodiversidade significativa e de grande importância ambiental e social (SANTOS, 2023), devido ao desenvolvimento de sólidas tradições culturais pela população local (JÚNIOR *et al.*, 2022).

A área de contribuição do Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, composta pelo Alto Curso do Rio Paraíba e a sub-bacia do Rio Taperoá (MENESES *et al.*, 2022).



O principal rio da BHRP é o Paraíba, que tem nascente na Serra do Jabitacá, no município de Monteiro e foz no Oceano Atlântico. Este rio desempenha um papel fundamental no Projeto de Integração do Rio São Francisco, juntamente com os demais afluentes da bacia do Alto Paraíba e da sub-bacia do Rio Taperoá, contribuindo diretamente para o Açude Epitácio Pessoa (LUCENA, 2018). A área total drenada equivale a aproximadamente 12.389,14 km² (ALVES *et al.*, 2018; FARIAS & SOUSA, 2020).

O Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba está inserido na mesorregião da Borborema (CORREIA *et al.*, 2019), com uma área de aproximadamente 6.727,69 km² e engloba 18 municípios distribuídos entre as microrregiões do Cariri Ocidental e Oriental do estado (ALVES *et al.*, 2018), onde a agricultura e a pecuária são atividades predominantes (MARCUSOZZO *et al.*, 2012).

O mesmo é formado por uma rede de drenagem de rios intermitentes (os principais) e efêmeros (afluentes). O seu rio principal é o Rio Paraíba que possui regime fluvial com fluxo de curta duração no ano, entre 2 e 4 meses, com picos de cheias que ocorrem a cada 2/3 anos, sendo o trimestre de maior vazão fevereiro, março e abril. Destaca-se que, após as águas do PISF, o Rio Paraíba passou a ser um rio perenizado (XAVIER, 2021).

A principal contribuinte para o sistema Poções-Epitácio Pessoa é a sub-bacia do Rio Taperoá, cujo principal curso d'água é o próprio Rio Taperoá. Este rio apresenta regime intermitente e tem sua nascente na Serra de Teixeira, uma área que recentemente foi declarada Parque Nacional pelo Ministério do Meio Ambiente. Seu

ponto de deságue ocorre no Rio Paraíba, especificamente no açude de Boqueirão (FARIAS & SOUSA, 2020).

A sub-bacia do rio Taperoá drena uma área próxima de 5.661,45 km² abrangendo 26 municípios, sendo 6 deles inseridos completamente na área da sub-bacia. Os municípios de Juazeirinho, Pocinhos e Taperoá são os mais relevantes em função da presença da área urbana inserida na sub-bacia e grande contingente populacional (LIMA *et al.*, 2017). A caracterização do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) e dos municípios abastecidos por este, estão em fase de desenvolvimento.

Meta 1.2. Estruturar a Base de Dados Hidrometeorológicos

Os dados hidrometeorológicos observados coletados para o projeto referem-se precipitação diária provenientes da rede de pluviômetros automáticos (39 estações) monitorados pela Agência Executiva de Gestão da Águas (AESAs) do Estado da Paraíba, e serão utilizados na modelagem hidrossedimentológica. Os dados referentes a temperatura máxima e mínima, humidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e evapotranspiração potencial são provenientes da estação climatológica de Monteiro, monitorada pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMET) e disponibilizado no portal desta instituição. Estes dados são utilizados para gerar estatísticas a serem empregadas no gerador de clima do modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Os dados são referentes ao período 1994 a 2020.

Os dados de vazão média diária, utilizados na calibração dos parâmetros do modelo, são provenientes de duas estações fluviométricas instaladas no curso do rio Paraíba (Estação Caraúbas) e no curso do rio Taperoá (Estação Poço de Pedras) e cobre o mesmo período dos dados hidrometeorológicos. Estas estações pertencem a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) e são monitoradas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

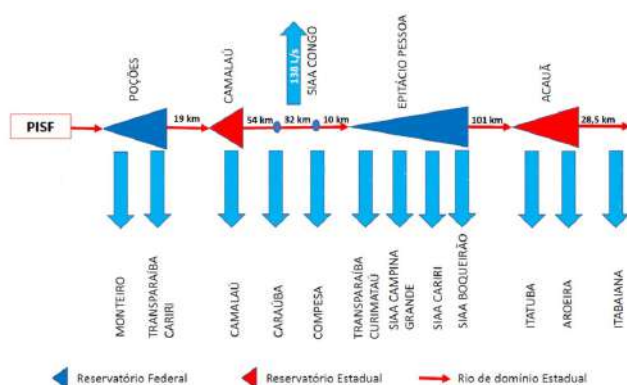
Com base nos dados hidrometeorológicos, como também no mapa de uso e ocupação do solo, no mapa de solo e no modelo digital de elevação da bacia de contribuição do Sistema Poções-Epitácio Pessoa foi criado um projeto no modelo QSWAT que utiliza o modelo SWAT acoplado ao software QGIS. A partir de então os parâmetros característicos da bacia foram gerados. Utilizando os dados de vazão mensal das seções fluviométrica Caraúbas e Poço de Pedra, foi empregado um calibrador automático do modelo SWAT, o SWAT-CUP, que através da análise de sensibilidade

identificou os parâmetros mais influentes do modelo para esta bacia, considerando o período de calibração de 1994 a 2013. O próximo passo será a validação do modelo, utilizando os dados de precipitação e vazão média mensal do período 2014-2020.

Meta 1.3. Caracterização das demandas e pressões nos recursos hídricos;

Para a caracterização das demandas hídricas do Sistema Poções-Epitácio Pessoa foram analisados as outorgas de direito de uso dos recursos hídricos contidas nos bancos de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023) e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2023) bem como as informações contidas no Plano Estadual de Recursos da Paraíba (PARAÍBA, 2022); Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); Resolução Conjunta ANA/AESA Nº 126/2022 (ANA, 2022a); Relatório de Análise de Impacto Regulatório Nº 1/2022/COMAR/SRE (ANA, 2022b).

A Figura abaixo apresenta as principais demandas hídricas referentes ao abastecimento urbano do sistema hídrico.



Fonte: Adaptado de ANA (2022a)

Considerou-se o reservatório Acauã no sistema hídrico pois o mesmo deve receber descargas periódicas do reservatório Epitácio Pessoa para suprir suas demandas (ANA, 2022b). As adutoras Transparaíba Cariri e Transparaíba Curimataú estão em fase de construção.

A Tabela abaixo apresenta um resumo dos demais usos do sistema hídrico considerando as outorgas emitidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023) e pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA, 2023).

Tabela - Demandas para abastecimento público no sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa

Fonte hídrica	Tipo de uso	Vazão (m³/h)
Res. Poções	Irrigação	20,0
Res. Camalaú	Irrigação	2,0
Res. Epitácio Pessoa	Irrigação	1583,3
Rio Paraíba - Entre o res. Poções e res. Epitácio Pessoa	Irrigação	425,86
Rio Paraíba - Entre o res. Epitácio Pessoa e res. Acauã	Irrigação	22
Res. Acauã	Irrigação	11,81
Res. Acauã	Aquicultura	75
Rio Paraíba - A jusante do res. Acauã	Irrigação	908,31
Rio Paraíba - A jusante do res. Acauã	Aquicultura	9669,16

Fonte: ANA (2023); AESA (2023)

OE2 – Caracterização biofísica

Meta 2.1. Seleção e testes de metodologias de cenarização a partir dos dados obtidos

A revisão dos modelos existentes para a análise do LULC revelou uma variedade de técnicas, incluindo autômatos celulares, que se destacam na simulação de processos não lineares e espacialmente estocásticos de alteração do uso do solo. Dentre os modelos avaliados, o CA-ANN (Rede Neural Artificial baseada em Autômatos Celulares) emergiu como a escolha preferencial pela excelência na modelação de padrões e comportamentos, sendo especialmente eficaz na captura da dinâmica multifacetada do crescimento ao representar relações não lineares entre variáveis (GANTUMUR *et al.*, 2022). Sua capacidade de adaptação a conjuntos de dados e cenários sem a necessidade de conhecimento prévio da distribuição dos dados ou pressupostos sobre o processo de geração de dados tornou-a uma ferramenta versátil.

No que diz respeito aos avanços na escolha das variáveis explicativas de mudanças de LULC, a abordagem com a CA-ANN permite uma análise que inclui diversas variáveis, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica da região (ABBA *et al.*, 2021). A flexibilidade da CA-ANN em lidar com conjuntos de

dados complexos e cenários diversos facilitou a identificação e inclusão de variáveis relevantes, resultando em avanços substanciais na precisão e na abrangência das previsões de alterações nas LULC. Assim, a escolha da CA-ANN não apenas se baseia em sua eficácia como modelo, mas também reflete os progressos notáveis alcançados na seleção e incorporação de variáveis explicativas para a compreensão do LULC (GHARAIBEH *et al.*, 2020).

Após uma revisão da literatura, inicialmente foram identificadas sete variáveis explicativas para a modelagem de LULC. As variáveis selecionadas incluem: acessibilidade (distância a rodovias), declividade do terreno, distância a manchas urbanas, distância a corpos hídricos (incluindo o canal da transposição do Rio São Francisco), distância a polos regionais, áreas que sofreram mudanças após a transposição do Rio São Francisco (entre 2017 e 2021) e o Índice de Segurança Hídrica do Brasil (ISH).

Meta 2.2. Projeções Regionais

A utilização de modelos climáticos sem critérios técnicos robustos de avaliação da sua destreza em simular o clima de uma região, é um das fontes de incertezas afetando as análises das tendências observadas e consequentemente a representação das projeções futuras. Com base nessa premissa, o projeto avaliou a destreza de 17 modelos que compõem a fase 6 do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP6) em simular as características climáticas das diferentes regiões do Brasil, incluindo o nordeste. A principal razão para esse número foi a disponibilidade de dados na frequência diária no período histórico e no futuro em pelo menos um cenário que será utilizado no projeto. As variáveis utilizadas nesta avaliação foram a precipitação, temperatura máxima e mínima do ar próximo à superfície para o período de 1986 a 2005. As métricas utilizadas nesta avaliação levou em consideração o padrão espacial médio (cálculo dos vieses e Taylor Skill Score), ciclo anual (Pearson Correlation Coefficient) e variabilidade interanual (Interannual Variability Skill Score) e o Comprehensive Rating Index (CRI) para avaliar a similaridade entre os modelos. A base de dados observacionais para essa validação foi do Xavier *et al.* (2022). Os resultados revelaram que para as diferentes variáveis tem-se diferentes conjuntos de modelos. Entretanto, para os próximos passos do projeto optou-se por utilizar o ranqueamento da precipitação tendo em vista que é um parâmetro de tem uma grande variabilidade espaço-temporal. Os passos seguintes é fazer uma análise detalhada das

projeções futuras para a área de estudo e utilizar esses dados como entrada para o modelo hidrológico.

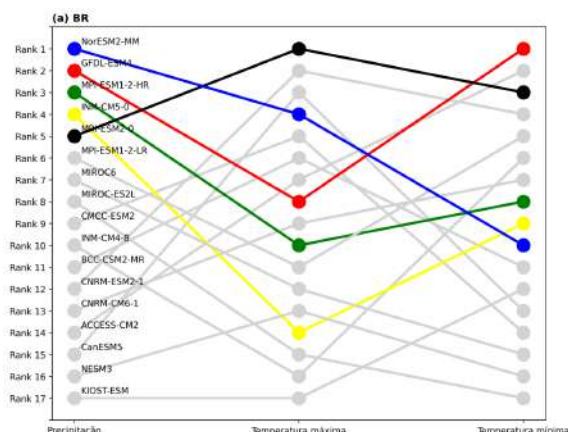


Figura - Ranqueamento dos modelos CMIP6 para a variável precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima (°C) para o território brasileiro.

OE3 – Análise da segurança hídrica presente e futura

Uma caracterização geral dos municípios atendidos pelo Sistema Hídrico Poções Epitácio Pessoa foi iniciada.

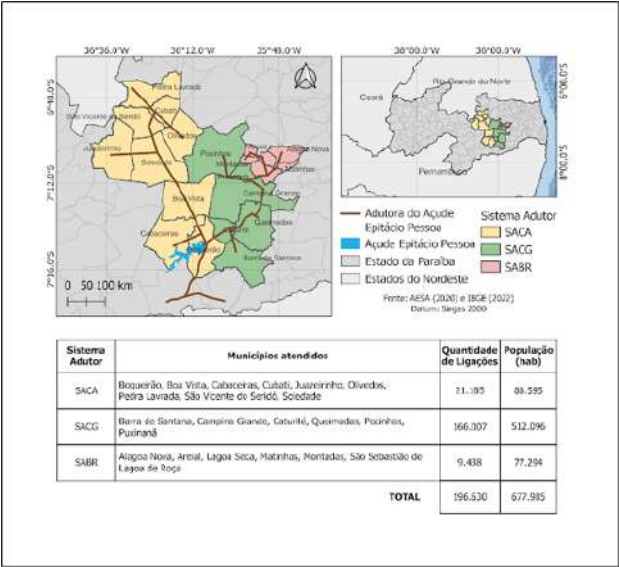
Meta 3.1. Identificar os principais impactos causados pela água do PISF relacionados à segurança hídrica dos municípios que dependem da água do Sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa

Meta 3.2. Analisar a capacidade adaptativa da população frente a eventos extremos, particularmente à seca, diante da nova realidade do PISF e dos cenários gerados.

Meta 3.3. Propor medidas para a prevenção e minimização de possíveis impactos ambientais e aumento da segurança hídrica

Uma revisão de literatura dos modelos de estudos de impactos foi realizada e um artigo científico está em fase de desenvolvimento. Impactos do PISF previstos no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) elaborado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (2004) que envolvem os municípios atendidos pelo Sistema Hídrico estão sendo avaliados e mensurados e uma investigação das relações espaciais entre os impactos está sendo realizada. Algumas reuniões com os pesquisadores da UMD foram realizadas para a definição das abordagens participativas. Após a identificação dos usuários representativos e elaboração dos questionários direcionados para diferentes consumidores de água, uma coleta de dados inicial foi realizada no município de Boqueirão, com o objetivo de testar os

questionários elaborados. Para tanto o projeto foi submetido ao comitê de ética da UFCG e está em análise.



OE4 – Disseminação do conhecimento

Meta 4.1. Divulgar os resultados nos meios científicos através das publicações em revistas nacionais e internacionais e comunicações técnicas em eventos internacionais

Meta 4.2. Elaborar portal de divulgação de resultados com mecanismos de download facilitados e hospedagem em sítios institucionais (com espelhamento entre as instituições envolvidas) de forma a permitir consulta e utilização dos resultados mesmo após o fim do projeto.

Um repositório provisório está sendo utilizado em uma plataforma digital com fácil alimentação por todos os pesquisadores do projeto. No início de 2024 (segundo ano do projeto) será desenvolvido o website e alimentado com as informação já armazenadas neste repositório.

Por fim, destacamos que durante todo o primeiro ano do projeto, contamos com um apoio institucional valioso da instituição sede, que nos concedeu acesso integral à infraestrutura física e tecnológica além de suporte técnico. Esse apoio foi fundamental, permitindo a realização eficaz das atividades planejadas. É relevante ressaltar a sinergia direta entre as ações desenvolvidas no projeto e as pesquisas em andamento na DIIAV da CGCT do INPE, onde parte da equipe está inserida. Essa interligação fortaleceu o alinhamento dos objetivos e contribuiu significativamente

para a condução bem-sucedida do trabalho, maximizando os recursos e a expertise disponíveis.

Para o próximo período o plano de atividades inicialmente proposto no projeto, conforme o cronograma estabelecido, permanece inalterado. No segundo ano do projeto, iremos intensificar as visitas de campo, aumentar as interações com a instituição parceira, UFCG, incluindo visitas a instituição, e concentrar esforços na fase final de modelagem e publicações de artigos científicos. Prevemos encerrar o projeto com um workshop final no final de 2024, consolidando os resultados, compartilhando descobertas e promovendo discussões que enriquecerão o desfecho do trabalho.

PARTICIPAÇÃO EM EVENTO CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Conferência CORDEX 2023, realizada em Trieste, Itália, de 25 a 29 de setembro de 2023. Lincoln Muniz Alves

WCRP *Open Science Conference 2023*, Kigali, Ruanda no período de 23 a 27 de outubro de 2023 . Lincoln Muniz Alves

40th IAHR World Congress in Vienna, Austria, 2023. Simulating future changes: anthropogenic pressures in a Brazilian semi-arid watershed. Iana Alexandra Alves Rufino, Higor Costa de Brito, Slobodan Djordjević

PARTICIPAÇÃO EM EVENTO CIENTÍFICO NACIONAL

XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (XXV SBRH), no período de 19 a 24 de novembro de 2023. Iana Alexandra Alves Rufino

a) Artigos em revistas científicas indexadas;

VIEIRA, RITA MARCIA DA SILVA PINTO; Tomasella, Javier; CUNHA, ANA PAULA MARTINS DO AMARAL; BARBOSA, ALEXANDRE AUGUSTO; POMPEU, JOÃO; FERREIRA, YARA; SANTOS, FABRÍCIA CRISTINA; ALVES, LINCOLN MUNIZ; OMETTO, JEAN. Socio-Environmental Vulnerability to Drought Conditions and Land Degradation: An Assessment in Two Northeastern Brazilian River Basins. *Sustainability*, v. 15, p. 8029, 2023

HALLADAY, KATE; KAHANA, RON; JOHNSON, BEN; STILL, CHRISTOPHER; FOSSER, GIORGIA; ALVES, LINCOLN. Convection-permitting climate simulations for South America with the Met Office Unified Model. *Climate Dynamics*, v. 61, p. 1, 2023

CALIM COSTA, MABEL; Marengo, Jose A.; Alves, Lincoln M.; CUNHA, ANA PAULA. Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019-2021. *THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY*, v. 154, p. 1, 2023

RUV LEMES, MURILO; SAMPAIO, GILVAN; GARCIA-CARRERAS, LUIS; FISCH, GILBERTO; ALVES, LINCOLN MUNIZ; BASSETT, RICHARD; Betts, Richard; MAKSIC, JELENA; SHIMIZU, MARÍLIA HARUMI; TORRES, ROGER RODRIGUES; GUATURA, MARCELO; BASSO, LUANA SANTAMARIA; BISPO, POLYANNA DA C.. Impacts on South America moisture transport under Amazon deforestation and 2 °C global warming. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 905, p. 167407, 2023

MARENGO, J.A.; ALCANTARA, E. ; CUNHA, A.P. ; SELUCHI, M. ; NOBRE, C.A. ; DOLIF, G. ; GONCALVES, D. ; ASSIS DIAS, M. ; CUARTAS, L.A. ; BENDER, F. ; RAMOS, A.M. ; MANTOVANI, J.R. ; ALVALÁ, R.C. ; MORAES, O.L. . Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25-28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *WEATHER AND CLIMATE EXTREMES*, v. 25, p. 100545, 2023

ARCOVERDE, GUSTAVO FELIPE BALUÉ; MENEZES, JULIA ALVES ; PAZ, MARIANA GUTIERRES ARTEIRO ; BARROS, JOCILENE DANTAS ; Guidolini, Janaína Ferreira ; Branco, Evandro Albiach ; DE ANDRADE, PEDRO RIBEIRO ; PULICE, SERGIO MANTOVANI PAIVA ; Ometto, Jean Pierre Henry Balbaud . Sustainability assessment of Cerrado and Caatinga biomes in Brazil: A proposal for collaborative index construction in the context of the 2030 Agenda and the Water-Energy-Food Nexus. *Frontiers in Physics*, v. 10, p. 1-25, 2023

ALVES, PRISCILA B. R.; LOC, HO HUU; DE-SILVA, YENUSHI; PENNY, JESSICA; BABEL, MUKAND; DJORDJEVIĆ, SLOBODAN. The dual-risks context: A systematic literature review for the integrated management of flood and drought risks, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, volume 96, 2023, 103905, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103905>.

HAGENLOCHER, M. ; NAUMANN, G. ; MEZA, I. ; BLAUHUT, V. ; COTTI, D. ; DÖLL, P. ; EHLERT, K. ; GAUPP, F. ; VAN LOON, A. F. ; MARENGO, J. A. ; ROSSI, L. ; SABINO SIEMONS, A. S. ; SIEBERT, S. ; TSEHAYU, A. T. ; TORETI, A. ; TSEGAI, D. ; Vera, C. ; VOGT, J. ; WENS, M. . Tackling Growing Drought Risks-The Need for a Systemic Perspective. *Earths Future*, v. 11, p. 1, 2023

PENNY, JESSICA; KHADKA, DIBESH; BABEL, MUKAND; ALVES, PRISCILA; DJORDJEVIĆ, SLOBODAN; CHEN, ALBERT S.; DJORDJEVIĆ, SLOBODAN and LOC, HO HUU. Integrated assessment of flood and drought hazards for current and future climate in a tributary of the Mekong river basin. *Journal of Water and Climate Change* 2023; jwc2023252. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.252>

PENNY, JESSICA; ALVES, PRISCILA; DE-SILVA, YENUSHI; CHEN, ALBERT; SLOBODAN; SHRESTHA, SANGAM, BABEL, MUKAND. Analysis of potential nature-based solutions for the Mun River Basin, Thailand. *Water Sci Technol* 15 March 2023; 87 (6): 1496–1514. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2023.050>

PENNY, JESSICA; KHADKA, DIBESH; ALVES, PRISCILA B. R.; CHEN, ALBERT S., DJORDJEVIĆ, SLOBODAN. Using multi criteria decision analysis in a geographical information system framework to assess drought risk, *Water Research*

X, Volume 20, 2023, 100190, ISSN 2589-9147, <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100190>.

SILVA, C. K. M; RUFINO, I. A. A; ARAGÃO, R. Consumo de água e crescimento urbano: análises espaciais e relações possíveis. SUBMETIDO a **Revista Brasileira de Gestão Urbana (URBE)** [Qualis A1], em fase de revisão.

BRITO, H. C.; RUFINO, I. A. A. A importância dos dados de mudanças de LULC para o estudo dos recursos hídricos no Semiárido Brasileiro. SUBMETIDO a **Revista Holos** [Qualis A1], em fase de avaliação.

BRITO, H. C.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. N.; MENESES, R. A. Use of spatial data in the simulation of domestic water demand in a semiarid city: the case of Campina Grande, Brazil. ACEITO na **Revista Urban Science** [Qualis A1].

CARVALHO, C. C. A.; RUFINO, I. A. A.; BRITO, H. C.; ALVES, P. B. R.. Eventos extremos compostos relacionados à água e a capacidade adaptativa: uma análise espacial em Campina Grande/PB. **Revista GEOTEMAS**, v. 13, p. e02313, 2023 [Qualis A2].

c) Trabalhos apresentados em conferências internacionais;

Conferência CORDEX 2023, realizada em Trieste, Itália, de 25 a 29 de setembro de 2023. Título do trabalho apresentado: *Projected changes in the frequency of compound events over tropical Brazil in CORDEX-CORE simulations*. Lincoln Muniz Alves

WCRP *Open Science Conference 2023*, Kigali, Ruanda no período de 23 a 27 de outubro de 2023. Título do trabalho apresentado: *Co-production of climate impact information over Brazil*. Lincoln Muniz Alves

SI, Qianyao; BRITO, Higor Costa de; ALVES, Priscila Barros Ramalho; HENDRICKS, Marccus; PAVAO-ZUCKERMAN, Mitchell. Spatial approaches to refining urban catchment delineation that integrated stormwater network infrastructure. *In: Water Resources Symposium: Equitable and Resilient Water Resource Management and Practices*, 1., 2023, Washington DC. **Anais do AWRA**. Washington: AWRA, 2023.

40th IAHR World Congress in Vienna, Austria, 2023. Simulating future changes: anthropogenic pressures in a Brazilian semi-arid watershed. Iana Alexandra Alves Rufino, Higor Costa de Brito, Slobodan Djordjević

d) Trabalhos apresentados em conferências nacionais;

BRITO, Higor Costa de; SILVA, Camila Karla Medeiros; OLIVEIRA, Geovanna Santos; RUFINO, Iana Alexandra Alves. IMPACTOS DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO POÇÕES-EPITÁCIO PESSOA: UMA ABORDAGEM ESPACIAL. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 25., 2023, Aracaju. **Anais do XXV SBRH**. Aracaju: ABRHidro, 2023. p. 1-8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0738-1-20230612-200345.pdf>.

SILVA, Camila Karla Medeiros; BRITO, Higor Costa de; RUFINO, Iana Alexandra Alves. CARACTERIZAÇÃO TERRITORIAL DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO POÇÕES-EPITÁCIO PESSOA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 25., 2023, Aracaju. **Anais do XXV SBRH**. Aracaju: ABRHidro, 2023. p. 1-9. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH1012-1-20230618-155655.pdf>.

BRITO, Higor Costa de; SI, Qian Yao; ALVES, Priscila Barros Ramalho; PAVAO-ZUCKERMAN, Mitchell; HENDRICKS, Marccus; RUFINO, Iana Alexandra Alves. THE USE OF GIS FOR CATCHMENT DELINEATION: A BIBLIOMETRIC REVIEW. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 25., 2023, Aracaju. **Anais do XXV SBRH**. Aracaju: ABRHidro, 2023. p. 1-8. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0793-1-20230615-001242.pdf>.

SILVA, Camila Karla Medeiros; COSTA, Maria Helena Carvalho. Formas de abastecimento e armazenamento de água em pequenos municípios da Paraíba: Uma amostra panorâmica. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 25., 2023, Aracaju. **Anais do XXV SBRH**. Aracaju: ABRHidro, 2023. p. 1-9. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH1153-1-20230618-212040.pdf>.

h) Dissertações defendidas e em andamento;

Título: Análise da capacidade adaptativa em municípios atendidos pelo Sistema Hídrico Poções-Epitácio Pessoa (em andamento)
Discente: Milena Daleth do Amaral Vieira Ribeiro)
Orientadoras: Iana Alexandra Alves Rufino e Priscila Barros Ramalho Alves

Título: Segurança Hídrica de municípios paraibanos: um estudo analítico (em andamento)
Discente: Geovanna Santos Oliveira
Orientadoras: Iana Alexandra Alves Rufino e Priscila Barros Ramalho Alves

i) Teses defendidas e em andamento;

Título: Impactos do clima e da cobertura da terra na segurança hídrica em municípios da Paraíba (em andamento)
Discente: Camila Karla Medeiros Silva
Orientadora: Iana Alexandra Alves Rufino

Título: Desafios Hidrológicos Urbanos: Interconexões Espaciais entre Uso da Terra e Recursos Hídricos (em andamento)
Discente: Higor Costa de Brito
Orientadores: Iana Alexandra Alves Rufino e Marccus Hendricks

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, Z.; YANG, G.; ZHONG, Y.; ZHAO, Y. Spatiotemporal Change Analysis and Future Scenario of LULC Using the CA-ANN Approach: A Case Study of the

Greater Bay Area, China. *Land*, v. 10, n. 6, p. 584, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10060584>

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. – Caracterização das regiões naturais, 2016. Acesso: Agosto de 2023. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/PE_07.pdf.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. – Outorgas. Acesso: Julho de 2023. Disponível em: <http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/dashboard.xhtml>

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Outorgas emitidas. Acesso: Julho de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas>

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Nota Técnica nº 1/2022/COMAR/SRE. Marco regulatório dos usos de recursos hídricos do sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa, na bacia hidrográfica do rio Paraíba, localizado no Estado da Paraíba. Brasília: ANA, 2022a.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Resolução Conjunta ANA/AESA Nº 126, de 26 de julho de 2022. Dispõe sobre condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa, localizado no Estado da Paraíba. Brasília: ANA, 2022b.

ALVES, T. L. B. *et al.* (2018). Evolução espaço-temporal do albedo e da cobertura vegetal da superfície na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba. *Geosul*, v. 33, n. 66, p. 147-171.

CHAVES, I. B. *et al.* Precipitação e erosividade das chuvas do Estado da Paraíba. *In*: Congresso Técnico-científico da Engenharia e da Agronomia. Brasil, 2021.

CORREIA, I. M. G. *et al.* (2019). Mata ciliar, conservação e sustentabilidade. Fundamentos de sua importância para o Semiárido paraibano: Estudo de caso no alto curso do Rio Paraíba. *REGNE*, v. 5, n. 2. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n2ID17233>

FARIAS, A. A.; SOUSA, F. A. S. (2020). Caracterização e análise das secas na sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.04, p. 1483-1501. DOI: [10.26848/rbgf.v13.4.p1483-1501](https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1483-1501)

GANTUMUR, B.; WU, F.; VANDANSAMBUU, B.; TSEGMID, B.; DALAIBAATAR, E.; ZHAO, Y. Spatiotemporal dynamics of urban expansion and its simulation using CA-ANN model in Ulaanbaatar, Mongolia. *Geocarto*

International, v. 37, n. 2, p. 494–509, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1723714>

GHARAIBEH, A.; SHAAMALA, A.; OBEIDAT, R.; AL-KOFAHI, S. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, v. 6, n. 9, p. e05092, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>

JÚNIOR, V. P. S. *et al.* (2022). Land-Use and Land-Cover Dynamics in the Brazilian Caatinga Dry Tropical Forest. *Conservation*, v. 2, n. 4, p. 739-752. DOI: <https://doi.org/10.3390/conservation2040048>

LIMA, F. N. *et al.* (2017). Caracterização ambiental da sub-bacia do rio Taperoá – Paraíba. *Ambiência Guarapuava (PR)*, v.13, n. 2, p. 284 – 300.

LUCENA, D. P. M. M. (2018). Simulações da implantação de ações de gestão no Açude Epitácio Pessoa e seus impactos na crise hídrica em Campina Grande-PB e região. Dissertação de mestrado (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental) - Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2018.

MARCUZZO, F. F. *et al.* (2012). Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. *In: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. João pessoa, 2012.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Classificação climática de Köppen para o Estado do Piauí – Brasil. *Revista Equador (UFPI)*, v. 9, n. 3, p. 82 – 99.

MENESES, R. A. *et al.* (2022). Operação de sistemas de abastecimento em épocas de crise hídrica: O caso de Campina Grande (2012-2017). *In: Anais do XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, Caruaru*, 2022.

SANTOS, J. P. O. Uso e ocupação do solo e pressões antrópicas em floresta tropical sazonalmente seca no Cariri Oriental da Paraíba, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Instituto Federal da Paraíba. Monteiro, 2023.

XAVIER, P. C. D. S. Análise hidrossedimentológica da Bacia do Alto Rio Paraíba: Uma contribuição à morfodinâmica fluvial em ambientes semiáridos. Tese de Doutorado (Doutora em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.

ANEXO 1

Equipe

Lincoln Muniz Alves (INPE) – Pesquisador Principal
Gustavo Felipe Balué Arcoverde (INPE) – Pesquisador Associado
Jose Antonio Marengo Orsini (INPE) – Pesquisador Associado
Laura De Simone Borma (INPE) – Pesquisador Associado
Rita Marcia da Silva Pinto Vieira (INPE) – Pesquisador Associado

Iana Alexandra Alves Rufino (UFCG)– Pesquisadora Principal
Ricardo de Aragão (UFCG) – Pesquisador Associado
John Elton de Brito Leite Cunha (UFCG) – Pesquisador Associado
Priscila Barros Ramalho Alves (University of Maryland/UMD) – Pesquisador Associado
Marccus D Hendricks (University of Maryland/UMD) - Pesquisador Associado
Cibelle Frazão Costa Braga (IFPB) - Pesquisador Associado
Laércio Leal dos Santos (Universidade Estadual da Paraíba) - Pesquisador Associado
Vajapeyan Srinivasan (UFCG) – Pesquisador Associado
Valterlin da Silva Santos (UFCG) – Pesquisador Associado
Ismael José Pereira (UFCG) - Técnico de Laboratório
Edmilson Gomes Cavalcante Junior (UFCG) - Técnico de laboratório

Bolsistas/Estudantes:

Nome	Status	Descrição
Higor Costa de Brito	Estudante de doutorado do PPGECA/UFCG Orientadores: Iana Rufino (UFCG) e Marccus D Hendricks (UMD)	Pesquisador responsável pela Meta 2.1 (OE2) e colaborador nas Meta 1.1 (OE1) e nas metas referentes aos OE3. Desenvolve tese de doutorado no âmbito do Projeto. Realizou período sanduíche durante o ano de 2023 na Universidade Internacional parceira do Projeto (UMD)
Geovanna Santos Oliveira	Estudante de mestrado do PPGECA/UFCG Orientadores: Iana Rufino (UFCG) e Priscila Alves (UMD)	Pesquisadora responsável pela Meta 3.1 (OE3) e colaboradora da Meta 1.1 (OE1). Desenvolve dissertação de mestrado no âmbito do Projeto.

Milena Daleth do Amaral Vieira Ribeiro	Estudante de mestrado do PPGECA/UFCG Orientadores: Iana Rufino (UFCG) e Priscila Alves (UMD)	Pesquisadora responsável pela Meta 3.2 (OE 3) e colaboradora da Meta 1.1 (OE1) e Meta 2.1 (OE2). Desenvolve dissertação de mestrado no âmbito do Projeto.
Camila Karla Medeiros Silva	Estudante de doutorado do PPGECA/UFCG Orientadores: Iana Rufino (UFCG)	Pesquisadora gerente do projeto, auxiliar direta da coordenação técnica e desenvolvendo tese de doutorado no âmbito do Projeto. Colabora diretamente nas metas 1.1 (OE1) e 2.1 (OE2) e transversalmente em todas as demais metas do Projeto.
Daniele de Almeida Carreiro	Estudante de mestrado da UEPB Orientadores: Laércio Santos (UEPB) e Ricardo de Aragão (UFCG)	Pesquisadora colaboradora na Meta 1.2 (OE1) e colaboradora da Meta 2.2 (OE2). Desenvolve dissertação de mestrado no âmbito do Projeto.
Tassio Jordan Rodrigues Dantas da Silva	Estudante de doutorado da UEPB Orientadores: Laércio Santos (UEPB) e Ricardo de Aragão (UFCG)	Pesquisador colaborador na Meta 1.2 (OE1) e colaborador da Meta 2.2 (OE 2). Desenvolve tese de doutorado no âmbito do Projeto.
Maria Helena Carvalho Costa	Estudante de doutorado do PPGECA/UFCG Orientadores: Iana Rufino (UFCG) Cybelle Frazão Costa Braga (IFPB)	Pesquisadora que colabora de forma transversal em todas as metas analisando arcabouço institucional dos serviços de gestão de águas e as relações água e território. Desenvolve tese de doutorado no âmbito do Projeto.
Karyne da Silva Nascimento	Estudante de Graduação (PIBIC/UFCG) Orientadores: Iana Rufino	Pesquisadora colaboradora nas metas 1.1 (OE1), 2.1 (OE2) e todas as metas do OE3

Article

Socio-Environmental Vulnerability to Drought Conditions and Land Degradation: An Assessment in Two Northeastern Brazilian River Basins

Rita Marcia da Silva Pinto Vieira ^{1,*}, Javier Tomasella ¹, Ana Paula Martins do Amaral Cunha ², Alexandre Augusto Barbosa ¹, João Pompeu ¹, Yara Ferreira ¹, Fabrícia Cristina Santos ¹, Lincoln Muniz Alves ¹ and Jean Ometto ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 12227-010, SP, Brazil

² Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais, São José dos Campos 12247-016, SP, Brazil

* Correspondence: ritamp@gmail.com



Citation: Vieira, R.M.d.S.P.; Tomasella, J.; Cunha, A.P.M.d.A.; Barbosa, A.A.; Pompeu, J.; Ferreira, Y.; Santos, F.C.; Alves, L.M.; Ometto, J. Socio-Environmental Vulnerability to Drought Conditions and Land Degradation: An Assessment in Two Northeastern Brazilian River Basins. *Sustainability* **2023**, *15*, 8029. <https://doi.org/10.3390/su15108029>

Academic Editor: Alejandro Javier Rescia Perazzo

Received: 5 March 2023

Revised: 13 April 2023

Accepted: 9 May 2023

Published: 15 May 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Over the past few decades, a significant amount of agricultural land has been lost due to soil degradation/desertification. In addition, the increasing frequency of extreme events, such as intense droughts and forest fires, has negatively impacted various ecosystem services. Two of the main Brazilian biomes—the Cerrado and the Caatinga—have been affected by increased rainfall variability, leading to desertification, increased fire frequency, and, consequently, rising concerns regarding the water and food security of the local population. In this study, we develop a methodology to assess these impacts using a Socio-Environmental Vulnerability Index (SEVI) that combines physical, environmental, and socio-economic indicators related to exposure, sensitivity, and adaptation, as well as including socio-environmental feedback. The developed SEVI is then applied to the São Francisco and Parnaíba river basins. The proposed index is based on the MEDALUS methodology and is adapted to include multiple biological, physical, and socio-economic indicators, allowing for the discrimination of areas characterized by different levels of vulnerability. We also analyze the effectiveness of governmental policies, such as the creation of conservation areas and the rural registration of properties, in reducing vulnerability. The SEVI analysis highlights that adaptive capacity is the main constraint for reducing socio-environmental vulnerability in the Parnaíba basin, while exposure and sensitivity are the greater challenges in the São Francisco basin. The results of this study are crucial for the prioritization of recovery actions in degraded areas.

Keywords: socio-environmental vulnerability; conservation units; rural environmental cadastre (CAR); Northeastern Brazil; Cerrado; Caatinga

1. Introduction

The world's population has been growing rapidly and—albeit at a slower rate—it is projected to reach 8.5 billion by 2030, around 9.7 billion by 2050, and 10.9 billion by 2100 [1]. Population growth implies a more intense use of natural resources, requiring more adequate environmental planning to meet the needs of the population without depleting these resources.

Habitat fragmentation, landscape ecology changes, soil erosion, and loss of biodiversity have critically influenced the sustainable development of regional ecosystems, and the evaluation of vulnerability has been considered as a strategy for the mitigation of environmental degradation [2]. Environmental indicators enable description of the characteristics of sociological, ecological, or environmental components in a comprehensive and understandable manner [3].

One of the main causes of biodiversity loss in South America is the increased frequency of fires [4], which is a common land management practice in subsistence agriculture [5].



Convection-permitting climate simulations for South America with the Met Office Unified Model

Kate Halladay¹ · Ron Kahana¹ · Ben Johnson¹ · Christopher Still² · Giorgia Fosser³ · Lincoln Alves⁴

Received: 26 May 2023 / Accepted: 30 May 2023 / Published online: 5 July 2023
© Crown 2023

Abstract

We present the first convection-permitting regional climate model (CPRCM) simulations at 4.5 km horizontal resolution for South America at near-continental scale, including full details of the experimental setup and results from the reanalysis-driven hindcast and climate model-driven present-day simulations. We use a range of satellite and ground-based observations to evaluate the CPRCM simulations covering the period 1998–2007 comparing the CPRCM output with lower resolution regional and global climate model configurations for key regions of Brazil. We find that using the convection-permitting model at high resolution leads to large improvements in the representation of precipitation, specifically in simulating its diurnal cycle, frequency, and sub-daily intensity distribution (i.e. the proportion of heavy and light precipitation). We tentatively conclude that there are also improvements in the spatial structure of precipitation. We see higher precipitation intensity and extremes over Amazonia in the CPRCMs compared with observations, though more sub-daily observational data from meteorological stations are required to conclusively determine whether the CPRCMs add value in this regard. For annual mean precipitation and mean, maximum and minimum near surface temperatures, it is not clear that the CPRCMs add value compared with coarser-resolution models with parameterised convection. We also find large changes in the contribution to evapotranspiration from canopy evaporation compared to soil evaporation and transpiration compared with the RCM. This is likely to be related to the shift in precipitation intensity distribution of the CPRCMs compared to the RCM and its impact on the hydrological requires further investigation.

Keywords Convection-permitting regional modelling · High resolution · South America · Climate · Evapotranspiration

1 Introduction

South America is a continent of great environmental and ecological importance. The Amazon Forest accounts for 40% of global tropical forest area (Marengo et al. 2018), and plays a vital role in water, energy and carbon cycles and hosts 10–15% of land biodiversity (Nobre et al. 2016). The annual cycle of precipitation is dominated by the South American Monsoon System which brings rainfall to the southeast and across Amazonia in austral summer. In austral winter

rainfall is largely confined to the northwest whilst southern and eastern areas experience a dry season. Precipitation is the main water source for agriculture, energy production, [especially in the highly populated region of southeast Brazil (Coelho et al. 2016)], and water supply; therefore, considerable changes in the hydrological cycle have the potential for dramatic societal impacts, particularly because daily rainfall extremes have increased resulting in more flooding and landslides (Marengo et al. 2020). Furthermore, rainfall variability is projected to increase, meaning there will be drier or more frequent dry periods and wetter wet periods on daily, weekly, monthly, and intra-seasonal timescales, even in sub-regions where future changes in mean rainfall are currently uncertain (Alves et al. 2021; Chadwick et al. 2022). If we are to reduce that uncertainty, it is important to improve the representation of precipitation and the hydrological cycle in climate models, which is the central aim of this work. It forms part of the climate modelling work package of the Climate Science for Service Partnership (CSSP) Brazil project

✉ Kate Halladay
kate.halladay@metoffice.gov.uk

¹ Met Office Hadley Centre for Climate Science and Services, Exeter, UK

² Oregon State University, Corvallis, OR, USA

³ IUSS, Pavia, Italy

⁴ INPE, São José Dos Campos, Brazil



Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019–2021

Mabel Calim Costa¹ · Jose A. Marengo¹ · Lincoln M. Alves² · Ana Paula Cunha¹

Received: 14 September 2022 / Accepted: 11 September 2023
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Austria, part of Springer Nature 2023

Abstract

In this study, a comprehensive multiscale analysis of compounding drought-heat events in the Pantanal region is presented. The goal is to assess the multiscale nature of drought and determine whether the combined effects of drought and heatwaves, as driving factors, are more relevant than the effects of each event separately. The study describes a persistent interannual extreme event characterized by drought and heatwaves in the Pantanal, lasting from 2019 to 2021. The extreme event involved a prolonged dry season, a shortened and delayed rainy season, and persistent heatwaves, resulting in the emergence of drought-heat compound events. Despite experiencing consecutive months of increasing drought hazards and a delayed rainy season in late 2020 to 2021, the northern Pantanal region was unable to recover from the water deficit accumulated due to water stress in the previous year. This emphasizes the long-lasting impacts of compound events on water availability and ecosystem health. Furthermore, the study suggests that interannual water stress played a crucial role in explaining the context that led to record-breaking daily maximum temperatures during the austral spring of 2020. The regions most at risk for such compound extreme events are the northern and central Pantanal. Looking at longer timescales, the analysis of compound drought-heat events can provide insights essential for understanding and preventing their impacts, particularly those that could trigger fire outbreaks.

Highlights

- Despite consecutive months of increasing drought hazards and a delayed rainy season in late 2020–2021, recovery from the water deficit caused by water stress in 2020 was insufficient.
- Interannual water stress plays a crucial role in explaining the context behind the record-breaking daily maximum temperatures during the austral spring of 2020.
- Interannual compound drought-heatwave effects persisted even during the rainy season.
- Compound events on a broader scale (scale 12) encompassed 80% of the study area in 2019 and expanded to 89% in 2020.
- The study emphasized the significance of drought effects and compound events on longer timescales (> 3 months). It also identified a strong seasonal pattern in accumulative heatwave coverage, with a scale of 6 months.
- Partial and multiple coherence analyses indicated that conducting single-factor assessments in isolation at a single scale can undermine results and lead to a misunderstanding of the overall complexity of extreme event contexts.
- The study advocates for analyzing drought-heat events as compound occurrences rather than isolated extremes, as this approach offers the most accurate insight into the multifaceted nature of such events.

1 Introduction

A complex interplay among several contributing factors, including meteorological and hydrological conditions, the availability of fuel material (dry biomass-vegetation from legal or illegal land use practices), and human ignition sources (accidental and intended), can cause unprecedented fire outbreaks. The catastrophic fires in California in 2020 and the unusual fire activity in regions such as Oceania, Euro-Asia, North America, and Central South America were no exception (Thielen et al. 2021). In 2020, the Pantanal biome faced the most devastating fires in the last two decades (Silva et al. 2022a). Around a third of the Brazilian section of the Pantanal was affected, including several indigenous territories and conservation units (Abram et al. 2021; Canadell 2021; Dowdy et al. 2022; Libonati et al. 2022). Between January and August 2020, 7,727 fires were detected. This number represents an increase of 211% compared to the same period in 2019.

✉ Mabel Calim Costa
mabelcalim@gmail.com

² National Institute for Space Research (INPE),
São José dos Campos, Brazil

¹ National Center for Monitoring and Early Warning
of Natural Disasters, São José dos Campos, Brazil



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Impacts on South America moisture transport under Amazon deforestation and 2 °C global warming

Murilo Ruv Lemes^{a,b,*}, Gilvan Sampaio^a, Luis Garcia-Carreras^b, Gilberto Fisch^d, Lincoln Muniz Alves^a, Richard Bassett^b, Richard Betts^c, Jelena Maksic^a, Marília Harumi Shimizu^a, Roger Rodrigues Torres^f, Marcelo Guatura^a, Luana Santamaria Basso^g, Polyanna da C. Bispo^c

^a General Coordination of Earth Science (CGCT), National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil

^b University of Manchester (UoM), School of Earth and Environmental Sciences, Manchester, United Kingdom

^c University of Manchester (UoM), Geography Department, Manchester, United Kingdom

^d University of Taubaté (UNITAU), Agronomy Department, Taubaté, São Paulo, Brazil

^e Met Office Hadley Centre, Exeter, United Kingdom

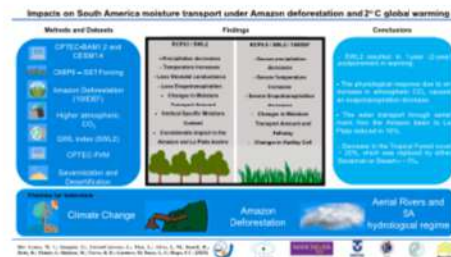
^f Federal University of Itajubá (UNIFEI), Itajubá, Brazil

^g Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany

HIGHLIGHTS

- Amazon deforestation, higher atmospheric carbon dioxide, and global warming will lead severe climate changes in South America;
- Precipitation, temperature, pblh, vertically integrated moisture flow, cape, stomatal conductance have them patterns changed;
- Changes on the plant physiology behavior have the potential to provoke physical shifts in the local and regional climate;
- The La Plata basin water cycle is directly connected with Amazon forest water management;
- The Amazon can suffer not only a savannization process but also a desertification;

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Editor: Elena Paoletti

Keywords:
Global warming
La Plata basin
Aerial Rivers
Water budget
Climate modeling

ABSTRACT

The increase in greenhouse gases (GHG) anthropogenic emissions and deforestation over the last decades have led to many chemical and physical changes in the climate system, affecting the atmosphere's energy and water balance. A process that could be affected is the Amazonian moisture transport in the South American continent (including La Plata basin), which is crucial to the southeast Brazilian water regime. The focus of our research is on evaluating how local (i.e. Amazon deforestation) and global forcings (increase of atmospheric GHG concentration) may modify this moisture transport under climate change scenarios. We used two coupled land-atmosphere models forced by CMIP6 sea surface temperatures to simulate these processes for two scenarios: i) increase in carbon dioxide (CO₂) — RCP8.5 atmospheric levels (00DEF), and ii) total Amazon deforestation

* Corresponding author at: General Coordination of Earth Science (CGCT), National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil.
E-mail address: murilo.ruv@gmail.com (M. Ruv Lemes).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167407>

Received 19 June 2023; Received in revised form 25 September 2023; Accepted 25 September 2023

Available online 29 September 2023

0048-9697/Crown Copyright © 2023 Published by Elsevier B.V. All rights reserved.



Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness

J.A. Marengo^{a,b}, E. Alcantara^{b,*}, A.P. Cunha^{a,b}, M. Seluchi^a, C.A. Nobre^{b,c}, G. Dolif^a,
D. Gonçalves^a, M. Assis Dias^a, L.A. Cuartas^{a,b}, F. Bender^a, A.M. Ramos^d, J.R. Mantovani^b,
R.C. Alvalá^{a,b}, O.L. Moraes^{a,b}

^a National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (CEMADEN), São José dos Campos, Brazil

^b Graduate Program in Natural Disasters, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brazil

^c Institute for Advanced Studies, University of São Paulo (IEA/USP), São Paulo, Brazil

^d National Institute for Meteorology (INMET), Brasília, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
Heavy rain
Recife
Flash flood
Easterly wave disturbance
Landslides

ABSTRACT

From late May to early June 2022, 130 people died in catastrophic landslides and flash flood events triggered by exceptionally heavy rains in the states of Pernambuco, Alagoas, and Paraíba, along the coast of Northeast Brazil. Total rainfall in the city of Recife on May 25–30 was 551 mm, 140 mm higher than the average of the month of May. Rain was heaviest on May 25 and 28, with 100–200 mm and 151–250 mm, respectively. This coincided with easterly wave disturbances. May 28 saw the most rain, due to a significant cold front. Fourteen municipalities in the metropolitan region of Recife declared a state of emergency. According to the Civil Defense of Pernambuco state, the rain impacted 130,000 people there. Most of the heavy precipitation fell over areas with medium to very high geological vulnerability to landslides and extreme hydrological events. The loss of life and substantial economic impacts in Recife caused by the heavy precipitation of May 2022 and the disasters induced by it show that this city, like many others around the world, has limited capacity to cope with climate extremes. Urbanization has increased population density occupying hills and slopes of the city, contributing to the problem. To reduce the impact of such disasters, residents must be made aware of the risks of climate-related events, and they must be encouraged to heed alerts warning of natural disasters issued by state and federal institutions. Efficient monitoring of risk is also needed. Risk management will be viable only when everyone participates, which requires education and cultural change.

1. Introduction

Brazil has an estimated 3,000 km² of areas at risk for prevailing climate-related disasters. These areas were recently determined to have high and very high risk of landslides, floods, and flash floods. At least 825 municipalities are critically vulnerable to disasters (Alvalá et al., 2019; Assis Dias et al., 2020). Of the 8,266,566 people most at risk, around 75% are in areas susceptible to landslides or combined landslides and floods (Alvalá et al., 2019; Zachariah et al., 2022). This population faces considerable vulnerability (IBGE 2010). Recurring events in recent years underscore how urgent it is to mitigate the disaster risk (UN Office for Disaster Risk Reduction, 2019a, b).

Between January 1, 2013, and April 5, 2022, natural disasters caused US\$ 67 billion in damages throughout Brazil (CNM 2022). From January

to July 2022 alone, landslides, flash floods, and floods triggered by heavy precipitation events have left hundreds dead and missing in Brazil. The National Confederation of Municipalities (CNM 2022) estimates 503 deaths due to disasters related to heavy precipitation as of July 4, 2022. This is higher than the 290 deaths in all of 2021. From 2014 to 2018, fewer than 100 fatalities were caused by disasters triggered by heavy precipitation annually. After 2019, this number jumped to over 200 per year, with 2022 being the worst yet (as of July).

The city of Recife, capital of the state of Pernambuco, and 13 other municipalities, comprise the metropolitan region of Recife (MRR). Together, they form the fifth-largest population center in Brazil (Fig. 1). The MRR has an estimated population of 4,047,088 in 2020 (IBGE and CEMADEN, 2018), spread over a territory of 2,774 km². The population density is high, at 1,459 inhabitants/km² (<https://www.citypopulation>).

* Corresponding author.

E-mail address: enner.alcantara@unesp.br (E. Alcantara).

<https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>

Received 16 September 2022; Received in revised form 24 December 2022; Accepted 27 December 2022

Available online 2 January 2023

2212-0947/© 2023 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



OPEN ACCESS

EDITED BY
Leonardo B. L. Santos,
Cemaden, BrazilREVIEWED BY
Meiry Sayuri Sakamoto,
Fundação Cearense de Meteorologia e
Recursos Hídricos, Brazil
Arthur Valencio,
North Carolina State University,
United States*CORRESPONDENCE
Gustavo Felipe Baluê Arcoverde,
✉ gustavo.arcoverde@inpe.br
Evandro Albiach Branco,
✉ evandro.albiach@inpe.br†These authors have contributed equally
to this workSPECIALTY SECTION
This article was submitted to
Social Physics,
a section of the journal
Frontiers in PhysicsRECEIVED 02 October 2022
ACCEPTED 05 December 2022
PUBLISHED 09 January 2023CITATION
Arcoverde GFB, Menezes JA, Paz MGA,
Barros JD, Guidolini JF, Branco EA,
De Andrade PR, Pulice SMP and
Ometto JPHB (2023). Sustainability
assessment of Cerrado and Caatinga
biomes in Brazil: A proposal for
collaborative index construction in the
context of the 2030 Agenda and the
Water-Energy-Food Nexus.
Front. Phys. 10:1060182.
doi: 10.3389/fphy.2022.1060182COPYRIGHT
© 2023 Arcoverde, Menezes, Paz,
Barros, Guidolini, Branco, De Andrade,
Pulice and Ometto. This is an open-
access article distributed under the
terms of the Creative Commons
Attribution License (CC BY). The use,
distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the
original author(s) and the copyright
owner(s) are credited and that the
original publication in this journal is
cited, in accordance with accepted
academic practice. No use, distribution
or reproduction is permitted which does
not comply with these terms.

Sustainability assessment of Cerrado and Caatinga biomes in Brazil: A proposal for collaborative index construction in the context of the 2030 Agenda and the Water-Energy-Food Nexus

Gustavo Felipe Baluê Arcoverde^{1*}, Julia Alves Menezes^{1†},
Mariana Gutierrez Arteiro Paz^{1†}, Jocilene Dantas Barros¹,
Janaina Ferreira Guidolini², Evandro Albiach Branco^{1*},
Pedro Ribeiro De Andrade¹, Sergio Mantovani Paiva Pulice¹ and
Jean Pierre Henry Balbaud Ometto¹¹General Coordination of Earth Sciences, Division of Impact, Adaptation and Vulnerabilities, National
Institute for Spatial Research (INPE), São Paulo, Brazil, ²Civil Engineering Division, Technological
Institute of Aeronautics (ITA), São Paulo, Brazil

The 2030 Agenda framework represents an opportunity for the co-development of local indicators and shares the same principles of cross-sectoral integration and universality as the water-energy-food nexus. This research aimed to develop a quantitative-collaborative methodology for constructing indicators and indexes for the sustainability of the Cerrado and Caatinga Brazilian biomes, considering the connection and synergies between the Nexus perspective and the 2030 Agenda's SDG-target framework. The study was applied in 2,512 municipalities that make up the total of the mentioned biomes. The methodology consists of four major blocks: i) identification and construction of indicators based on the association of them with one or more 2030 Agenda's targets, in a collaborative way from expert groups; ii) generation of weights by an indicator considering leverage, according to the number of target assignments, and importance, attributed by experts for each indicator to the target; iii) generation of sustainable development goal indexes, considering the performance of the SDGs; Nexus performance, considering different weights between the SDGs; Nexus synergistic, the standard deviation between the SDGs; and Nexus overall, a combination of the last two; and iv) sensitivity analysis for performance indexes considering the assignment of zero values to the governance indicators. In general, the regions of MATOPIBA, northern and western of Cerrado and the Caatinga, are, on average, the areas of greatest vulnerability. The targets that respond to this inequality are related to eradicating hunger, sustainable and climate-resilient production systems, universal access to water, water quality, efficiency of multiple water uses, access to energy, and the participation of



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Disaster Risk Reduction

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijdrr

The dual-risks context: A systematic literature review for the integrated management of flood and drought risks

Priscila B.R. Alves^{a,*}, Ho Huu Loc^{b,c}, Yenushi De Silva^c, Jessica Penny^d,
Mukand Babel^{e,d}, Slobodan Djordjevic^{d,e}

^a Stormwater Infrastructure Resilience and Justice (SIRJ) Lab, School of Architecture Planning and Preservation, University of Maryland, College Park, United States

^b Water Systems and Global Change Group, Wageningen University and Research, Wageningen, the Netherlands

^c Water Engineering and Management, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, Thailand

^d Centre for Water Systems, University of Exeter, Exeter, UK

^e Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, 11000, Belgrade, Serbia

ARTICLE INFO

Keywords:

Floods
Drought
Literature review
Local conditions
Vulnerabilities
Stakeholders participation

ABSTRACT

Floods and droughts can cause severe impacts for communities. Even with different temporal and spatial scales, these extreme events challenge risk management specially when happening simultaneously, cascadingly or cumulatively over time. However, the number of articles that evaluates the joint occurrence (i.e., interplay) between floods and drought in the same area is still limited in literature. In this sense, this paper aims to evaluate what lessons we can learn from previous studies on both extreme events, and to identify the way forward for understanding floods-droughts interplay and risk reduction in the future. For this, we developed a literature review with articles from 2008 to 2021, aiming mainly to understand the “dual-risks” context internationally ($n = 60$). Articles are analysed with chronological, descriptive, and geographical factors, methodological aspects, main objectives, and risks interplay. Results show articles still focus most on the single hazards approach, and when considering the risks interplay, they focus more on risk assessments rather than on assessing the context conditions of communities and their vulnerabilities. This study concludes by discussing the key elements for integrating floods and droughts, including the analysis of local conditions (i.e., social, political, cultural, and physical aspects) vulnerabilities, and the participation of stakeholders.

1. Introduction

The world has become increasingly vulnerable to disasters [1], not only in terms of the number of events but also the severity, and more importantly, yet predominantly overlooked is the diversity of risks. Even though natural hazards, and the study of their risks, constitute one of the most important sections within scientific and policy discourses, our understanding is yet to be sufficient, let alone comprehensive. Virtually regardless of countless lessons drawn from past events, human society has yet to be entirely protected whenever nature strikes as the hazard impacts could not be entirely prevented. This could have been due to the “singular” approach being adopted [2]. When confronted with a natural hazard, the ultimate aim is always to reduce as much as possible the impacts of that particular hazard while neglecting the underlying consequences or needs of the area [3].

* Corresponding author.

E-mail address: pbralves@umd.edu (P.B.R. Alves).

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103905>

Received 24 March 2023; Received in revised form 27 July 2023; Accepted 28 July 2023

Available online 6 August 2023

2212-4209/© 2023 Published by Elsevier Ltd.

Earth's Future

COMMENTARY
10.1029/2023EF003857

Key Points:

- Drought risks are on the rise and their effects are increasingly felt across communities, economic sectors, ecosystems, borders and entire societies
- To effectively assess and manage drought risks, a systemic perspective is needed
- We propose a novel systemic framework to better inform drought risk research and policy

Correspondence to:
M. Hagenlocher,
hagenlocher@eth.uzh.ch

Citation:

Hagenlocher, M., Naumann, G., Meza, I., Blauhut, V., Cotti, D., Döll, P., et al. (2023). Tackling growing drought risks—the need for a systemic perspective. *Earth's Future*, 11, e2023EF003857. <https://doi.org/10.1029/2023EF003857>

Received 31 MAY 2023
Accepted 13 JUL 2023

Author Contributions:

Conceptualization: M. Hagenlocher, G. Naumann, I. Meza, V. Blauhut, D. Cotti, P. Döll, F. Gaupp, A. F. Van Loon, A. S. Sabino Siemons, S. Siebert, J. Vogt, M. Wens
Visualization: M. Hagenlocher, G. Naumann, I. Meza, D. Cotti, F. Gaupp, A. F. Van Loon, A. S. Sabino Siemons, J. Vogt
Writing – original draft: M. Hagenlocher, G. Naumann, I. Meza, D. Cotti, A. S. Sabino Siemons

© 2023 United Nations University. Earth's Future published by Wiley Periodicals LLC on behalf of American Geophysical Union. All Rights Reserved. This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike](#) license, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and the content is offered under identical terms.

HAGENLOCHER ET AL.

Tackling Growing Drought Risks—The Need for a Systemic Perspective

M. Hagenlocher¹, G. Naumann², I. Meza^{1,3}, V. Blauhut⁴, D. Cotti¹, P. Döll^{5,6}, K. Ehler^{7,8}, F. Gaupp⁹, A. F. Van Loon¹⁰, J. A. Marengo¹¹, L. Rossi¹², A. S. Sabino Siemons¹, S. Siebert¹², A. T. Tschayur¹³, A. Toreti¹⁴, D. Tsegai¹⁵, C. Vera^{16,17}, J. Vogt¹⁸, and M. Wens¹⁹

¹Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), United Nations University, Bonn, Germany, ²CIMA Research Foundation, Savona, Italy, ³WWF Germany (WWF DE), Berlin, Germany, ⁴Faculty of Environment and Natural Resources, Environmental Hydrological Systems, University of Freiburg, Freiburg, Germany, ⁵Institute of Physical Geography, Goethe University Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany, ⁶Senckenberg Leibniz Biodiversity and Climate Research Centre Frankfurt (SBK-F), Frankfurt am Main, Germany, ⁷World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, ⁸Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich-Flughafen, Switzerland, ⁹Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany, ¹⁰Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands, ¹¹National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, Brazil, ¹²Department of Crop Sciences, University of Göttingen, Göttingen, Germany, ¹³Intergovernmental Authority on Development (IGAD), IGAD Climate Prediction and Application Centre (ICPAC), Nairobi, Kenya, ¹⁴European Commission, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy, ¹⁵United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany, ¹⁶Department of Atmospheric and Ocean Sciences, CIMA, University of Buenos Aires, CONICET, Buenos Aires, Argentina, ¹⁷Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA), Buenos Aires, Argentina, ¹⁸Retired from European Commission, Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy

Abstract In the last few years, the world has experienced numerous extreme droughts with adverse direct, cascading, and systemic impacts. Despite more frequent and severe events, drought risk assessment is still incipient compared to that of other meteorological and climate hazards. This is mainly due to the complexity of drought, the high level of uncertainties in its analysis, and the lack of community agreement on a common framework to tackle the problem. Here, we outline that to effectively assess and manage drought risks, a systemic perspective is needed. We propose a novel drought risk framework that highlights the systemic nature of drought risks, and show its operationalization using the example of the 2022 drought in Europe. This research emphasizes that solutions to tackle growing drought risks should not only consider the underlying drivers of drought risks for different sectors, systems or regions, but also be based on an understanding of sector/system interdependencies, feedbacks, dynamics, compounding and concurring hazards, as well as possible tipping points and globally and/or regionally networked risks.

Plain Language Summary In recent years, the world has faced severe and frequent droughts, resulting in significant direct and indirect impacts. However, our understanding and assessment of drought risks are still limited which has important implications for risk management. Here, we propose a new approach—a systemic perspective on drought risks—to effectively assess and manage drought risks. Our framework highlights the interconnected nature of drought risks, impacts and responses. We demonstrate the framework's application by analyzing the 2022 drought in Europe. This research emphasizes the need for a comprehensive understanding of drought risks and offers a practical tool for policymakers and researchers to guide future drought risk research and policy.

1. Introduction

Droughts are temporary, recurring, usually slow-onset water deficits that can lead to devastating impacts on many sectors and systems and, eventually, affect ecosystems, entire societies and economies (Chiang et al., 2021; IPCC, 2022; Pokhrel et al., 2021; UNDRR, 2021). These water deficits are caused by the interaction of meteorological imbalances propagating through the hydrological cycle and human activities (Bartholomeus et al., 2023; Van Loon et al., 2022). Drought impacts, resulting from an imbalance between water availability and water needs, are severe, spatially and temporally complex, interlinked, and often slowly evolving, rendering their assessment a challenge. Between 2001 and 2021, droughts affected on average about 67 million people globally every year, with variations across the years, and caused global economic losses of USD 146 billion (CRED, 2022). While

1 of 10

Integrated assessment of flood and drought hazards for current and future climate in a tributary of the Mekong river basin

Jessica Penny^{a,*}, Dibesh Khadka^b, Mukand Babel^{a,b}, Priscila Alves^c, Slobodan Djordjević^{a,d}, Albert S. Chen^a, Slobodan Djordjević^{a,d} and Ho Huu Loc^b

^a Centre for Water Systems, University of Exeter, Exeter, UK

^b Water Engineering and Management, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, Thailand

^c Stormwater Infrastructure Resilience and Justice (SIRJ) Lab, School of Architecture Planning and Preservation, University of Maryland, United States

^d Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Belgrade 11000, Serbia

*Corresponding author. E-mail: jp606@exeter.ac.uk

 JP, 0000-0001-8748-472X; DK, 0000-0002-5703-5306; MB, 0000-0003-4203-0059; SD, 0000-0003-1682-1383

ABSTRACT

Projecting flood and drought characteristics under climate change is important to management plans and enhancement of the resiliency of the society. However, studies that provide the integration of flood–drought hazard events is scarce. This study assessed the flood and drought hazards for future climate in the Mun River basin. A non-modelling approach is used to assess the flood hazard, while a multi-variate approach is used for the drought hazard. The results suggest that areas under ‘high’ and ‘very high’ drought hazard levels will increase from 27 and 4% during the baseline period to 43 and 37%, during the near-future period. Similarly, an increase in the ‘high’ and ‘very high’ flood hazard levels from 11 and 22% during the baseline period to 16 and 24% during the near-future period is projected. When both hazards are considered together, the total hazard is projected to increase by 155% in the near-future period. 76% of the catchment during the near-future period will have a combined hazard level from ‘medium’ to ‘very high’ compared to the 30% during the baseline period. The research presents a grim outlook on future floods and droughts in the basin, with the areas of Nakhon Ratchasima, Rio Et and Si Sa Ket provinces particularly at risk from both hydro-meteorological hazards.

Key words: climate change, combined hazard, droughts, floods, multi-variate approach, Mun River basin

HIGHLIGHTS

- Individual and combined flood and drought hazard assessment for the near-future period.
- Non-modelling approach for flood and a multi-variate approach for drought hazards used.
- Area under high and very high drought hazards up from 30 to 80% in the near future.
- Area under high and very high flood hazards up from 33 to 40% in the near future.
- Area under the combined hazard projected to increase by 155% across the catchment.

1. INTRODUCTION

Hydro-meteorological extremes, either an acute lack of water or excess of it, are characterized by spatial-temporal variability and manifest as droughts or floods, respectively. They have the potential to cause severe damage to the environment (Masud *et al.* 2015), have a significant effect on the hydrology and water resources of watersheds (Aalijahan *et al.* 2021), and cause socio-economic impacts (Marcos-Garcia *et al.* 2017). Between 2005 and 2014, 83% of the recorded disasters, 39% of the recorded human deaths and 70% of the documented damages were linked to weather, water and climate (WMO 2018), respectively. With climate change, hydro-meteorological hazards are likely to be more frequent and severe, and influence a greater area. A warmer climate will intensify the hydrological cycle, resulting in the spatial and temporal redistribution of global water resources (Chen & Sun 2017).

With almost one billion people living in flood-prone areas (Kittipongvises *et al.* 2020), flooding is one of the most destructive natural hazards in the world, affecting 45% of the global population (Hammond *et al.* 2014; Kittipongvises

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY 4.0), which permits copying, adaptation and redistribution, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Analysis of potential nature-based solutions for the Mun River Basin, Thailand

Jessica Penny^{a,*}, Priscila B. R. Alves^b, Yenushi De-Silva^{a,c}, Albert S. Chen^a, Slobodan Djordjević^{a,d}, Sangam Shrestha^c and Mukand Babel^c

^aCentre for Water Systems, University of Exeter, Exeter, UK

^bStormwater Infrastructure Resilience and Justice (SIR) Lab, School of Architecture Planning and Preservation, University of Maryland, USA

^cWater Engineering and Management, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, Thailand

^dFaculty of Civil Engineering, University of Belgrade, 11000 Belgrade, Serbia

*Corresponding author. E-mail: jp606@exeter.ac.uk

JP, 0000-0001-8748-472X; SD, 0000-0003-1682-1383

ABSTRACT

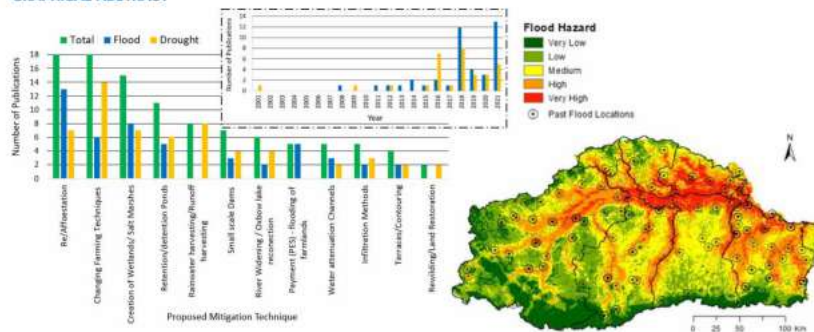
Despite the growth in research and applications of nature-based solutions (NBS) within the literature, there are limited applications in South East Asia, moreover studies which quantitatively assess the impacts of NBS could have on hazard reduction are scarce. This paper addresses this gap by developing and validating MCDA-GIS analysis to map how potential nature strategies could mitigate flood hazard if applied within the Mun River Basin, Thailand. Through a literature review, the top three solutions for flood and drought hazards were found: wetlands, re/afforestation, and changing crop types. These strategies were reviewed and validated with a MCDA-GIS methodology, through land use change (LUC) maps to depict different future scenarios. The results found that flood hazard did decrease when NBS were implemented in the catchment, especially for A/Reforestation, and to a greater extent when a combination of NBS were applied. This article provides specific insights into the current gaps of NBS publications, specifically considering the case of the Mun River Basin, Thailand.

Key words: drought, flood hazard, flooding, land use change, MCDA-GIS, nature-based solutions

HIGHLIGHTS

- Applying nature-based solutions (NBS) to South East Asia Thailand.
- Using a MCDA-GIS and land use change modelling to assess the impact of NBS.
- Wetlands, re/afforestation, and changing crop types provide optimum solutions in mitigating flood hazard.

GRAPHICAL ABSTRACT



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY 4.0), which permits copying, adaptation and redistribution, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Contents lists available at ScienceDirect

Water Research X

journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/water-research-x

Using multi criteria decision analysis in a geographical information system framework to assess drought risk

Jessica Penny^{a,*}, Dibesh Khadka^b, Priscila B.R. Alves^c, Albert S. Chen^a, Slobodan Djordjević^a^a Centre for Water Systems, Faculty of Environment, Science and Economy, University of Exeter, Exeter, UK^b Water Engineering and Management, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, Thailand^c Stormwater Infrastructure Resilience and Justice (SIRJ) Lab, School of Architecture Planning and Preservation, University of Maryland, United States

ARTICLE INFO

Keywords:
Drought risk
Multi-criteria decision analysis
Geographical information systems
Thailand
Land use change

ABSTRACT

In this study we use the Mun river basin to demonstrate how a Multi Criteria Decision Analysis – Geographical Information Systems (MCDA-GIS) methodology can be used to assess drought risk. This paper not only provides a step forward in considering other elements such as land use change, climate within drought risk but also splits annual risk across three seasons (wet, cool and hot), previously not done. We also investigate how land use change, in the form of a/ reforestation and changing crop varieties could potentially mitigate future risk.

MCDA rankings from experts found that climatic factors such as rainfall, evapotranspiration and maximum temperature were the most significant. By splitting up the seasons we have been able to observe the temporal and spatial changes in drought risk at an increased detail, an important step in mitigating water security issue in the future. Results for cool months found an increased risk in the north and east (Surin, Si Sa Ket and Rio Et). With hot months finding increased risk in the east (Surin and Si Sa Ket especially) and west in Nakhon Ratchasima. Whereas the wet season risk was greatest in the West (Nakhon Ratchasima, Khon Kean and Mara Sarakhom). Differences in future land use scenarios compared to 2017 found that if current trends continued (BAU), the areas at risk from drought will increase. However, by changing land use in the form of a/ reforestation (COB) or changing crop types (PRO), drought risk will decrease. Thus, the MCDA-GIS methodology serves as a great starting point, providing a high flexibility in data, meaning the methodology can readily applied to other case studies across the world.

Introduction

Drought risk and future drought risk

The earth is under serious environmental threats (Ozturk and Batuk, 2011), one of which is drought. Influenced by natural and anthropogenic factors, droughts are widespread causing economic, social and environmental losses (Prabnakorn et al., 2019) they are becoming increasingly frequent across the world at national and international levels (Stampfli et al., 2018). When considering rural areas, droughts can create unfavourable conditions for crop development, affecting global water supplies and thus food security (Samu and Akintuğ, 2020; Wijitkosum, 2018) due to depleted yields (Prabnakorn et al., 2019). According to Cordão et al. (2020) long-term droughts and water scarcity are a risk for populations living in arid and semi-arid cities. Whereas water security is usually defined as the capacity to manage water

resources the 'risk' concept embraces several research areas in water resource systems: water scarcity, floods, water quality, and issues of urban water security. In agricultural terms, drought risk (also sometimes referred to as 'droughtiness') is an indicator of insufficient soil moisture to sustain plant growth, adversely affecting yield (Jones et al., 2012; Biazin and Sterk, 2013). In Thailand, according to the Department of Water Resources, the drought conditions of 2014 alone, affected an agricultural area of 6,800km², 9 million people and caused damages greater than 5000 million (US\$) (Prabnakorn et al., 2019).

Land use change and its impact on drought risk

Land Use change can be defined as the change in the earth terrestrial biosphere on global or local scale (Malek et al., 2019; Malek and Verburg, 2020; Roy Chowdhury et al., 2019). It is ultimately caused by human interventions, primarily agricultural expansion and

* Corresponding author.

E-mail address: jp606@exeter.ac.uk (J. Penny).<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100190>

Received 15 February 2023; Received in revised form 17 June 2023; Accepted 20 June 2023

Available online 24 June 2023

2589-9147/Crown Copyright © 2023 Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



Geotemas, Pau dos Ferros, RN, Brasil
ISSN: 2236-255X, v. 13, 2023.

EVENTOS EXTREMOS COMPOSTOS RELACIONADOS À ÁGUA E A CAPACIDADE ADAPTATIVA: UMA ANÁLISE ESPACIAL EM CAMPINA GRANDE/PB

Compound extreme events related to water and coping capacity: a spatial analysis in Campina Grande/PB

Eventos extremos compuestos relacionados con el agua y la capacidad adaptativa: un análisis espacial en Campina Grande/PB

Carla Caroline Alves CARVALHO – Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8796-7585>

URL: <http://lattes.cnpq.br/9780387460937797>

EMAIL: carvcarolc@gmail.com

Iana Alexandra Alves RUFINO – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4721-7197>

URL: <http://lattes.cnpq.br/7751984072554691>

EMAIL: ianaalexandra@ufcg.edu.br

Higor Costa de BRITO – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4721-7197>

URL: <http://lattes.cnpq.br/3121463726712511>

EMAIL: hgorcb@gmail.com

Priscila Barros Ramalho ALVES – University of Maryland, College Park (UMD- EUA)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3489-8552>

URL: <http://lattes.cnpq.br/4688782694423463>

EMAIL: pbralves@umd.edu

Histórico do artigo

Recebido: 18 janeiro, 2023
Aceito: 20 fevereiro, 2023
Publicado 01 junho, 2023

RESUMO

As mudanças climáticas contribuem para uma maior variabilidade e intensidade da ocorrência de eventos extremos compostos relacionados à água (secas e chuvas). O objetivo principal deste estudo é analisar espacialmente a capacidade adaptativa a eventos extremos compostos na cidade de Campina Grande, Paraíba-Brasil, que apresenta alta frequência de escassez de água e inundações. A análise espacial foi realizada a partir de uma perspectiva de resiliência urbana. Para tanto, foram aplicadas duas abordagens principais: i) suscetibilidade (espacial) a eventos extremos múltiplos e ii) índice de vulnerabilidade social (espacial). Inicialmente foram combinados dois modelos anteriores desenvolvidos para a risco ao desabastecimento de e a suscetibilidade a inundações na cidade. As áreas mais críticas de ambos os modelos são relacionadas e analisadas com um Índice de Vulnerabilidade Social, com a finalidade de avaliar a capacidade adaptativa, necessária para a construção da resiliência urbana indicando as áreas mais crítica onde a capacidade adaptativa leva a uma maior resiliência urbana. Os resultados indicam que maior suscetibilidade a eventos extremos e maiores vulnerabilidades sociais geram uma exposição mais significativa aos impactos dos perigos, ou seja, áreas com critérios hidráulicos e socioeconômicos desfavoráveis, como a não disposição de infraestrutura urbana de drenagem e baixa capacidade de reserva associadas a baixas rendas domiciliar e altas densidades demográficas. Esses

<http://periodicos.apps.uem.br/index.php/GEOTemas/index>

This is an open access article under the CC BY NC Creative Commons license

Copyright (c) 2023 Revista Geotemas