CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS COM O RISCO DE INUNDAÇÕES URBANAS NO MUNICÍPIO DE XAI-XAI - MOÇAMBIQUE (1991-2020)

CORRELATION OF CLIMATOLOGICAL VARIABLES AND THEIR RELATIONSHIP WITH URBAN FLOOD RISKS IN THE MUNICIPALITY OF XAI-XAI IN - MOZAMBIQUE (1991-2020)

CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON LOS RIESGOS DE INUNDACIONES URBANAS EN EL MUNICIPIO DE XAI-XAI, MOZAMBIQUE (1991-2020)

Zacarias Jonas Chilaúle
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Zacariaschilaule8@gmail.com

Basilio Zeloso Salvador Tamele
Universidade Save- Moçambique
bazeta2004@gmail.com

Destaques

- Moçambique apresenta elevada vulnerabilidade a ciclones tropicais, cheias, inundações e secas no contexto das mudanças climáticas.
- A pesquisa analisou variáveis climatológicas e riscos de inundações na cidade de Xai-Xai no período de 1991 a 2020.
- Os anos de *La Niña* concentram maior precipitação, enquanto os de *El Niño* são marcados por escassez de chuvas.
- A modelagem ambiental com base na regressão linear múltipla explicou 88% da variabilidade do nível hidrométrico, confirmando sua influência nas inundações urbanas em Xai-Xai.
- A pesquisa contribui para o alcance do ODS 13 ao apoiar ações de adaptação às mudanças climáticas e fortalecimento da resiliência urbana.

RESUMO

Moçambique é um país localizado no sudeste da África, altamente vulnerável a desastres naturais, especialmente ciclones, cheias e inundações, e secas prolongadas. Este artigo tem como objetivo analisar a correlação entre variáveis climatológicas e os riscos de inundações no Município da Cidade de Xai-Xai, Província de Gaza. A pesquisa baseou-se em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) e da Administração Regional de Águas do Sul (ARA-Sul), referentes ao período de 1991 a 2020, correspondente à última série meteorológica recomendada pela Organização Mundial da Meteorologia (OMM). Complementarmente, realizaram-se entrevistas semiestruturadas com moradores das áreas afetadas e observações diretas em campo, que evidenciaram a recorrência de alagamentos, falhas no sistema de drenagem e acúmulo de resíduos sólidos. Os resultados indicam que a precipitação em Xai-Xai é mais intensa durante os anos de *La Niña*, enquanto os períodos de *El Niño* se caracterizam por condições de seca. A estação chuvosa ocorre entre novembro e maio. A modelagem de risco a inundações, com base em regressão linear múltipla, mostrou-se consistente: as variáveis temperatura, precipitação e vazão explicam cerca de 88% da variabilidade do nível hidrométrico, fornecendo subsídios relevantes para o ordenamento territorial e para a educação ambiental.

Palavras-Chave: Eventos Extremos Riscos Ambientais, Inundações Urbanas; Adaptação

ABSTRACT

Mozambique is a country located in southeastern Africa and is highly vulnerable to natural disasters, particularly cyclones, floods and inundations, as well as prolonged droughts. This article aims to analyze the correlation between climatological variables and flood risks in the Municipality of Xai-Xai City, Gaza Province. The research was based on data from the National Institute of Meteorology (INAM) and the Regional Water Administration of the South (ARA-Sul), covering the period from 1991 to 2020, corresponding to the latest meteorological reference period recommended by the World Meteorological Organization (WMO). In addition, semi-structured interviews were conducted with residents of affected areas, along with direct field observations, which revealed the recurrence of flooding, deficiencies in the drainage system, and the accumulation of solid waste. The results indicate that rainfall in Xai-Xai is more intense during La Niña years, whereas El Niño periods are characterized by drought conditions. The rainy season occurs from November to May. Flood risk modeling based on multiple linear regression showed consistent results: the variables temperature, precipitation, and river discharge explain approximately 88% of the variability in hydrometric water levels, providing relevant evidence to support territorial planning and environmental education.

Keywords: Extreme Events; Environmental Risks; Urban Floods; Adaptation

RESUMEN

Mozambique es un país situado en el sureste de África, altamente vulnerable a los desastres naturales, especialmente a los ciclones, las crecidas e inundaciones, así como a las sequías prolongadas. Este artículo tiene como objetivo analizar la correlación entre las variables climatológicas y los riesgos de inundaciones en el Municipio de la Ciudad de Xai-Xai, Provincia de Gaza. La investigación se basó en datos del Instituto Nacional de Meteorología (INAM) y de la Administración Regional de Aguas del Sur (ARA-Sul), correspondientes al período comprendido entre 1991 y 2020, que coincide con la última serie meteorológica recomendada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Complementariamente, se realizaron entrevistas semiestructuradas con residentes de las áreas afectadas y observaciones directas en campo, las cuales evidenciaron la recurrencia de anegamientos, deficiencias en el sistema de drenaje y acumulación de residuos sólidos. Los resultados indican que las precipitaciones en Xai-Xai son más intensas durante los años de *La Niña*, mientras que los períodos de *El Niño* se caracterizan por condiciones de sequía. La estación lluviosa se extiende entre noviembre y mayo. La modelización del riesgo de inundaciones, basada en regresión lineal múltiple, mostró resultados consistentes: las variables temperatura, precipitación y caudal explican aproximadamente el 88 % de la variabilidad del nivel hidrométrico, proporcionando elementos relevantes para el ordenamiento territorial y la educación ambiental.

Palabras clave: Eventos extremos; Riesgos ambientales; Inundaciones urbanas; Adaptación.

INTRODUÇÃO

A costa oriental do continente africano é ciclicamente afetada por eventos naturais extremos, como inundações, ciclones tropicais e secas, cujos impactos são amplificados por níveis persistentes de pobreza, desigualdade e fragilidade institucional. Esses fatores aumentam significativamente a vulnerabilidade das zonas urbanas e costeiras, comprometendo a resiliência, a segurança e a saúde das populações (INGC, 2009). Nesse contexto, Moçambique, situado na costa oriental da África Austral, é historicamente suscetível a esses fenômenos, sendo essa vulnerabilidade intensificada pela limitada capacidade institucional de previsão e de resposta, insuficiente disseminação de informações meteorológicas e baixo conhecimento da população sobre medidas preventivas.

O crescimento urbano acelerado em Moçambique, iniciado na década de 1960 e intensificado após o período de guerra civil, resultou em populações frequentemente assentadas sem infraestrutura adequada, aumentando a exposição a

riscos socioambientais (INE, 2017). No município de Xai-Xai, capital da província de Gaza, a expansão urbana, tanto no período colonial quanto no pós-colonial, foi condicionada por eventos naturais, como cheias e secas cíclicas, que redefiniram a dinâmica urbana e ampliaram a vulnerabilidade socioambiental.

Estudos recentes indicam que populações de baixo poder aquisitivo ocuparam áreas suscetíveis a alagamentos, promovendo ocupação desordenada, acentuando desigualdades e intensificando processos de exclusão social (Dgedge,Chemana 2018; Mahumane, 2019; Boca, 2019; Chilaúle, 2023).

Apesar do crescimento urbano e da crescente ocorrência de eventos extremos, Xai-Xai ainda enfrenta desafios significativos na gestão do risco de inundações. A ocupação desordenada de áreas vulneráveis, aliada à variabilidade climática e à limitada capacidade de planejamento urbano, resulta em impactos socioambientais expressivos, como danos à infraestrutura, vulnerabilidade de populações de baixa renda e aumento das desigualdades. Compreender a correlação entre variáveis climatológicas e riscos de inundações urbanas é, portanto, essencial para subsidiar políticas públicas, planejamento urbano e estratégias de adaptação.

Este estudo busca responder às seguintes questões de investigação:

(i) Quais as variáveis climatológicas são determinantes aos riscos de ocorrência de inundações na cidade de Xai-Xai?
(ii) Quais os potenciais fatores explicam o comportamento cíclico dos eventos extremos de precipitação e inundações nesta cidade?
(iii) Quais as possíveis implicações socioambientais das inundações urbanas na área de estudo?

A pesquisa baseou-se na abordagem sistémica, considerando variáveis meteorológicas, hidrológicas, sócias económicas e ambientais, bem com adinâmica territorial e o uso do solo. O estudo contribui para a aplicação de modelos estatísticos, como regressão linear múltipla, oferecendo subsídios para a previsão de eventos extremos e para a tomada de decisão de autoridades locais.

Para alcançar os objetivos propostos e testar as hipóteses formuladas, além da introdução, este estudo está organizado em três partes. A primeira seção aborda a revisão da literatura, apresentando conceitos sobre mudanças climáticas, eventos

extremos e vulnerabilidade urbana, bem como estudos anteriores relevantes para compreender a dinâmica urbana em Moçambique. A segunda parte descreve a metodologia adotada, desde os métodos, processo de recolha, tratamento e análise de dados aos resultados. Por fim, a terceira seção está voltada à apresentação, análise e discussão de resultados e considerações finais. Também se apresenta no fim a lista das referências bibliográficas.

REVISÃO DA LITERATURA

Eventos climáticos extremos e vulnerabilidade urbana

A preocupação com o fenômeno das mudanças climáticas intensificou-se desde a revolução industrial, com a descoberta e uso intensivo de combustíveis fosseis. A demanda crescente por bens e serviços, associada ao crescimento demográfico, contribuiu para o aumento exponencial no consumo de combustíveis fosseis e, por conseguinte, dos níveis de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Dentre esses gases, destaca-se o dióxido de carbono (CO_2), que tem contribuído para a elevação da temperatura média da Terra (*Royal Society & National Academy of Sciences*, 2020).

Estudos existentes mostram que o aumento da temperatura média da terra tem impacto direto sobre os padrões de precipitação, intensificação da ocorrência de secas, cheias e inundações, tempestades e ciclones (IPCC, 2018; IEA, 2017)

O aumento progressivo da temperatura média do globo terrestre tem-se intensificado significativamente, originando desastres naturais como secas, cheias, inundações e ciclones tropicais. Esses eventos ocorrem de forma cíclica, com maior intensidade nos países africanos. Segundo IPCC (2018), os eventos extremos refletem-se na crescente instabilidade dos sistemas climáticos, regionais e globais, cujos efeitos se manifestam de forma diferenciada em função as desigualdades socioeconômicas e institucionais entre os países.

Em África, particularmente em Moçambique, o baixo desenvolvimento económico, aliado às limitações de ordem cientifica, tecnológico e institucional, tem agravado a vulnerabilidade das populações face aos eventos climáticos extremos. O (IEA,2017) aponta que a reduzida capacidade institucional de prever a ocorrência de eventos climáticos extremos, a insuficiências de infraestruturas urbanas, o déficit

planejamento físico urbano ampliam de forma significativa os impactos desses riscos, comprometendo dessa forma o desenvolvimento do país.

Para Mahumane (2019), no contexto de Moçambique, especialmente na cidade de Xai-Xai, tais alterações se manifestam pela irregularidade das chuvas e pela intensificação dos episódios de inundação, comprometendo a infraestrutura urbana e criando abertura para maior vulnerabilidade das populações locais. Dessa forma, compreender as mudanças climáticas sob a ótica do IPCC permite interpretar as inundações urbanas não apenas como fenômenos naturais, mas como expressões de um sistema climático em transformação, agravado pela ação humana e pela ocupação desordenada do espaço urbano.

Segundo o IPCC (2014), as mudanças climáticas consistem em alterações significativas do clima terrestre, resultantes tanto de processos naturais quanto, principalmente, das atividades humanas que intensificam o efeito estufa. O IPCC (2009) define eventos climáticos extremos como fenómenos meteorológicos fora do padrão esperado, incluindo secas, enchentes, ondas de calor, tempestades e ciclones. Quando afetam populações e ecossistemas, esses eventos assumem o carácter de desastres naturais. A análise dos eventos de inundações deve considerar o tempo e o espaço de ocorrência pois, como apontam Dgedge e Chemane (2018, p.88), eventos extremos inicialmente raros podem tornar-se parte do regime climático local, provocando adaptações sociais e alterando a percepção de sua excepcionalidade. Na Figura 1, apresenta-se a classificação sistemática dos eventos extremos.

Figura 1 – Classificação sistemática dos eventos extremos.



Fonte: Autores (2025).

A localização da cidade de Xai-Xai junto a costa do Oceano Índico costeira e sua proximidade do rio Limpopo e a influência de sistemas meteorológicos de grande escala, como ciclones tropicais, monções, anomalias oceânicas, criam um cenário propício à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. Mesmo quando de caráter sazonal, tais eventos mantêm um alto potencial destrutivo devido à topografia plana, à urbanização em áreas de risco e à limitada infraestrutura de drenagem. Os episódios de cheias de 2000 e 2013, desencadeados por chuvas torrenciais e pelo transbordamento do Limpopo, ilustram a materialização das probabilidades descritas pelo IPCC, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e da implementação de políticas de mitigação adaptadas às condições locais.

VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA EM CONTEXTOS DE RISCO

Vários estudos apontam que as mudanças climáticas têm vindo a intensificar a ocorrência de eventos climáticos extremos, aumentando significativamente os riscos associados à ocupação humana em zonas consideradas de maior vulnerabilidade. Neste contexto, a análise da vulnerabilidade socioambiental, torna-se necessário para compreender como os fatores físicos e humanos influenciam na ocorrência dos riscos ambientais, especialmente em zonas de planícies de inundação, regiões de baixas altitudes, áreas úmidas e bacias naturais de retenção de águas. Tais resultados permitem identificar melhores estratégias aadotar para a mitigação e adaptação de riscos aos fenômenos climáticos e, por conseguinte, reduzir a vulnerabilidade e promover a resiliência no contexto das alterações climáticas.

Tomando como exemplo a cidade de Xai-Xai, pode-se afirmar que a vulnerabilidade socioambiental observada não está somente associada aos eventos climáticos extremos, mas também à forma como o espaço é concebido e produzido ao longo do tempo. O risco, entendido como a percepção individual ou coletiva da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente danoso, depende diretamente da vulnerabilidade intrínseca das pessoas e comunidades (Veyret, 2007, p.67). Assim, em Xai-Xai, onde parte significativa da população vive em áreas de risco devido a fatores socioeconômicos e limitações no planejamento urbano, a probabilidade de danos

frente a inundações é elevada. Embora risco e perigo sejam frequentemente confundidos, seus significados diferem: o risco refere-se à probabilidade de ocorrência de um processo, enquanto o perigo representa a ameaça potencial em si (Almeida, 2012, p.101).

Nesse sentido, a falta de um planejamento urbano eficaz, associada degradação ambiental, ausência de sistemas adequados de drenagem fluvial e de outras infraestruturas urbanas de contenção das águas, contribui para a propagação dos riscos de inundações, resultando em danos significativos sobre às infraestruturas como estradas, pontes, habitações, além perda de vidas humanas e animais, incluindo culturas agrícolas, entre outros impactos. Dessa forma, a área de estudo afigura-se como um espaço geográfico de elevada vulnerabilidade urbana onde os fatores humanos e naturais se interligam para ampliar os riscos socioambientais.

Diante desse quadro, a adaptação climática emerge como elemento essencial para reduzir a exposição e fortalecer a resiliência das populações. Isso implica não apenas a adoção de medidas estruturais, como a melhoria dos sistemas de drenagem, o ordenamento territorial e o reassentamento de famílias em áreas seguras, mas também estratégias sociais e institucionais voltadas à educação ambiental, ao fortalecimento comunitário e à gestão integrada do risco. A adaptação, portanto, não deve ser entendida apenas como resposta técnica aos impactos das mudanças climáticas, mas como um processo contínuo de reorganização territorial e social, que busca compatibilizar o desenvolvimento urbano com os limites ecológicos e climáticos do ambiente local.

PREVISÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS

A previsão de eventos extremos climáticos baseia-se na aplicação de diferentes abordagens metodológicas que integram variáveis meteorológicas, hidrológicas e físicas do território, permitindo simular a ocorrência, intensidade e frequências desses eventos. De modo geral, esses métodos combinam modelos determinísticos, estatísticos e numéricos, que utilizam dados como precipitação, temperatura, vazão, topografia, geomorfologia e características dos solos para representar os processos atmosféricos e hidrológicos responsáveis por cheias, inundações e ciclones (Skamarock*et al.,* 2019).

Modelos hidrológicos e hidrodinâmicos permitem simular a resposta das bacias hidrográficas aos eventos de precipitação, enquanto modelos numéricos atmosféricos possibilitam a análise espacial e temporal da chuva (Woolhiser*et al.,*1990; USASE, 2018). Complementarmente, técnicas estatísticas, como a regressão linear múltipla e a teoria de valores extremos, são amplamente utilizadas para identificar relações entre variáveis climáticas e hidrológicas, bem como para estimar a probabilidade de ocorrência de eventos raros e seus períodos de retorno (Coles, 2001; Katz *et al.,* 2002).

No entanto, a escolha do método depende da disponibilidade de dados, da escala de análise e dos objetivos do estudo, sendo comum a combinação de diferentes modelos para reduzir as incertezas e subsidiar o planejamento territorial e a gestão do risco climático. Na Tabela 1, faz-se a comparação de alguns modelos mais usados para a previsão de eventos extremos.

Tabela 1 – Comparação de alguns modelos mais usados na previsão de eventos extremos.

Modelo	Variáveis de entrada	Limitações	Vantagens
Modelo *Kineros* (modelo hidrológico de chuva-vazão-erosão)	Precipitação; Temperatura e; Permeabilidade dos solos.	▪ Dificuldade de uso com grande volume de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais.	▪ Viável ao acoplamento com o Sistema de Informações Geográficas (SIG). ▪ Pode ser usado também na simulação de eventos contínuos de chuva-vazão em bacias hidrográficas de cerca de 40 km^2.
Modelagem Hidrodinâmica	Precipitação	▪ Sujeita a limitações, devido as diversidades de atividades humanas, diferenças culturais, entre outros, ▪ Menos precisos na simulação de eventos extremos de ciclones e cheias, por depender dos dados da série metrológica ou climática.	▪ Os resultados podem gerar situações ou ações desejadas para a população no sentido de padronizar/ conscientizar os envolvidos e adotar ações de planificação para minimização de riscos.

Modelagem hidrológica (HEC-HMS) e hidrodinâmica (HEC-RAS)	Geomorfologia, topografia, rede de drenagem e precipitação média anual.	▪ A integração do SIG com os modelos hidrológicos e a sua aplicação em bacias hidrográficas não facilitam a realização de muitas operações, como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos.	▪ Permite a identificação das áreas atingidas pelas inundações urbanas, para diferentes períodos de retorno dos eventos de precipitação máxima registrados na área de estudo. ▪ Fornece informação espacial e graduada sobre o nível das águas numa determinada área.
Modelo conceitual concentrado e Modelo hidrodinâmico.		▪ Associa parâmetros físicos que não foram mensurados ao modelo, como o armazenamento em depressão.	▪ Permite fazer algumas adaptações metodológicas: no lugar de uma calibração tradicional, permite o uso de uma lista de parâmetros hidrológicos predefinidos do modelo.
Modelo numérico WRF	Área da bacia e topografia da bacia.	▪ Limita-se somente em trabalhar com dados da precipitação e deixa do lado os valores mínimos e máximos da temperatura, uma vez que a temperatura afeta diretamente a precipitação de uma determinada região.	▪ Permite agrupar maiores números de dados cumulativos diários da precipitação.
Regressão Linear Múltipla (RLM)	Precipitação, temperatura, vazão, nível hidrométrico e intensidade/indicador de inundação.	▪ Assume linearidade Fraca para eventos extremos raros Sensível à multicolinearidade.	▪ Simples de implementar ▪ Baixo custo computacional ▪ Fácil interpretação para decisores.
Teoria de Valores Extremos (GEV / POT)	Chuvas / vazões extremas, períodos de retorno.	▪ Necessita séries longas ▪ Alta incerteza com poucos dados.	▪ Ideal para planeamento e risco ▪ Foco direto nos extremos.

Fonte: Coles, 2001; Katz *et al.,* 2002;Skamarock*et al.,*2019; Woolhiser*et al.,* 1990, USACE, 2018)

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Dos Muchangos (1999), a Cidade de Xai-Xai situa-se no extremo sul da Província de Gaza, Moçambique, com uma superfície aproximada de 139 km², entre os paralelos 24º59'53'' S e 25º06'37'' S e os meridianos 33º36'55'' E e 33º45'22'' E. É limitada a norte pelo rio Limpopo e a Baixa de Ponela, ao sul pelo Oceano Índico, a oeste pelos distritos de Chicumbane e Chilaulene (Distrito do Limpopo) e a leste pelo Distrito de Chongoene, conforme ilustra a Figura 2.

A posição geográfica e a baixa altitude conferem à cidade elevada suscetibilidade a inundações. O relevo da cidade caracteriza-se por uma planície de baixa altitude, variando entre 5 e 15 metros acima do nível do mar, formada por depósitos arenosos e dunas pouco consolidadas do período quaternário. Essa morfologia, combinada à baixa declividade e à proximidade do estuário do rio Limpopo, torna a área naturalmente suscetível a inundações, alagamentos e erosão, sobretudo durante o período chuvoso. O clima tropical úmido apresenta uma estação chuvosa entre novembro e abril e uma estação seca de maio a setembro, com precipitação média anual entre 800 e 1.200 mm e temperaturas médias que oscilam entre 22 °C e 30 °C (INE, 2017).

Figura 2– Localização geográfica da CidadedeXai-Xai.



Fonte: Autores, 2026

O relevo da cidade caracteriza-se por uma planície de baixa altitude, variando entre 5 e 15 metros acima do nível do mar, formada por depósitos arenosos e dunas pouco consolidadas do período quaternário. Essa morfologia, combinada à baixa declividade e à proximidade com o estuário do rio Limpopo, torna a área naturalmente suscetível **a** inundações, alagamentos e erosão, sobretudo durante o período chuvoso. O clima tropical úmido apresenta uma estação chuvosa entre novembro e abril e uma estação seca de maio a setembro, com precipitação média anual entre 800 e 1.200 mm e temperaturas médias que oscilam entre 22°C e 30°C.(INE, 2017).

Quanto aos sistemas meteorológicos locais e regionais atuantes na região sul de Moçambique, em particular na Cidade de Xai-Xai, destacam-se os centros de baixa pressão em determinadas épocas do ano, os quais influenciam a circulação de massas de ar e a distribuição de chuvas no sul do país. Além disso, padrões de temperatura da Superfície do Mar (TSM), monções, ciclones tropicais no Oceano Índico e os fenômenos globais *El Niño* e *La Niña* afetam diretamente a intensidade e a variabilidade das precipitações e das temperaturas (Dos Muchangos, 1999,p.77).

No nível local, a cidade de Xai-Xai apresenta clima tropical úmido do tipo Aw (Köppen), influenciado pela circulação do Canal de Moçambique e por anticiclones que modulam os ventos sazonais. Durante os eventos de *El Niño*, o sul do país tende a registrar períodos de seca, enquanto *La Niña* aumenta a frequência de chuvas intensas. A conjugação dessas condições climáticas com o relevo predominantemente plano, a geomorfologia das planícies fluviais e o uso do solo urbano intensifica a vulnerabilidade da cidade a inundações e outros eventos extremos (Mahumane, 2019, p. 55).

A base econômica da área de estudo assenta-se na agricultura de subsistência, com destaque para o cultivo de arroz, milho, mandioca e hortícolas nas margens férteis do rio Limpopo. Essa prática, embora essencial para a segurança alimentar local, é fortemente vulnerável a cheias e à variabilidade climática. Paralelamente, o comércio informal desempenha papel central na economia urbana, garantindo renda e ocupação a uma parcela expressiva da população, especialmente às mulheres e jovens.

Do ponto de vista urbano e ambiental, a cidade apresenta um crescimento acelerado e desordenado, com ocupações em áreas de risco e deficiências em infraestrutura de drenagem e saneamento. Esse cenário evidencia uma elevada

vulnerabilidade socioambiental**,** agravada pela ocorrência recorrente de eventos climáticos extremos. Assim, compreender as particularidades geográficas e socioeconômicas de Xai-Xai é fundamental para fundamentar estratégias de adaptação climática e planejamento urbano sustentável, sobretudo em face das projeções do IPCC (2014) e das observações locais sobre o agravamento das inundações.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance do objetivo principal deste estudo, adotou-se uma abordagem quantitativo-qualitativa, adequada à análise integrada de variáveis climatológicas e seus impactos socioespaciais no contexto urbano, como é o caso da cidade de Xai-Xai. Essa abordagem justifica-se por permitir compreender que os eventos climáticos extremos como inundações, não se explicam apenas por variáveis físicas, mas também pelas variáveis sociais, incluindo formas de uso e ocupação do solo, percepção social e as estratégias de adaptação e mitigação de riscos pelas populações residentes em áreas vulneráveis.

COLETA DE DADOS

Esta pesquisa baseou-se em dados históricos de variáveis climatologias de precipitação, temperatura do ar e vazão, obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique - Delegação de Gaza (INAM-Gaza), referentes ao período entre 1991 e 2020. Adicionalmente, para compreender a vulnerabilidade socioambiental às inundações pelas famílias, foram realizadas algumas entrevistas na cidade de Xai-Xai.

Foram aplicadas entrevistas semiestruturadas a 30 pessoas, que incluindo Chefes dos Postos Administrativos, técnicos do município, membros dos comités locais de gestão de riscos e desastres naturais e moradores, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 –População e amostra usada nesta pesquisa.

Categoria	Universo	Amostra
Chefes do Postos Administrativo	5	5
Técnicos do município	10	5
Membros dos comités locais de gestão de riscos e desastres naturais	50	5
Moradores	141.963	15
Total		**30**

Fonte: Elaborado pelos autores (2025) com base em dados do documento Diagnóstico Integrado de Infraestruturas e Serviços Básicos para os Municípios da Província de Gaza(MOÇAMBIQUE, 2020).

O critério usado a escolha dos elementos a inquerir consistiu essencialmente em o participante ser nativo da área de estudo, possuir uma idade superior a 18 anos e ter vivenciado, no mínimo, mais de um evento de inundações. De acordo com o INE (2017), a Cidade de Xai-Xai possui um Índice de Vulnerabilidade Social "Elevado". Essa classificação deve-se ao facto de se localizar numa planície fluvial da bacia do rio Limpopo, apresentar topografia baixa, baixo Índice de Desenvolvimento Humano, elevadas taxas de desemprego, fraca cobertura de rede de saneamento e esgoto e recorrência de eventos de alagamentos nas épocas chuvosas.

As entrevistas decorreram no período de 10 a 25 de agosto de 2025, de forma presencial, respeitando os princípios éticos de consentimento infirmando. Cada entrevista teve duração de 30 a 45 minutos, abordando históricos de ocorrência de inundações, percepção social sobre riscos, impactos socioeconômicos, razões para permanência em áreas de risco e estratégias individuais e coletivas de adaptação.

ANÁLISE DE DADOS

A componente quantitativa baseou-se na análise de dados hidro climatológicos de precipitação, temperatura, vazão e nível hidrométrico, referente ao período de 1991-2020. Os dados foram tratados estatisticamente por meio de técnica descritiva e de inferência, incluindo médias, variabilidade sazonal e testes estatísticos, com destaque para Análise de Variância (ANOVA). A ANOVA foi utilizada para aferir a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias das variáveis em diferentes períodos da série analisada, permitindo identificar padrões temporais relevantes.

Complementarmente, aplicou-se o teste F associado à ANOVA para avaliar a significância das variáveis observadas (Triola, 2017.p. 77). Para a estimativa da variabilidade da precipitação, recorreu-se ao Indice de Anomalia da Chuva (IAC), conforma ilustram as equações 1 e 2, descritas por Freitas (2010). A Equação 1, ajuda na identificação das anomalias positivas ou anos chuvosos, enquanto que a Equação 2 permite identificar as anomalias negativas (anos secos).

$$IAC_{positivo} = 3\frac{P-\bar{P}}{M-\bar{P}} \quad (1)$$

$$IAC_{negativo} = -3\frac{P-\bar{P}}{\bar{m}-\bar{P}} \quad (2)$$

Onde: **P** é a precipitação anual observada; $\bar{P}$é a precipitação média anual da série histórica;Mé a média das dez maiores precipitações anuais;$\bar{m}$ é a média das dez menores precipitações anuais.

A classificação dos resultados segue os intervalos propostos por Freitas (2010), de "extremamente seco" a "extremamente chuvoso", conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

IAC	Classificação
Acima de 4	Extremamentechuvoso
2 a 4	Muitochuvoso
0 a 2	Chuvoso
0 a -2	Seco
-2 a -4	Muito seco
Abaixo -4	Extremamente seco

Fonte: Freitas (2010).

MODELAGEM DE RISCOS DE INUNDAÇÕES

Para analisar a relação entre variáveis climatológicas e os riscos de inundações, foi utilizada a regressão linear múltipla, considerando como variável dependente o nível hidrométrico (Y) e como variáveis independentes a precipitação (P), a temperatura (T) e o caudal (Q). A Equação 3 representa o modelo de regressão linear múltipla.

$$Y = \alpha + \beta_i * T + \beta_{ii} * P + \beta_{iii} * Q + \varepsilon$$

Onde:

- **Y** é o nível hidrométrico (inundações);
- **T** é a temperatura média anual do ar (°C);
- **P** é a precipitação total anual (mm);
- **Q** é o caudal médio anual (m^3/s);
- **A** é o intercepto;
- β_i, β_{ii}, β_{iii} são os coeficientes de regressão, a estimar;
- **ε**éoerro residual.

Os coeficientes foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MMQ)**,** utilizando o pacote estatístico Microsoft Excel 2019**.**

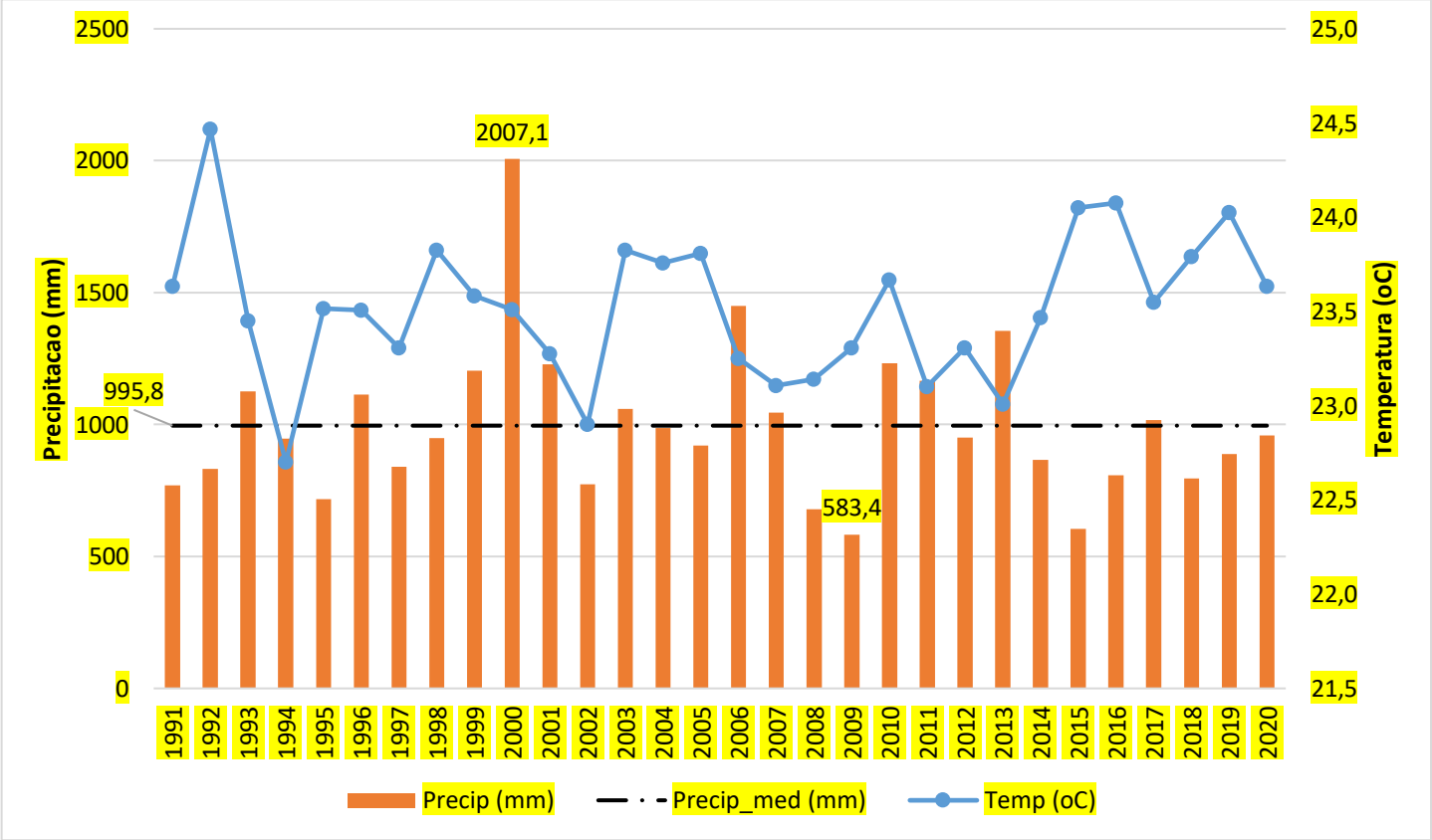
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade da precipitação na cidade de Xai-Xai (1991–2020)

A análise dos resultados do IAC mostra que, a Cidade de Xai-Xai apresenta um clima tropical húmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de novembro a abril com pico em janeiro, e uma seca, predominante entre maio e outubro. Observa-se, entretanto, que mesmo durante a estação seca ocorrem precipitações localizadas devido à proximidade do Oceano Índico, à presença das dunas costeiras e a efeitos orográficos discretos, que contribuem para chuvas pontuais.

A análise do Gráfico 1 indica que a precipitação média anual da cidade de Xai-Xai situa-se em torno de 1 000 mm, com temperaturas médias anuais entre 22,5 °C e 23 °C. Os extremos de precipitação registrados variam de 995,8 mm a 2 007,1 mm, sendo o valor máximo observado no ano 2000. Esses dados evidenciam uma variabilidade significativa da precipitação, com implicações diretas para a agricultura, principal atividade económica local, e para o planejamento urbano frente a riscos de inundações.

Gráfico 1– Padrão interanual da precipitação e temperatura (1991–2020) – Cidade de Xai-Xai.



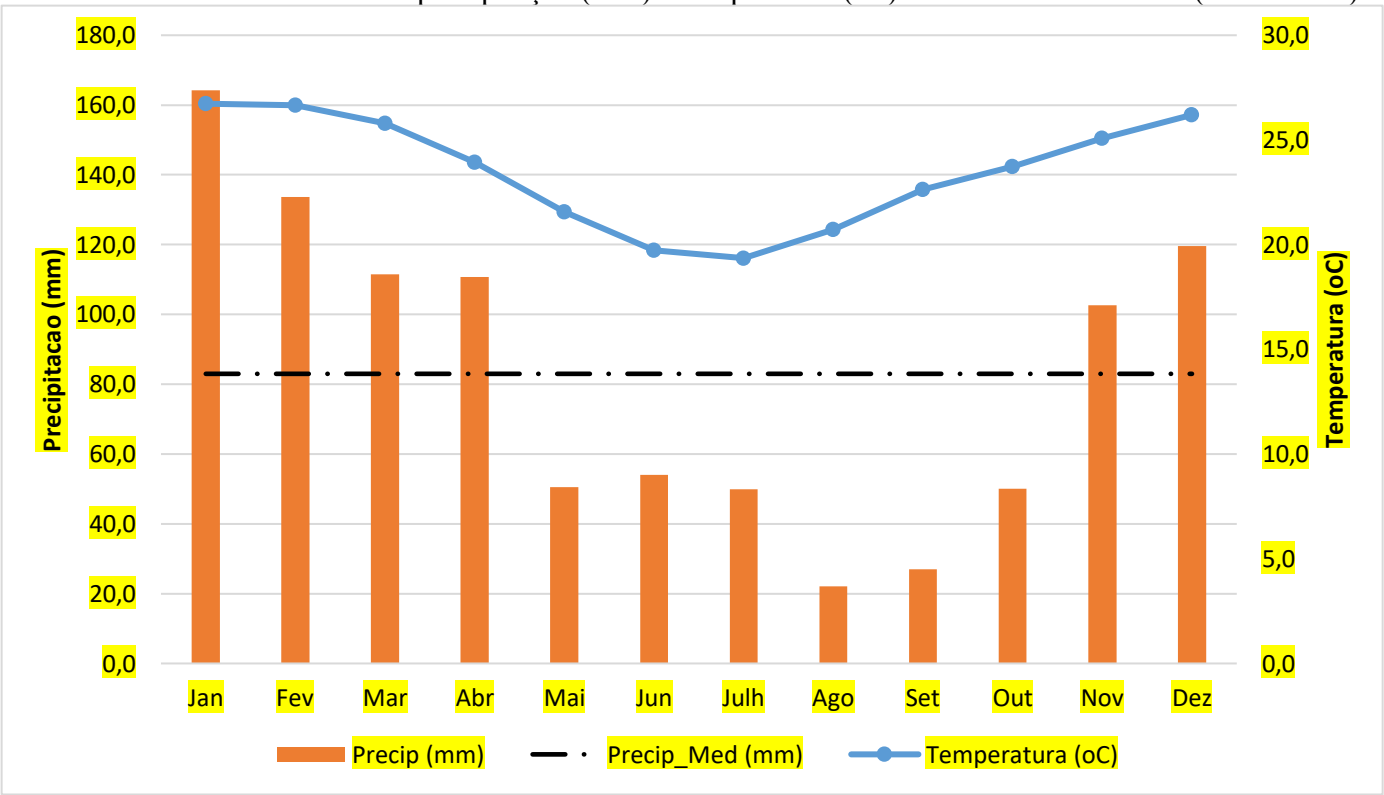
Fonte: Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do INAM (2025).

O Gráfico 2 confirma o padrão sazonal de precipitação na cidade de Xai-Xai, com janeiro como o mês mais chuvoso e agosto como o mais seco. A análise histórica mostra que a estação chuvosa se inicia em novembro, atinge o pico em janeiro e se estende até maio, concentrando os maiores volumes de chuva. Esses dados indicam a necessidade de adoção de estratégias de planejamento urbano e agrícola, ajustadas à realidade local, capazes de reduzir os impactos de eventos extremos, como inundações.

Compreender a variabilidade interanual e sazonal da precipitação é essencial para a gestão de riscos ambientais e a resiliência socioambiental. Episódios concentrados de chuvas intensas, especialmente nos meses de pico, aumentam rapidamente o escoamento superficial das águas em áreas urbanizadas e pouco permeáveis. A combinação entre o relevo plano, chuvas intensas e sistemas de

drenagem deficientes amplia a probabilidade de alagamentos, mesmo quando os totais anuais de precipitação não são excecionalmente elevados.

Gráfico 2 – Padrão sazonal da precipitação (mm) e temperatura (°C) na Cidade de Xai-Xai (1991–2020).



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do INAM (2025).

CORRELAÇÃO DAS VARIAREIS CLIMATOLÓGICAS COM O RISCO DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE XAI-XAI

Os resultados da correlação entre as variáveis climatológicas e a ocorrência de riscos de inundações são apresentados na Tabelas4 e 5, com base na aplicação da Análise de Variância (ANOVA). A ANOVA constitui um método estatístico amplamente utilizado para avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias de dois ou mais grupos, permitindo identificar se a variabilidade observada nos dados resulta de diferenças reais entre os grupos analisados ou se pode ser atribuída ao acaso (Seber; Wild, 2003).

No presente estudo, a aplicação da ANOVA possibilitou analisar a relação entre as variáveis climatológicas e a variabilidade dos eventos de inundação, contribuindo para a identificação dos fatores com maior influência na intensificação desses riscos. Complementarmente, os impactos das inundações foram ilustrados por meio de registos fotográficos obtidos em trabalho de campo, os quais permitem uma melhor visualização espacial e empírica dos efeitos associados aos eventos de precipitação, particularmente no contexto das mudanças climáticas.

Tabela 4 – Resumo da análise de Regressão Linear Múltipla – ANOVA e *F-test.*

Regression Statistics	
Multiple R	0,93720
R Square	**0,87834**
Adjusted R Square	0,85027
Standard Error	0,78656
Observations	17

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	3	58,06712	19,35571	31,28570	0,00000
Residual	13	8,04279	0,61868		
Total	16	66,10991			

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Tabela 5 – Resultado da análise de correlação entre o nível hidrométrico e as variáveis independentes.

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95,0%*	*Upper 95,0%*
Intercept	-14,39817	15,35319	-0,93780	0,36545	-47,56673	18,77038	-47,56673	18,77038
T	0,79892	0,63626	1,25563	0,23135	-0,57565	2,17348	-0,57565	2,17348
P	0,00064	0,00089	0,71288	0,48852	-0,00129	0,00257	-0,00129	0,00257
Q	0,00031	0,00003	9,59289	0,00000	0,00024	0,00037	0,00024	0,00037

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Os resultados da modelagem (MRLM), mostram que, em geral existe uma evidência estatística de que pelo menos uma variável independente está relacionada com as inundações pois, o valor do teste F é estatisticamente significativo (~0000). Os valores de R^2 e R^2 ajustado, mostram que cerca de 80% das variações no nível hidrométrico são explicadas pelas variáveis escolhidas nesta análise.

Por isso, o modelo obtido pode ser usado para a previsão do fenômeno das inundações em Xai-Xai. Embora as variáveis temperatura, precipitação e vazão, em conjunto, expliquem cerca de 88% da variabilidade do nível hidrométrico, apenas a vazão apresentou significância estatística individual ($p < 0,05$). Este resultado evidencia que as inundações urbanas em Xai-Xai estão mais diretamente associadas ao comportamento hidrológico do rio Limpopo do que exclusivamente à precipitação local, reforçando a influência de fatores a montante da bacia e da dinâmica fluvial regional, visto que a bacia do Limpopo possui dimensão transfronteiriça.

A análise individualizada das variáveis independentes constatou que há evidências estatísticas da relação entre o caudal e as inundações urbanas, pois o valor-p associado a Q é inferior a 0,05. Porém, os valores-p associados à temperatura e à precipitação são superiores a 0,05, não havendo, portanto, evidências estatísticas da sua relação com as inundações (nível hidrométrico).

Embora as três variáveis independentes (T, P e Q) em conjunto expliquem cerca de 80% da variabilidade do nível hidrométrico, este valor ainda pode ser melhorado caso outras variáveis, tais como a humidade do solo, sejam consideradas no modelo. Os coeficientes do modelo foram estimados em: $\alpha = -14,39817$, $\beta_1 = 0,79892$, $\beta_2 = 0,00064$ e $\beta_3 = 0,00031$. Assim, o modelo de previsão do nível hidrométrico (inundações) para a cidade de Xai-Xai é representado pela Equação 3.

$$\bar{y} = -14,39817 + 0,79892 \cdot T + 0,00064 \cdot P + 0,00031 \cdot Q \quad (3)$$

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL AOS RISCOS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE XAI-XAI

Os registos fotográficos dialogam diretamente com os relatos dos moradores afetados pelos eventos de inundações na época chuvosa. Entre os fatores apontados pelos entrevistados como determinantes para o agravamento da vulnerabilidade às

inundações, destacam-se: a baixa topografia, a falta de sistemas de drenagem, a ausência de infraestruturas urbanas adequadas, a ocupação de zonas húmidas e/ou de bacias naturais de retenção das águas, bem como a deposição inadequada de resíduos sólidos.

A centralidade da topografia como fator de risco é recorrente nos depoimentos, conforme expressa o entrevistado E1. Para E1, "O bairro 3 da Cidade de Xai-Xai enfrenta problemas sérios de inundações. Estamos no ponto mais baixo da cidade e, quando chove, o meu quintal fica todo alagado. Gostaria de me transferir para um bairro melhor, sobretudo para a zona alta, mas atualmente não é fácil adquirir espaços, visto que tenho fraco poder aquisitivo" (E1).

Conforme ilustram as Figuras 3 e 4, a ausência de drenagem pluvial em vias públicas, contribui significativamente para o agravamento das inundações, dificultando o escoamento superficial das águas e favorecendo a sua estagnação.

Figuras 3 e 4 – Alagamentos recorrentes em vias urbanas associadas a baixa topografia e à insuficiência dos sistemas de drenagem na Cidade de Xai-Xai.



Fonte :Autores, 2025.

A ausência de um sistema eficaz de drenagem das águaspluviais, associado à deposição inadequada de resíduos sólidos, conforme ilustrado nas figuras 5 e 6, destacaram-se no presente estudo como um dos fatores de agravamento das inundações na área de estudo.Os problemas acima mencionados não se restringem as limitações estruturais do sistema urbano, este encontra - se igualmente associado à fragilidade de educação ambiental por parte dos moradores locais e dificuldades na gestão de resíduos

solos urbanos. A educação ambiental constitui assim um papel central na construção da cidadania ambiental ativa e adoção de práticas sustentáveis.

Conforme SILVA DIAS,(2014), a Educação ambiental é um processo que através da qual os indivíduos e a coletividade tomam consciência sobre a relevância de preservação ambiental, mitigando assim os problemas ambientais tanto no presente quanto no futuro. Do exposto torna-se urgente a criação de políticas públicas voltadas a educação ambiental e a melhoria da gestão integrada dos resíduos sólidos, abrindo caminho para a construção de uma cidade mais resilientes face aos riscos ambientais.

Figura 5 e 6 –Ausência de drenagem pluvial e deposição inadequada de resíduos sólidos como fatores de agravamento das inundações urbanas em Xai-Xai.



Fonte: Autores, 2025.

As imagens analisadas corroboram a perceção dos técnicos da Vereação do Planeamento Físico, Urbano e Ambiente do Município da Cidade de Xai-Xai, segundo os quais, apesar da existência de sistemas de drenagem, estes permanecem insuficientes para responder à intensidade e recorrência dos eventos pluviais, resultando em alagamentos frequentes e danos às habitações localizadas em bairros de baixa altitude (E6). Essa limitação estrutural é agravada por características físico-naturais do meio, como a baixa declividade, a reduzida permeabilidade dos solos e a predominância de substratos argilosos, que dificultam a infiltração das águas. Associada à má drenagem e ao acúmulo inadequado de resíduos sólidos, essa condição favorece a estagnação da

água, ampliando riscos sanitários e a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, conforme relatado pelos moradores (E5; E9).

Os depoimentos evidenciam que os impactos das inundações afetam diretamente a mobilidade, o acesso a serviços essenciais, a segurança alimentar e a qualidade de vida, incidindo de forma mais severa sobre as populações de baixa renda residentes em áreas baixas e ambientalmente frágeis. A permanência dessas populações em áreas de risco não decorre apenas de escolhas individuais, mas está condicionada por fatores socioeconómicos, como limitações financeiras, herança familiar, acesso restrito a terrenos seguros e proximidade de atividades produtivas desenvolvidas na planície do rio Limpopo, como agricultura, pesca, artesanato e pecuária. Essa realidade confirma estudos que associam a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis à pobreza e à desigualdade social (Dgedge e Chemane,2018), bem como interpretações que compreendem a vulnerabilidade socioambiental como socialmente produzida, resultante da desigualdade socioeconómica, do uso inadequado do solo e da ausência de políticas públicas eficazes de ordenamento territorial (Santos, 2009). As Figuras 7 e 8 ilustram residências alagadas durante eventos de precipitação intensa, evidenciando os impactos diretos das inundações sobre o saneamento ambiental e a saúde da população nos bairros estudados.

Figuras 7 e 8 – Inundações em áreas residenciais e riscos à saúde pública associados à permanência da população em áreas baixa em Xai-Xai.



Fonte: Autores, (2025).

PRINCIPAIS RAZÕES PARA A PERMANÊNCIA DAS FAMÍLIAS EM ÁREAS DE RISCO

De acordo com os entrevistados, a permanência em zonas de risco, está associada a múltiplos fatores, destacando-se a herança familiar, a atividade agrícola desenvolvida na planície do rio Limpopo, a proximidade aos serviços urbanos e as limitações socioeconómicas, sendo estas últimas as mais recorrentes. Resultados semelhantes são apresentados por Chilaule (2023), ao destacar que a ausência de políticas públicas eficazes de reassentamento e de melhoria das infraestruturas reforça a permanência das populações em áreas suscetíveis a inundações, conforme se observa nos depoimentos apresentados a seguir:

- "Este espaço onde vivo foi-me dado pelos meus pais, que o herdaram dos meus avós. Trata-se de uma herança familiar e, mesmo que um dia eu já não esteja em vida, os meus filhos continuarão a viver aqui". (E16)
- "Os meus avós tinham machambas nesta área e, com o crescimento da cidade, o município foi atribuindo parcelas de terra a outros cidadãos. Nós, que já utilizávamos essas machambas, acabámos por permanecer apenas com uma parte do espaço". (E7).
- "O Bairro 1 da Cidade de Xai-Xai é um bairro considerado bom, por estar localizado próximo dos serviços básicos ". (E13)
- "Optei por viver na zona de Bilene porque prático agricultura e criação de gado, uma vez que os solos são férteis e favoráveis à prática agrícola". (E11)
- "Se estou a viver nesta zona é porque não tenho outro local para onde ir; com os recursos financeiros de que dispunha, apenas foi possível adquirir um terreno neste bairro". (E10)

Os depoimentos dos moradores e as evidências visuais observadas em campo corroboram os resultados da modelagem estatística, ao demonstrarem que as inundações urbanas em Xai-Xai não resultam apenas da intensidade das chuvas, mas também da elevação do nível hidrométrico do rio Limpopo, da ocupação de áreas de baixa cota e da insuficiência das infraestruturas de drenagem. Essa convergência entre dados quantitativos e qualitativos reforça a consistência da análise e evidencia a complexidade dos riscos socioambientais na área de estudo.

LIMITAÇÕES E FUTURAS PESQUISAS

A escassez de dados climatológicos ao longo da série analisada constituiu uma das principais limitações do estudo, influenciando a consistência do modelo aplicado. Soma-se a isso a reduzida disponibilidade de estudos nacionais que utilizem modelos estatísticos na modelagem de riscos de inundações, o que limita comparações mais amplas.

Nesse sentido, a presente pesquisa abre espaço para investigações futuras que avaliem a influência individual de cada estação de monitoramento da precipitação e da cota altimétrica do rio Limpopo. Recomenda-se, ainda, que estudos subsequentes baseados no modelo de regressão linear múltipla incorporem variáveis climatológicas adicionais, como características do solo, evapotranspiração e balanço hídrico climatológico da Cidade de Xai-Xai.

A aplicação de outras ferramentas estatísticas, como a correlação parcial associada ao modelo linear múltiplo, poderá permitir uma análise mais precisa do efeito individual de cada estação pluviométrica nos níveis hidrométricos, tanto em escala local quanto regional. Por fim, destaca-se o potencial do uso do geoprocessamento ambiental, por meio do zoneamento geográfico, como ferramenta complementar para a gestão dos impactos das inundações e dos recursos naturais na área de estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa analisou a correlação entre variáveis climatológicas e o risco de inundações no Município da Cidade de Xai-Xai, Moçambique, com o objetivo de compreender os fatores que contribuem para a ocorrência de inundações urbanas. A abordagem quantitativa baseou-se na análise estatística de variáveis como temperatura, precipitação, vazão e nível hidrométrico.

A modelagem de risco, por meio da regressão linear múltipla, mostrou-se consistente e aplicável à previsão dos níveis hidrométricos, explicando cerca de 88% da variabilidade observada, com significância estatística apenas para a vazão. Os resultados indicaram que, embora a precipitação e a temperatura apresentem relação positiva com

o nível hidrométrico, apenas o caudal mostrou significância individual, sendo recomendada a inclusão de variáveis adicionais para aprimorar o modelo.

A vulnerabilidade socioambiental em Xai-Xai resulta da combinação de fatores sociais, políticos e econômicos, que condicionam a ocupação de áreas naturalmente suscetíveis a inundações, influenciada por processos históricos, culturais e pelo conhecimento local acumulado. As inundações recorrentes têm provocado impactos negativos sobre a agricultura, comprometendo a segurança alimentar, além de danos à infraestrutura urbana, como escolas, hospitais e vias de acesso. O estudo também evidenciou fragilidades institucionais na previsão e gestão de eventos extremos, reforçando a necessidade de planejamento urbano estratégico, expansão da infraestrutura hidráulica e fortalecimento de estratégias locais de adaptação, com destaque para o papel dos comitês locais de gestão de riscos.

Apesar dos desafios, a população demonstra forte sentimento de pertencimento e resiliência, permanecendo nas áreas de risco. Os resultados oferecem subsídios relevantes para integrar conhecimento local, ciência e planejamento urbano, visando à mitigação dos riscos e à redução da vulnerabilidade socioambiental em Xai-Xai.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. (Coleção PROPG Digital - UNESP). ISBN 9788579832895.

AYOADE, J. O.**Introdução à climatologia para os trópicos.** 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 332 p. ISBN 978-85-286-0427-6.

BOCA, Nogar T. **As mudanças da paisagem e sua influência na dinâmica da erosão na cidade de Xai-Xai.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra e Ambiente) – Universidade Pedagógica, Maputo, 2019.

BUTZKE, Ivani C.**Ocupação de áreas inundáveis em Blumenau/SC**. 1995. 246 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.

CASTRO, Allison R. C. **Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém - Pará, nos anos de 1997 e 2008.** ***2009***. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 2009. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CHILAÚLE, Zacarias J. **Variabilidade da precipitação e sua relação com inundações urbanas em Moçambique: estudo de caso da cidade de Xai-Xai.** Dissertação (Mestrado em Mudanças Climáticas e Gestão de Recursos Naturais) – Instituto Superior Politécnico de Gaza, Chókwè, 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COLES, S**.** *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London ***: Springer***. 2001.

CONTI, J. B.. **As relações sociedade/natureza e os impactos da desertificação nos trópicos.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geociências, 2002. (Cadernos Geográficos, n. 4). 42 p. ISSN 1519-4639.

DGEDGE, G.; CHEMANA, C. Os comités de gestão do risco de calamidades e a educação sobre inundações no Baixo Limpopo, Moçambique***.Territorium***, p. 123–132, 2018.

DOS MUCHANGOS, Aniceto. **Moçambique: paisagens e regiões naturais.** 1. ed. Maputo, 1999.

FREITAS, M. A. de S.**Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas.** *Revista Tecnologia*, v. 19, n. 1, 2010. DOI: https://doi.org/10.5020/23180730.1998.1175.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (MOÇAMBIQUE). IV **Recenseamento Geral da População e Habitação 2017**: resultados definitivos. Maputo: INE, 2019. Disponível em: https://www.ine.gov.mz. Acesso em: 20 mar. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE CALAMIDADES. **Relatório principal: estudo do impacto das alterações climáticas no risco de desastres em Moçambique**. Maputo: INGC, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA).World Energy Outlook 2017. Paris: OECD/IEA, 2017. ISBN 9789264282308. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017 . Acesso em: 9 jun. 2026.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Alterações climáticas: impactos, adaptação e vulnerabilidade – Resumo para decisores.** Contribuição do Grupo de Trabalho II para o 5º Relatório de Avaliação do IPCC. Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2009.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Relatório especial… Sumário para formuladores de políticas.**Genebra: IPCC, 2018.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.**Alterações climáticas 2014: impactos, adaptação e vulnerabilidade: resumo para decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC.** Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., 2014. ISBN 978-972-9083-18-1.

KATZ, Richard W.; PARLANGE, Marc B.; NAVEAU, Philippe. *Statisticsof extremes in hydrology.* **Advances in waterresources**, v. 25, n. 8-12, p. 1287-1304, 2002.

MAHUMANE, Américo António. **A ocorrência de eventos climáticos extremos de precipitação e a sua relação com fenómenos *El Niño* e *La Niña* na cidade de Xai-Xai (1951-2017).** Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra e Ambiente) – Universidade Pedagógica, Maputo, 2019.

MATLOMBE, L. F.**Participação das comunidades vulneráveis na gestão do risco de inundações no Baixo Limpopo – Moçambique.** 2019. Dissertação (Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.

MOÇAMBIQUE. Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos; Ministério da Terra e Ambiente. **Diagnóstico integrado de infraestruturas e serviços básicos para os municípios da província de Gaza**. Maputo: PROCESL Quadrante, 2020. Documento técnico. Emissão inicial: 09 out. 2020.

MONTEIRO, Jander Barbosa; ZANELLA, Maria Elisa. Eventos pluviométricos extremos e impactos associados em Fortaleza/Brasil: uma análise a partir da técnica dos quantis. In: SILVA, Charlei Aparecido; FIALHO, Edson Soares; STEINKE, Ercília Torres (org.). *Experimentos em climatologia geográfica*. Dourados: Ed. UFGD, 2016. p. 101-120.

MOTTER, Adriana Fátima Canova.**Um olhar sobre o processo de transformação da paisagem na bacia do Rio Santa Rosa (NW do RS), de 1915 até os dias atuais.** 2011. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

QUISSICO, D. Z. et al. **Balanço hídrico climatológico do distrito de Xai-Xai**. In:. **Reflexões sobre a Geografia Física e o Ambiente num Mundo em Conflito: Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente.** Maxixe: NESESTUDIO, 2016. p. 81-90. ISBN 978-1-68419-543-5.

ROYAL SOCIETY; NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. ***Climate Change: Evidence and Causes.***. Relatório científico conjunto que sintetiza evidências sobre o aumento do CO_2 atmosférico de origem antrópica e sua relação com o aquecimento global. 2020. London; Washington, DC, 2020.

SANTOS, L. L.**Modelos hidrológicos: conceitos e aplicações**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 2, n. 3, p. 1-19, 2009. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v2i3.232624.

SEBER, G.; WILD, C. **NonlinearRegression.** [S.l.]: Wiley, 2003. (Wiley Series in ProbabilityandStatistics). ISBN 9780471471356.

SILVA DIAS, M. A. F. Eventos climáticos extremos. Revista USP, São Paulo, n. 103, p. 33-40, 2014.

SKAMAROCK, W. C. et al. *A Description of the Advanced Research WRF Model*. **Boulder, CO: National Center for Atmospheric Research (NCAR)**. 2019.

TRIOLA, Mario F**. Introdução à estatística.** 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 832 p. ISBN 978-8521633747.

USASE.*United States Army Corps of Engineers*.**HEC-HMS Hydrologic Modeling System – User's Manual**. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center. 2018.

VEYRET, Frederico. **Reflexo de conflitos socioambientais na era da sustentabilidade em Moçambique: o caso da Costa do Sol.** In: Seminário Fluminense de Sociologia, GT Sociedade e Ambiente, PPGS-UFF, 2007.

WOOLHISER, David A., *et al.* KINEROS: **A Kinematic Runoff and Erosion Model.** Washington, DC: *United States Department of Agriculture* (USDA). 1990.

Recebido em novembro de 2025.

Revisão realizada em abril de 2026.

Aceito para publicação em junho de 2026.