



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras.

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

Análise da Variabilidade e Tendência dos Extremos de Precipitação e a Relação com os Modos Climáticos ENSO & DOI na Cidade de Quelimane – Zambézia



Autora
Marta Laura

Quelimane, Abril de 2025



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

**Análise da Variabilidade e Tendência dos Extremos de Precipitação e a Relação
Com os Modos Climáticos ENSO & DOI na Cidade de Quelimane – Zambézia**

Autora:

(Marta Laura)

Supervisor:

(Professor Hélder Arlindo Machaieie)

Avaliador:

(Mestre Banito Bene Magestade)

Presidente de júri:

(Mestre Carlota Alves Emílio)

Quelimane, Abril de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho às pessoas da minha família que foram pilares fundamentais ao longo desta jornada. Aos meus avós, João Mundaú Nhabanga e Laura Langa, por sua sabedoria e inspiração constantes. Às minhas mães, Lígia Sebastião Novela e Ivânia Nhantumbo, cuja dedicação, amor e apoio inabalável me deram forças para seguir em frente. E ao meu irmão, Jeremias Laura, por ser sempre uma presença solidária e motivadora em todos os momentos.

*O caminho da busca pelo
conhecimento e pela
sabedoria é estreito e sem atalhos.*

Daniel 12: 1-13

Agradecimentos

A minha existência, e tudo o que lhe está relacionado, só é possível porque Deus assim o permitiu. Por isso, em primeiro lugar, quero dar graças a Deus por tudo o que me tem permitido viver e concretizar.

Em seguida, desejo expressar a minha profunda gratidão à minha família, especialmente aos meus avós, João Mundaú Nhabanga e Laura Langa, que sempre me educaram da melhor forma possível. Foram eles que me transmitiram lições sem as quais não teria conseguido chegar tão longe nesta jornada. Às minhas mães, Lúcia Sebastião Novela e Ivânia Nhatumbo, quero agradecer pela sua dedicação, pelo amor incondicional e pelo apoio firme, que me deram forças para seguir em frente. Aos meus irmãos, que me inspiram a ser a irmã que sou, com a força de conquistar e de os motivar, e à minha grande irmã Elisa Nhabanga, o meu mais sincero obrigado.

Desejo expressar a minha imensa gratidão ao meu professor e orientador, PhD. Hélder Arlindo Machaieie, que esteve ao meu lado em todos os momentos da realização deste trabalho, partilhando pacientemente a sua experiência e sabedoria. Muito obrigada pelo tempo dispensado para a concretização desta etapa da minha vida.

Agradeço também ao corpo docente, que esteve comigo desde o primeiro ano até este momento em que concluo esta fase da minha jornada. Cada um de vós, que integra esta extraordinária equipa das Ciências Marinhas, foi crucial para que pudesse chegar até aqui. Obrigada por todo o conhecimento e orientação.

Por fim, mas de forma alguma menos importante, quero agradecer a todos aqueles que passaram a fazer parte da minha família aqui, nas Ciências Marinhas. Estes laços que criámos não terminam aqui. Falo de amigos que me apoiaram nos momentos mais difíceis, de irmãos que provaram que não é necessário partilhar o mesmo progenitor para que um vínculo forte seja construído, e de companheiros que são a prova de que, por vezes, a vida une-nos precisamente quando mais precisamos.

Declaração de honra

Eu, Marta Laura, declaro, sob compromisso de honra, que o presente trabalho é de minha autoria e foi desenvolvido sob a orientação do PhD Hélder Arlindo Machaieie. Declaro, ainda, que este trabalho nunca foi apresentado anteriormente em nenhuma outra instituição ou para qualquer outro fim.

O trabalho apresentando tem por objectivo a aquisição do grau de licenciatura em oceanografia, e por isso na realização do mesmo foram cumpridas as normas de execução de uma monografia definidas pela universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, Março de 2025

(Marta Laura)

Resumo

A precipitação caracterizada por elevada variabilidade espaço - temporal, pode impactar severamente as actividades humanas, como agricultura e abastecimento de água. Em razão da vulnerabilidade da cidade de Quelimane a ocorrência de eventos extremos, surge esta pesquisa cujo objectivo principal é analisar a variabilidade e as tendências dos extremos de precipitação, especialmente em relação aos modos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENSO) e Dipolo do Oceano Índico (DOI). O estudo teve como objectivos específicos descrever a variabilidade e as tendências dos extremos de precipitação na cidade de Quelimane, determinar os diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI e examinar o comportamento dos índices de extremos de precipitação face aos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI. A pesquisa utilizou uma série temporal de dados diários de precipitação de 39 anos (1981-2020) obtidos na estação meteorológica de Quelimane, índices do ETCCDI e dados dos modos climáticos Niño3.4 e DMI. Os resultados revelaram que apesar da não significância estatística, houve uma tendência decrescente da precipitação acumulada ao longo do tempo e crescente de dias consecutivos sem chuva, assim como de chuvas extremas. O DOI actua como moderador do ENSO, aumentando a precipitação durante a co-ocorrência das fases positivas de ambos e diminuindo a precipitação quando as fases negativas de ENSO e DOI coincidem, em comparação com as fases isoladas do ENSO. Esses resultados indicam alternância de eventos extremos, como secas severas durante El Niño e cheias em anos de La Niña, justificando deste modo o actual cenário e projectando intercalações de eventos extremos opostos. Neste contexto, a pesquisa visa fornecer dados que apoiem políticas eficazes de gestão hídrica e agrícola diante dos efeitos adversos das variações climáticas.

Palavras-chave: variabilidade de precipitação, ENSO, DOI, Quelimane, extremos climáticos.

Abstract

The Precipitation characterized by high spatio-temporal variability can severely impact human activities, such as agriculture and water supply. Due to the vulnerability of the city of Quelimane to the occurrence of extreme events, this research emerged with the main objective of analyzing the variability and trends of precipitation extremes, especially in relation to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole climate modes. (DOI). The study had as specific objectives to describe the variability and trends of precipitation extremes in the city of Quelimane, determine the different scenarios of manifestation of the ENSO and DOI climate modes and examine the behavior of precipitation extreme indices in the face of different scenarios of the climate modes. ENSO and DOI. The research used a time series of daily precipitation data from 39 years (1981-2020) obtained at the Quelimane meteorological station, ETCCDI indices and data from the Niño3.4 and DMI climate modes. The results revealed that despite the lack of statistical significance, there was a decreasing trend in accumulated precipitation over time and an increasing number of consecutive days without rain, as well as extreme rainfall. DOI acts as a moderator of ENSO, increasing precipitation during the co-occurrence of positive phases of both and decreasing precipitation when negative phases of ENSO and DOI coincide, compared to isolated ENSO phases. These results indicate alternation of extreme events, such as severe droughts during El Niño and floods in La Niña years, thus justifying the current scenario and projecting intercalations of opposite extreme events. In this context, the research aims to provide data that support effective water and agricultural management policies in the face of the adverse effects of climate variations.

Keywords: precipitation variability, ENSO, DOI, Quelimane, climate extremes.

Lista de Figura

Figura 1: Mapa de precipitação média de Moçambique (Fonte: USAID (ficha informativa)).....	6
Figura 2: Diagramas esquemáticos de DOI positivo (A) e negativo (B).	8
Figura 3: Localização geográfica da cidade de Quelimane.	14
Figura 4: Variabilidade e tendência dos índices de precipitação extrema na região de Quelimane de 1981 a 2020.	21
Figura 5: Interação entre os modos climáticos DOI e ENSO e sua relação com os índices de precipitação extrema.	24
Figura 6: Distribuição percentual dos extremos de precipitação sob diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI.....	26
Figura 7: Contribuição das chuvas extremas (R50) na variabilidade da precipitação cidade de Quelimane. Onde, a - apresenta o contributo do número de dias de chuvas extremas (R50) na precipitação total anual, b - contributo de número dias de chuvas extremas (R50) em percentagem e c – frequência do número de dias com chuvas extremas (R50) por ano.....	44

Lista de tabelas

Tabela 1: Índices climáticos e seus respectivos nomes.....	7
Tabela 2: Índice de Oscilação Sul.....	11
Tabela 3: Condições para determinação dos diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI.	17
Tabela 4: Critérios de categorização dos valores dos extremos de precipitação.	18
Tabela 6: Resultados dos cálculos de índices de extremos de precipitação.	19
Tabela 5: Diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI e seus respectivos anos de ocorrência.	22
Tabela 7: correlação entre os extremos de precipitação e os modos climáticos Niño, Niño-3.4, DMI, DMI Esatern e DMI-Western.	44

Lista de siglas

DMI	Índice de Modo Dipolo
ENSO	El Niño oscilação sul
DOI	Dipolo do Oceano Indico
TSM	Temperatura da superfície do mar
ETCCDI	Equipa de Peritos em Detecção e Índices de Alterações Climáticas.

índice

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Declaração de honra	iii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Lista de Figura.....	vi
Lista de tabelas	vii
Lista de siglas	viii
Capítulo I.....	1
1 Introdução.....	1
1.1 Problematização.....	2
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objectivos.....	4
1.3.1 Geral.....	4
1.3.2 Específicos	4
2 Revisão de Literatura	5
2.1 Clima e Precipitação	5
2.2 Índices climáticos de precipitação extrema	6
2.3 Teleconexões	7
2.4 Dipolo de Oceano Indico (DOI)	8
2.5 Teste de Mann-Kendall	9
2.6 ENSO – El Niño oscilação sul.....	11
2.7 Relação entre o DOI e o ENSO	12
3 Metodologia	14
3.1 Área de Estudo.....	14
3.2 Materiais e métodos.....	15
3.2.1 Aquisição de Dados.....	15
3.2.2 Análise e processamento de Dados	15
3.2.3 Determinação dos índices de precipitação extrema	15
3.2.4 Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação	16
3.2.5 Determinação dos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI.....	16
3.2.6 Comportamento dos índices de extremos de precipitação para diferentes cenários climáticos ENSO e DOI	17
4 Resultados	19

4.1	Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação	19
4.2	Determinação dos diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI 22	
4.3	Comportamento dos extremos da precipitação em diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI	22
5	Discussão.....	27
5.1	Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação	27
5.2	Diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI e seus respectivos anos de ocorrência.....	28
5.3	Comportamento dos extremos da precipitação face aos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI	29
6	Conclusão.....	32
6.1	Recomendações	33
7	Bibliografia.....	34
8	Anexo	44

1 Introdução

A dinâmica dos extremos de precipitação tem se tornado mais complexa com as mudanças climáticas (Wang *et al.*, 2022). Estudos indicam que o aquecimento global intensificará os ciclos hidrológicos, aumentando a chance de chuvas intensas e períodos secos (Lamboni *et al.*, 2019; Fall *et al.*, 2021). Esses extremos podem ter impactos positivos, como restaurar ecossistemas e recarregar rios, mas, em sua maioria, são negativos, causando inundações e destruição (Alexander *et al.*, 2019). Os extremos climáticos geram sérios impactos socioeconômicos, especialmente em países menos desenvolvidos como Moçambique.

Os índices climáticos, que totalizam 27 principais índices estabelecidos pela Equipe de Peritos em Detecção e Índices de Alterações Climáticas (ETCCDI), incluem índices que nos permitem compreender situações de baixa e alta humidade, exemplo: o CDW (dias chuvosos consecutivos) e o CDD (dias secos consecutivos). Compreender a dinâmica desses índices é essencial para prever eventos extremos, como secas e inundações, porém não basta apenas prevêê-los, é igualmente crucial avaliar a quantidade e frequência das suas ocorrências. A análise desses índices é vital para previsões mais completas e compreensão dos seus impactos (Tebaldi e Beaudin, 2015).

Diversos factores influenciam a dinâmica dos índices de precipitação extrema, como os modos climáticos interanuais El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e Dipolo do Oceano Índico (DOI). O ENSO, embora possa agir isoladamente, é influenciado por outros modos como o DOI. Dai que se torna importante a realização de estudos que buscam compreender a relação entre os modos climáticos ENSO e DOI assim como a sua co-ocorrência tendo em conta os extremos climáticos, pois esses modos modulam as condições climáticas, incluindo a precipitação (Abrão *et al.*, 2021). A interacção entre os modos climáticas, assim como com os índices de precipitação extrema afectam o clima regional e global, gerando impactos socioeconómicos (Iizumi *et al.*, 2014).

A agricultura é uma das principais bases de economia em Moçambique, e os seus cultivos são em sua maioria de sequeiro (agricultura que depende, principalmente, da disponibilidade e distribuição das chuvas ao longo do ciclo vegetativo das culturas). Logo, a falta de chuvas e a consequente ocorrência de secas traz um impacto negativo ao país (Reason, 2007), e principalmente a cidade de Quelimane (no centro de Moçambique) de um modo particular, visto que a mesma tem sua economia dependente da agricultura de arroz que por sinal é alimentada pela precipitação (Machaieie *et al.*, 2020).

Existem diversos estudos, que buscaram compreender a influência e o comportamento do ENSO face as mudanças climáticas, assim como, seu impacto sob precipitação na cidade de Quelimane,

destacando que enquanto cenários de El Niño (fase quente do ENSO) reduzem a precipitação, cenários de La Niña (fase fria do ENSO) proporcionam um aumento da precipitação, sendo este factor mais destacado na época chuvosa (Machaieie *et al.*, 2020). Portanto, pouco se sabe sobre a variabilidade dos extremos de precipitação na cidade e a influencia dos modos climáticos ENSO e DOI sobre os extremos.

A presente pesquisa foi realizada de modo a analisar a variabilidade dos extremos de precipitação e a sua relação com os modos climáticos na cidade de Quelimane, visto que como já foi mencionado, a cidade tem grande parte da sua economia dependente da agricultura (sequeiro) e é susceptível a desastres como ciclones. A compreensão da complexa dinâmica da variabilidade dos extremos e da sua relação com os modos climáticos, irá garantir uma melhor busca pela resiliência agrícola e económica, assim como ajudar no fornecimento de base para a mitigação e adaptação as mudanças climáticas.

1.1 Problematização

A oscilação dos modos climáticos tem um papel fundamental na variabilidade climática, pois pode impactar tanto o clima global quanto o regional, resultando em consequências socioeconómicas significativas (Iizumi *et al.*, 2014). Vários estudos, feitos em diferentes regiões mostram que os modos climáticos, podem através da sua interacção modular a precipitação, assim como a temperatura (no caso, contribuindo para o aumento ou redução do mesmo), o que por sinal afecta os extremos climáticos tais como secas e inundações (Pui *et al.*, 2012; Abrão *et al.*, 2021).

A África Austral é uma região marcada por uma grande variabilidade na precipitação, impactando directamente na agricultura e na hidrologia local. Estudos climáticos em Moçambique têm identificado sinais claros de mudanças climáticas, especialmente no que diz respeito, às temperaturas extremas (IPCC, 2014), contribuindo de forma negativa para as actividades económicas essenciais, como a agricultura que depende fortemente da precipitação. A cidade de Quelimane, localizada na província da Zambézia, tem como principal fonte de rendimento a agricultura de arroz, que é uma cultura sensível a alterações hidrológicas.

A cidade de Quelimane apresenta uma irregularidade na precipitação, podendo resultar em períodos prolongados de seca e intercalados por chuvas intensas, o que acarreta diversos problemas socioeconómicos para a população local. Entre esses problemas, destacam-se as perdas agrícolas, que afectam directamente a renda familiar e agravam a insegurança alimentar. Além disso, existe um défice de estudos sobre a variabilidade e tendência dos extremos de precipitação e sua relação com os modos climáticos ENSO e DOI, bem como o impacto dessa interacção na variabilidade dos

extremos na região, o que pode contribuir de forma negativa para a previsão climática, planejamento urbano, gestão agrícola e hídrica.

Dai que surge a seguinte pergunta de pesquisa:

Como é que os diferentes limiares de precipitação respondem as ocorrências isoladas e conjugadas dos modos climáticos ENSO e DOI?

1.2 Justificativa

A compreensão da dinâmica dos extremos de precipitação é crucial para diversas áreas, incluindo planejamento urbano, preservação ambiental, adaptação de culturas e actividades agrícolas, impactando directamente a qualidade de vida. É imperativo expandir o conhecimento sobre hidrologia para melhorar a gestão dos recursos hídricos frente às alterações climáticas crescentes (de Oliveira *et al.*, 2023). Segundo Alexander *et al.* (2019) a partir da década de 1990, os índices climáticos ganharam um amplo reconhecimento devido ao aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos em escala global. Essa tendência destacou a necessidade de uma metodologia padronizada na comunidade científica para o estudo de extremos climáticos, de modo a facilitar a troca de resultados e dados entre diferentes estudos e países.

As mudanças nos padrões de precipitação são de extrema importância, pois podem alterar significativamente a disponibilidade de chuvas em uma região específica. A co-ocorrência dos modos climáticos ENSO e DOI enfatiza a necessidade de compreender a dependência ou independência desses fenómenos interligados. Embora o ENSO e o DOI sejam geralmente atribuídos a modos internos dentro de suas respectivas bacias, a interacção entre eles através de pontes atmosféricas não pode ser descartada (Guan *et al.*, 2003).

O estudo proposto é crucial para compreender a dinâmica da variabilidade da precipitação extrema em Quelimane, Moçambique. A análise da relação com modos climáticos globais, no caso, o ENSO e DOI, fornecerá informações valiosas para aumentar a resiliência agrícola e económica da região e melhorar as previsões de eventos extremos. Os resultados poderão fundamentar políticas públicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, promovendo um desenvolvimento sustentável. Esta pesquisa contribuirá para um entendimento mais profundo das influências climáticas locais e apoiará o desenvolvimento socioeconómico sustentável em Quelimane e regiões semelhantes em Moçambique.

1.3 Objectivos

1.3.1 Geral

- Analisar a variabilidade e tendência dos extremos de precipitação e sua relação com os modos climáticos ENSO e DOI na cidade de quelimane.

1.3.2 Específicos

- Descrever a variabilidade e as tendências dos extremos de precipitação na cidade de Quelimane.
- Determinar os diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI.
- Examinar o comportamento dos índices de extremos de precipitação face aos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI.

2 Revisão de Literatura

2.1 Clima e Precipitação

O clima é uma análise detalhada e abrangente das médias de temperatura, precipitação, humidade, ventos dentre outros factores climáticos que definem o clima daquela região durante um período de 30 anos (tempo mínimo necessário para se considerar um estudo climatológico) ou mais (Trindade e Filho, 1998). A utilização de séries temporais longas é crucial, pois permite identificar padrões de variabilidade e mudanças climáticas que podem ocorrer ao longo das décadas. A análise de dados climáticos em escalas temporais mais longas é particularmente relevante em um contexto de mudanças climáticas globais, onde fenómenos como o aquecimento global e a alteração dos padrões de precipitação têm implicações significativas para a agricultura, a gestão de recursos hídricos e a biodiversidade (Pinheiro e Vide, 2018).

De acordo com Lobo (1999), o facto da maior parte do território moçambicano estar localizado na zona intertropical, não só faz com que o clima desta região seja tropical, mas também lhe confere as seguintes variações (clima: tropical seco, tropical húmido, tropical semi-árido e modificado pela altitude). Em suma o clima de Moçambique considerado tropical, diferencia-se em duas estações: a quente (húmida) e a fria (seca) que se estende de Outubro a Abril e de Maio a Setembro respectivamente (Hoguane, 2007).

A precipitação é um fenómeno meteorológico que é descrito pela queda de água da atmosfera para a superfície da terra em diferentes formas (chuva, granizo, neve e até orvalho) dependendo do clima da região. Em Moçambique, a média anual de chuvas é de 940 mm, com uma alta incidência nos meses de Dezembro a Março. Esta concentração de chuvas resulta em cheias durante esses meses e em rios relativamente secos nos demais meses do ano (Cangela *et al.*, 2021).

A distribuição das chuvas não é uniforme pelo país (Figura 1). No Norte, especialmente nas províncias de Nampula, Niassa e no centro na província da Zambézia, as médias variam entre 1.030 mm e 1.225 mm, enquanto no Sul, em Gaza e Maputo, as precipitações são escassas, com médias de 595 mm e 685 mm, respectivamente. A cidade de Quelimane tem uma precipitação que varia em duas estações: seca (chuvosa) que tem seu intervalo nos meses de Maio a Novembro (de Dezembro a Abril) (Machaieie *et al.*, 2020).

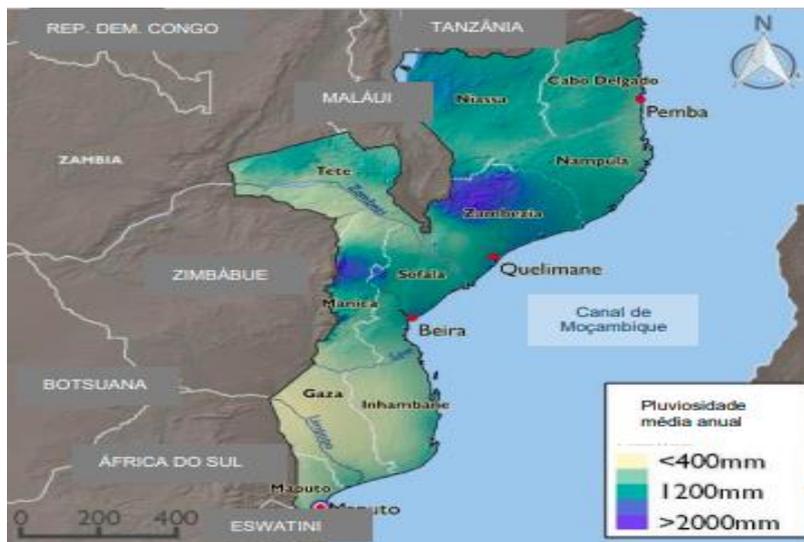


Figura 1: Mapa de precipitação média de Moçambique (Fonte: USAID (ficha informativa))

2.2 Índices climáticos de precipitação extrema

Segundo o Relatório Especial (IPCC, 2012), um evento extremo é definido como a ocorrência de um valor de uma variável de condição meteorológica ou clima acima ou abaixo de um valor limite, perto das extremidades superiores ou inferiores da faixa de valores da variável observada.

Os índices climáticos de precipitação extrema desempenham um papel crucial na compreensão das características das chuvas em diferentes regiões e sob diversas condições climáticas. Eles ajudam a capturar detalhes como a intensidade, a frequência, a duração dos eventos de chuva extrema, tendências e mudanças nos padrões de precipitação e temperatura (Peterson, *et al.*, 2001). Esses índices foram definidos por um grupo de especialistas do Expert Team on Climate Change Detection and Índices (ETCCDI), formado pela World Meteorological Organization (WMO) e pelo Climate Variability and Predictability Project (CLIVAR) do World Climate Research Programme (WCRP) (Vondou, *et al.*, 2021). Ao todo, o ETCCDI estabeleceu 27 índices climáticos, 16 dos quais estão relacionados à temperatura enquanto os 11 restantes estão relacionados à precipitação tabela 1, que para além da concepção dos índices é responsável pela actualização metodológica e desenvolvimento de programas de cálculo de índices climático, os mesmos abrangem medidas de precipitação, temperatura e outros factores climáticos, oferecendo uma visão ampla sobre as mudanças nos extremos climáticos ao longo do tempo (Yao *et al.*, 2021).

Esses índices são ferramentas valiosas para pesquisadores de todo o mundo que buscam analisar as mudanças nos extremos climáticos. Além disso, a aplicação desses índices em diferentes escalas temporais – como anual, sazonal e mensal – é fundamental para desvendar a variabilidade climática em uma região específica (Felix *et al.*, 2021).

Tabela 1: Índices climáticos e seus respectivos nomes.

Índices climáticos	Nome do índice	Unidade
PRCPTOT	Precipitação acumulada ao longo do tempo	mm
Rx1day	Precipitação máxima em um único dia	mm
CWD	Dias chuvosos consecutivos	dias
CDD	Dias secos consecutivos	dias
PR95pTOT	Precipitação relativa a dias muito chuvosos/ Precipitação total anual relativa a dias com RR > percentil 95	mm
PR99pTOT	Precipitação relativa a dias de chuva extrema/ Precipitação total anual relativa a dias com RR > percentil 99	mm
R10	Número de dias de precipitação intensa /Número anual de dias chuvosos acima de 10 mm	dias
R20	Número de dias de precipitação muito forte/Número anual de dias chuvosos acima de 20 mm	dias
R50	Número de dias de precipitação extremamente intensa/Número anual de dias chuvosos acima de 50 mm	dias
SDII	Índice simples de intensidade de precipitação	mm/dias

2.3 Teleconexões

As teleconexões são padrões climáticos de grande escala que conectam o clima de diferentes regiões geográficas. Essas teleconexões envolvem variações coordenadas em elementos climáticos, como pressão atmosférica e temperatura, de modo que mudanças numa região podem provocar respostas climáticas em outras (Gonzalez, *et al.*, 2013). A identificação de padrões de teleconexão é efectuada por meio de análises estatísticas avançadas, que revelam correlações significativas entre variáveis climáticas, como a pressão ao nível do mar, a temperatura da superfície do mar (TSM) e os padrões de vento em diferentes regiões (Oliva *et al.*, 2021). Estas teleconexões operam em múltiplas escalas temporais, abrangendo desde fenómenos de curta duração, como sistemas de tempestades, até variações climáticas persistentes, como secas prolongadas e inundações.

Os principais padrões de teleconexão incluem o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), a Oscilação do Atlântico Norte (NAO), a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e o Dipolo do Oceano Índico (DOI) (Vondou *et al.*, 2021).

Esses padrões são impulsionados por interações complexas entre a atmosfera e os oceanos, onde variações na TSM desempenham um papel central, influenciando a convecção atmosférica e a circulação dos ventos. A interação entre o oceano e a atmosfera, medida pelas teleconexões, permite que eventos climáticos em uma região afetem condições meteorológicas em locais distantes, possibilitando a previsão de eventos climáticos extremos com antecedência (Yao *et al.*, 2021).

2.4 Dipolo de Oceano Índico (DOI)

Guan *et al.*, (2003), afirmaram que o Dipolo do Oceano Índico (DOI) é uma importante manifestação da interação ar-mar tropical. O Dipolo do Oceano Índico (DOI) ou por outra Niño Indiano, é uma alteração irregular nas temperaturas da superfície do mar em que a parte ocidental do Oceano Índico em comparação com a parte oriental se alterna entre mais quente (fase positiva) e mais fria (fase negativa). O que caracteriza o DOI é a diferença de temperaturas da superfície do mar entre duas regiões, no caso, Oeste (Mar da Arábia) e o Leste, ao sul da Indonésia. O mesmo fenómeno afecta a pressão e os ventos, influenciando desta forma o clima dos países a volta da bacia do Oceano Índico, o regime de chuvas e toda a circulação atmosférica sobre os trópicos (célula de Walker) (Souza e Reboita, 2021), o DOI é um factor climático significativo, influenciando as chuvas no início do verão austral (Moihamette *et al.*, 2022).

No decorrer de períodos de eventos fortes e frequentes do DOI (Figura 2) o Índice de Modo Dipolo do Oceano Índico mostra uma forte coerência com os ventos zonais equatoriais no centro do Oceano Índico (Guan *et al.*, 2003).

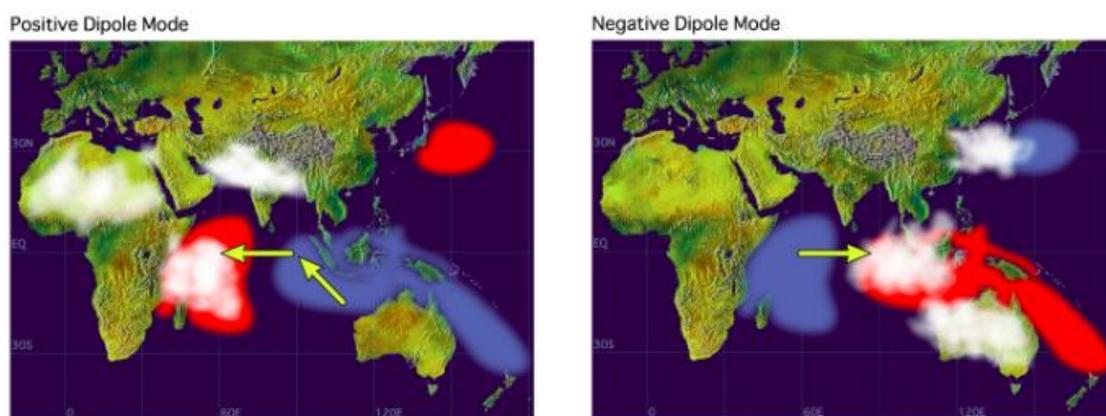


Figura 2:Diagramas esquemáticos de DOI positivo (A) e negativo (B).

2.5 Teste de Mann-Kendall

O teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) é amplamente aplicado na detecção de tendências em séries temporais de observações hidrológicas (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este teste para além de ser usado em observações de hidrologia, também é amplamente aplicado em uma variedade de áreas como: climatologia, ecologia, engenharia civil, economia e ciências ambientais.

O teste é robusto em relação a distribuições não normais, presença de outliers e autocorrelação nos dados, o que o torna uma ferramenta valiosa em situações onde os pressupostos dos testes paramétricos não são atendidos.

A estatística do teste de Mann-Kendall, representada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(S_j - S_k)$$

Onde:

- S , é calculada somando as diferenças de sinal entre todos os pares de observações na série temporal. Se o valor de S for significativamente diferente de zero, isso indicara uma tendência monotónica, positiva ou negativa, na série temporal.
- S_k e S_j são os dados da série temporal, com $k=1,2,\dots, n-1$ e $j = k + 1, \dots, n$.
- S_j é maior que S_k .
- n representa o número total de pontos de dados na série temporal.

A função $\text{Sgn}(S_j - S_k)$ determina o sinal das diferenças entre os pares de observações na série temporal. As variáveis normais padrões do sistema são calculadas pela seguinte equação:

$$\text{Sgn}(S_j - S_k) = \begin{cases} 1 & (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & (X_j - X_k) < 0 \end{cases}$$
$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

Onde:

- Z : Variável do sistema normal padrão que estamos tentando calcular.

- S : Estatística do teste de Mann-Kendall. É a soma das diferenças de sinal entre todos os pares possíveis de observações na série temporal.
- $Var(S)$: Variância da estatística do teste de Mann-Kendall. Representa a dispersão ou variabilidade dos valores de S ao longo da série temporal.

A equação usada para as variáveis do sistema normal padrão, é fundamental para avaliar se uma tendência é estatisticamente significativa nos dados analisados pelo teste de Mann-Kendall. Ela nos ajuda a entender se a variação observada é mais do que o esperado ao acaso, claro que considerando a distribuição normal.

Para determinar a significância estatística do resultado do teste, é comum calcular o valor-p associado (é uma medida que ajuda a determinar a significância estatística de um resultado), que indica a probabilidade de observar uma estatística de teste tão extrema quanto a observada, sob a hipótese nula de que não há tendência na série temporal. Sob análise do teste de Mann-Kendall, o valor-p é calculado usando a distribuição de probabilidade da estatística do teste (S), que é aproximadamente normal sob a hipótese nula. Se a estatística de teste observada (S) divergir significativamente da esperada sob a hipótese nula, o valor-p será baixo, sugerindo que a probabilidade de obter tal resultado ao acaso é reduzida. Isso, por sua vez, resulta na rejeição da hipótese nula.

É importante realçar que o teste de Mann-Kendall avalia duas hipóteses, que vinham sendo mencionadas, a saber:

1. **Hipótese Nula (H_0)**: essa afirma que não há tendência monotônica na série de dados, ou seja, não há aumento ou diminuição consistente nos valores de Y ao longo do tempo.
2. **Hipótese Alternativa (H_1)**: essa sugere que existe uma tendência, a qual pode ser positiva (aumento constante), negativa (diminuição constante) ou não nula (qualquer outra forma de tendência).

Para o cálculo do valor-p temos a seguinte equação geral:

$$p = P(Z > |z|)$$

Onde:

- p é o valor-p.
- Z é a variável aleatória normal padrão.

- z é a estatística de teste normalizada (z-score) calculada a partir da estatística do teste observada (S).
- $|z|$ é o valor absoluto de z .
- $P(Z > |z|)$ é a probabilidade de observar um valor de Z maior que $|z|$ na distribuição normal padrão.

Sobre o valor-p é importante saber que quanto menor for, mais forte será a evidência contra a hipótese nula, indicando uma maior significância estatística observada. Quando o valor-p é menor que o limiar (0,05), isso sugere que a tendência observada nos dados é provavelmente real e não ocorreu apenas por acaso. Portanto, rejeitamos a hipótese nula em favor da hipótese alternativa de que há uma tendência significativa nos dados.

2.6 ENSO – El Niño oscilação sul

O El Niño e o La Niña são fenômenos atmosféricos que afetam as condições climáticas globais, com impactos significativos em termos de temperatura e precipitação.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS ou ENSO em inglês) é um fenômeno irregular na região equatorial do Pacífico, resultado da interação entre o oceano e a atmosfera. Essa interação causa mudanças no padrão convencional de circulação atmosférica, conhecido como circulação de Hadley e Walker, afetando o clima em várias partes do mundo. A monitorização do ENSO é realizada por meio dos Índices de Oscilação Sul (IOS) (Freire *et al.*, 2011).

O fenômeno ENSO tem duas fases distintas, no caso a fase de El Niño e La Niña que são consideradas fases quente (caracterizado por apresentar TSM acima de +0.5 da média) e fria (caracterizada por apresentar TSM abaixo de -0.5 da média) respectivamente. Estas fases tem um período de ocorrência de 5 meses consecutivos. O IOS representa a diferença entre pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Sendo que os valores negativos e positivos elevados do IOS são indicadores da ocorrência do El Niño (EN) e La Niña (LN), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2: Índice de Oscilação Sul. Fonte: Golden Gate Weather Services (2018).

Evento	Índice Oceânico Niño	Intensidade
EL Niño	0.5 a 0.9	Fraca
	1.0 a 1.4	Moderada
	≤ 1.5	Forte
La Niña	-0.5 a -0.9	Fraca

	-1 a -1.4	Moderada
	≤ -1.5	Forte

De acordo com Friere (2011), O El Niño é o aquecimento anômalo do oceano Pacífico Equatorial, associado ao enfraquecimento dos ventos alísios e mudanças na circulação atmosférica, deslocando o ramo ascendente da célula de Walker para o Pacífico Equatorial Leste. A La Niña, fenómeno oposto ao El Niño, caracteriza-se pelo resfriamento das águas do Pacífico Equatorial, fortalecendo a Alta Subtropical do Pacífico Sul e intensificando a célula de Walker.

O fenómeno denominado El Niño-Oscilação Sul (ENOS), representativo das mudanças climáticas globais, exerce uma influência substancial. Essa influência se manifesta por meio das variações no regime e na quantidade total de precipitação. Conforme a gravidade do fenómeno, podem ocorrer períodos de seca intensa, impactando directamente as actividades humanas (Molion e Bernado, 2002)

De acordo com a Lusa Bernardino Nhamumbo, climatologista do Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) de Moçambique, Moçambique está exposto a significativos impactos do fenómeno ENSO, por causa da sua localização na África Austral.

Na verdade, são vários os estudos que concluíram que o ENSO tem sim um papel crucial na variabilidade interanual da precipitação em Moçambique (Machaieie *et al.*, 2020), contando que Chongue e Nishii, (2024) também constataram em seu estudo o ENSO é o principal modo climático associado a variabilidade da precipitação em todas regiões de Moçambique.

2.7 Relação entre o DOI e o ENSO

De acordo com o estudo de Saji *et al.*, (1999), os eventos El Niño e DOI explicam 30% e 12% da variabilidade da TSM no Oceano Índico tropical, respectivamente, indicando que grande parte dessa variabilidade é atribuída a esses fenómenos. Além disso, o DOI influencia o clima de várias regiões, não se limitando às áreas vizinhas, como a África Oriental. O ENSO é claramente um dos principais determinantes da variabilidade anual da precipitação no sul da África.

De acordo com Behera e Yamagata (2021), embora o DOI possa ocorrer de forma independente do ENSO, nos anos em que ambos acontecem simultaneamente, a variabilidade do ENSO influencia significativamente a perDOIicidade, a intensidade e os processos de desenvolvimento do DOI. Entretanto, ao analisar a contribuição de um índice de El Niño apropriado, baseado na anomalia da temperatura da superfície do mar no Pacífico oriental, conclui-se que a maior parte do Índice de Modo DOI é resultado de processos regionais no Oceano Índico (Guan *et al.*, 2003).

Afirma-se, portanto, que tanto o DOI quanto o ENSO são, em princípio, resultantes dos modos internos inerentes às suas respectivas bacias. No entanto, uma vez que ocorram, isso não exclui a possibilidade de interação entre os dois modos através da ponte atmosférica. Entre o ENSO e o DOI existe a relação de co-ocorrência. Estando geralmente ligados o El Niño e DOI positivo (La Niña e DOI negativo) a situações mais húmidas (mais secas) (Guan *et al.*, 2003). Os fenómenos ENSO e DOI são os que mais afectam a variabilidade climática nos trópicos, impactando de forma significativa as condições do clima regional e global.

3 Metodologia

3.1 Área de Estudo

A área de estudo da presente pesquisa é a cidade de Quelimane, capital da província da Zambézia no centro de Moçambique (Africa Austral), localizada entres as latitudes 17°52'16.52" a 17°49'45.38" Sul e longitude 36°52'22.96" a 37°7'41.84" Este (Tembe, 2011), a mesma esta a acerca de 20 Km do oceano Indico, ocupando uma área de cerca de 117 km² (Figura 3). A região de Quelimane é predominada por um clima do tipo Tropical Chuvoso de Savana, com duas estações distintas, a estação chuvosa que se estende entre Dezembro a Abril e a estação seca que se estende entre Maio à Novembro (Machaieie *et al.*, 2020).

A precipitação média anual é cerca de 1.428 mm na faixa costeira, enquanto isso a evapotranspiração potencial média anual é cerca de 1.477 mm. A precipitação do distrito de Quelimane é mal distribuída ao longo do ano, sendo que a maior queda pluviométrica ocorre sobretudo nos meses de Janeiro a Março e Novembro a Abril do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, quer durante o ano, quer de ano para ano, com uma temperatura média de 25.6°C a cidade é caracterizada por temperaturas elevadas durante todo o ano e uma estação chuvosa bem definida (Colher, 2020). O distrito de Quelimane é complementado por um relevo declivoso derivado das Rochas Metamórficas e Eruptivas do Pré-Câmbrico, conhecido também por “Complexo Gnaissogranítico do Moçambique Belt” (Palé *et al.*, 2023).

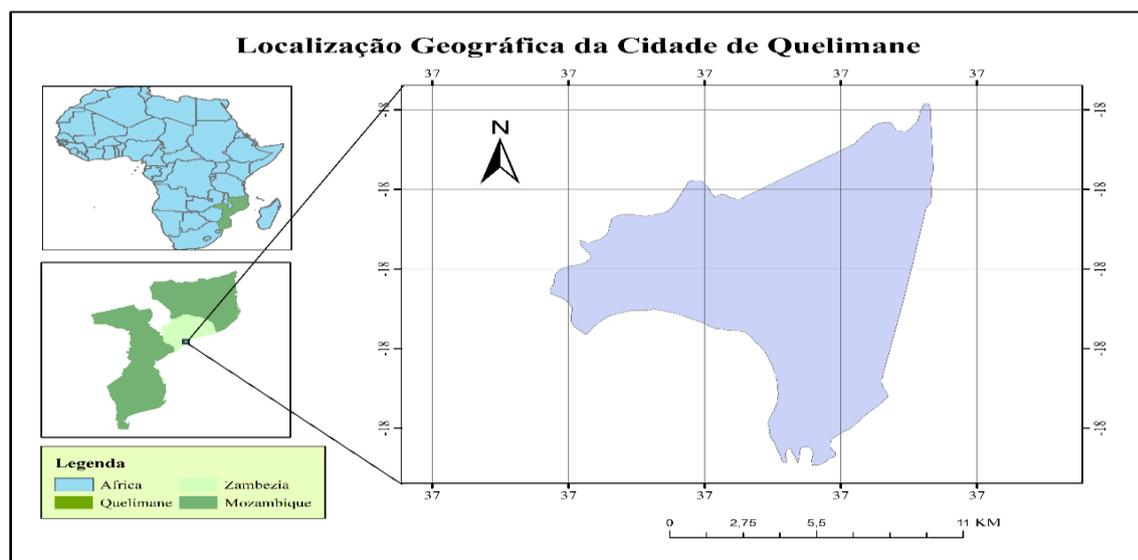


Figura 3:Localização geográfica da cidade de Quelimane.

3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Aquisição de Dados

Para a pesquisa foram utilizados dados de precipitação diária, correspondentes a um período de 39 anos partindo de 1981 a 2020, obtidos nos arquivos do Instituto Nacional de Meteorologia, na estação de Quelimane. Foram igualmente utilizados dados mensais dos modos climáticos Niño3.4 e Índice de Modo Dipolo (DMI), correspondentes a igual período dos dados de precipitação. Os dados dos modos climáticos Niño3.4 e Índice de Modo Dipolo (DMI) foram adquiridos no site: http://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/DMI/index.html.

3.2.2 Análise e processamento de Dados

Para a análise e execução do trabalho foram utilizados os seguintes materiais: um computador (laboratório de trabalho), Internet e dados processados em diferentes programas, no caso, MATLAB v.2013a (laboratório de matriz), Excel e Past4.03. Do conjunto de dados diários de 39 anos obtidos, a análise foi feita levando em consideração a época agrícola da cidade de Quelimane, daí que se analisou o trimestre que incluem os meses de Outubro a Dezembro. E também foram levadas em conta três situações: precipitação total, moderada e extrema.

3.2.3 Determinação dos índices de precipitação extrema

Na década de 1990, o campo da meteorologia e climatologia foi caracterizado pelo trabalho colaborativo de várias instituições ligadas ao clima, incluindo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Sistema Global de Observação do Clima (GCOS). Entre as suas realizações, destacam-se a definição das Variáveis Climáticas Essenciais (ECVs), que serviram de base para a criação de índices de mudanças climáticas (Peterson *et al.*, 2001).

Para as análises feitas no presente estudo foram utilizados os índices relacionados a precipitação, que compõe um total de 11 (PRCPTOT, Rx1day, Rx5day, CWD, CDD, R95pTOT, R99pTOT, R10, R20, R50 e SDII) cuja descrição está apresentada na Tabela 1. Dos 11 índices foi excluído o Rx5day relativo à precipitação mensal máxima em cinco (5) dias consecutivos, isto pelo facto de se ter verificado que a condição para a determinação do índice não foi observada em alguns anos pertencentes a série temporal em análise.

A escolha do R50mm foi feita pelo facto deste limiar ser amplamente utilizado para representar eventos de precipitação extrema, e assim poder-se suprir a ambiguidade dos resultados dos índices PR99pTOT e PR95pTOT pelo facto dependerem de cálculos baseados na precipitação local. Realçar que os índices ETCCDI apenas estabelecem os seguintes limiares $RR_{ij} \geq 10 \text{ mm}$ e $RR_{ij} \geq 20 \text{ mm}$

referentes ao R10 e R20, respectivamente. O contexto de determinação do R50 consistiu no índice Rnnmm que é a contagem anual de dias em que $PRCP \geq nmm$, nn é um limite definido pelo usuário, ou seja, $RR_{ij} \geq nmm$.

3.2.4 Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação

Para a descrição da variabilidade e tendência dos extremos de precipitação foi utilizado o teste de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall é um procedimento estatístico não paramétrico usado para a análise de dados coletados ao longo do tempo para identificar se temos tendências consistentemente crescentes ou decrescentes, ou seja, o teste é usado para identificar tendências monotônicas (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este teste é amplamente aplicado em uma variedade de áreas como: hidrologia, climatologia, ecologia, engenharia civil, economia e ciências ambientais.

Para a execução da análise estatística do teste de Mann-Kendall, foi introduzido um script no programa MATLAB que deu origem a gráficos, com base no qual foi possível observar-se a variabilidade e tendência da série temporal em análise (1981-2020). Visto que havia a necessidade de se ter a significância destas tendências, a mesma série temporal (1981-2020) foi introduzida no programa past que dispõe de uma ferramenta que facilita cálculos relacionados ao teste de Mann-Kendall, então com base na ferramenta foram obtidos os seguintes dados: Mann-Kendall (Z) que representa as tendências existentes, o Slope (S) que representa a taxa de mudança ou a magnitude da tendência em uma série temporal e a Significância (P).

O valor-p é uma medida que indica se há significância estatística nos dados analisados. Quanto menor for o valor-p, mais forte será a evidência contra a hipótese **nula** essa afirma que não há tendência monotônica na série de dados, ou seja, não há aumento ou diminuição consistente nos valores de Y ao longo do tempo, indicando uma maior significância estatística. Quando o valor-p é inferior ao limiar de 0.05, isso sugere que a tendência observada nos dados é provavelmente real e não fruto do acaso o que reflete a hipótese **alternativa**, na qual se afirma que existe uma tendência, a qual pode ser positiva (aumento constante), negativa (diminuição constante) ou não nula (qualquer outra forma de tendência).

3.2.5 Determinação dos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI

A principal hipótese da pesquisa é de que o DOI modula o impacto do ENSO sobre a precipitação da região em estudo. Para a determinação dos diferentes cenários dos modos climáticos, teve-se como ponto de partida o facto de cada ambos modos climáticos apresentarem duas fases nomeadamente a fase positiva Niño⁺ e DOI⁺ e a fase negativa Niño⁻ e DOI⁻. No caso do ENSO, definiu-se Niño⁺ quando a média do índice Niño 3.4, no período de análise entre Outubro e Março, fosse superior a 0.5, enquanto que a fase Niño⁻ foi atribuída quando a média do mesmo índice no mesmo intervalo

fosse inferior a -0.5. Para o DOI, a fase DOI⁺ foi considerada quando a média do índice DMI superou o desvio padrão, ao passo que a fase DOI⁻ foi atribuída quando a média do índice DMI ficou abaixo do desvio padrão negativo.

Com base nas diferentes possibilidades de ocorrência isolada ou simultânea das fases descritas anteriormente, foram considerados os seguintes cenários climáticos, cujos detalhes de determinação estão apresentados na Tabela 3:

- **Ocorrência isolada do Niño⁺**;
- **Co-ocorrência do IOD⁺ & Niño⁺**;
- **Ocorrência isolada do IOD⁺**;
- **Ocorrência isolada do Niño⁻**;
- **Co-ocorrência IOD⁻ & Niño⁻**;
- **Ocorrência isolada do IOD⁻** e
- **Neutra** (quando nenhum dos cenários anteriores fosse observado).

Tabela 3: Condições para determinação dos diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI.

Cenário	Condição
Niño ⁺	Niño-3.4 > +0.5
Niño ⁻	Niño-3.4 < -0.5.
Niño ⁺ & DOI ⁺	Niño-3.4 > +0.5 e DMI > +σ
DOI ⁺	DMI > +σ
DOI ⁻	DMI < -σ
Niño ⁻ & DOI ⁻	Niño-3.4 < -0.5 e DMI < -σ
Neutro	+0.5 ≥ Niño-3.4 ≥ - 0.5 e +σ ≥ DMI ≥ - σ

3.2.6 Comportamento dos índices de extremos de precipitação para diferentes cenários climáticos ENSO e DOI

Sob a hipótese de que a precipitação tende a apresentar comportamentos distintos durante a manifestação dos diferentes modos climáticos, foram adotadas as seguintes abordagens para inferir a influência dos modos climáticos ENSO e DOI.

Foram feitas duas análises distintas:

1. Comparação das médias climatológicas dos índices climáticos durante os diferentes cenários climáticos.

Esta abordagem consistiu no agrupamento dos valores anuais dos extremos de precipitação para os diferentes cenários climáticos, determinação das médias climatológicas e posterior comparação das mesmas.

2. Categorização e análise da frequência em que o valor dos extremos esteve em cada categoria durante os diferentes cenários climáticos.

Nesta abordagem foram definidas 5 categorias dos valores dos extremos de precipitação+ que se pode observar na tabela 4. Posteriormente foi determinada a frequência com a qual cada extremo de precipitação esteve em cada uma das categorias. Os detalhes dos critérios de categorização dos valores de extremos de precipitação estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Critérios de categorização dos valores dos extremos de precipitação.

Categoria	Condição
Extremamente acima da média	Precipitação/Frequência da precipitação > 150%
Consideravelmente acima da média	150% > Precipitação /Frequência da precipitação > 125%
Próximo a média	125% > Precipitação/Frequência da precipitação > 75%
Moderadamente abaixo da média	75% > Precipitação/Frequência da precipitação > 50%
Extremamente abaixo da média	Precipitação/Frequência da precipitação < 50%

4 Resultados

4.1 Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação

Os índices PRCPTOT, Rx1day, R10, R20 e SDII (Tabela 5) apresentaram valores de Z negativos, indicando uma tendência decrescente ao longo do tempo. Em contraste, os índices CWD e CDD apresentaram valores de Z positivos, o que sugere uma tendência crescente ao longo do período analisado. Os índices PRCPTOT e Rx1day evidenciam uma tendência decrescente com valores de Z iguais a -0.49601 e -0.43549, porém sem significância estatística visto que os valores-p apresentados foram 0.61989 e 0.66321, respectivamente.

Os índices PR99pTOT e PR95pTOT evidenciaram uma tendência crescente, indicada pelos valores de Z, sendo 0.8169 referente ao índice PR99pTOT e 0.1573 ao índice PR95pTOT. O valor-p para o índice PR99pTOT foi de 0.41399 e para o PR95pTOT de 0.87501, indicando a falta de significância da tendência observada para os índices.

De acordo com os valores-p apresentados na tabela 6, nota-se que as tendências não são estatisticamente significativas para os índices os R10, R20 e R50, dentre os quais o que apresentou menor valor-p foi o R10 (Figura 4g) com 0.2801 e o mesmo apresentou tendência decrescente ao longo do tempo. Para os índices R20 e R50, que representam a duração da precipitação, apresentaram uma tendência crescente, (Figura 4h e 4i). O índice SDII, que mede a intensidade média diária de precipitação em dias chuvosos, também mostra uma tendência decrescente com valor de Z igual a -0.33871, mas não estatisticamente significativa visto que seu valor-p apresentou como resultado 0.73483 que é bem alto quando comparado ao limiar 0.05.

Tabela 5: Resultados dos cálculos de índices de extremos de precipitação.

Índices	Mann-Kendall (Z)	Slope (S)	Significância (P)
PRCPTOT	-0.49601	-42	0.61989
Rx1day	-0.43549	-37	0.66321
CWD	0.18499	16	0.85323

CDD	0.53323	45	0.59388
PR99pTOT	0.8169	-62	0.41399
PR95pTOT	0.1573	14	0.87501
R10	-1.08	-90	0.28015
R20	-0.85107	-71	0.39473
R50	0.049154	5	0.9608
SDII	-0.33871	-29	0.73483

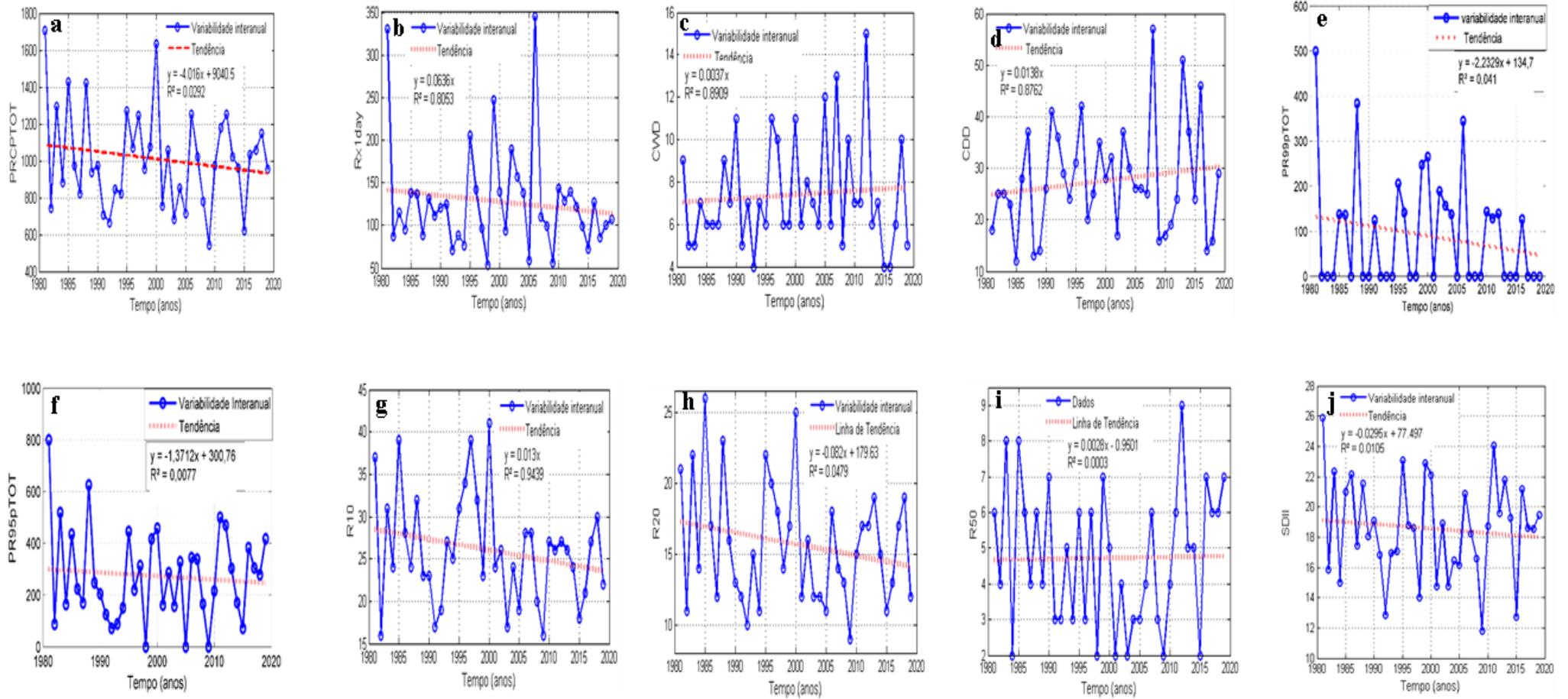


Figura 4: Variabilidade e tendência dos índices de precipitação extrema na região de Quelimane de 1981 a 2020.

4.2 Determinação dos diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI

A Tabela 6 apresenta diferentes cenários de ocorrência dos modos climáticos ENSO e DOI. Nela, é possível observar não apenas o número de vezes em que cada cenário ocorreu, mas também os respectivos anos de ocorrência. Entre os cenários analisados, constatou-se que o cenário Niño⁻ foi o mais frequente, ocorrendo em 11 anos durante o período de 39 anos analisado (1981–2020). Por outro lado, os cenários DOI⁻ e a co-ocorrência Niño⁻ & DOI⁻ apresentaram menor frequência, ocorrendo em apenas 3 anos. Outra particularidade observada foi que o cenário DOI⁺ não se manifestou em nenhum dos anos do período analisado.

Tabela 6: Diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI e seus respectivos anos de ocorrência.

Cenários	Número de vezes de ocorrência	Anos de ocorrência
Niño ⁺	9	1982, 1986, 1987, 1991, 1993, 2002, 2009, 2014, 2015
Niño ⁻	11	1983, 1985, 1988, 1995, 1999, 2000, 2007, 2008, 2010, 2011, 2017
Niño ⁺ & IOD ⁺	5	1994, 1997, 2006, 2018, 2019
IOD ⁺	-	-
IOD ⁻	3	1989, 1992, 1996
Niño ⁻ & IOD ⁻	3	1984, 1998, 2005
Neutro	8	1981, 1990, 2001, 2003, 2004, 2012, 2013, 2016

4.3 Comportamento dos extremos da precipitação em diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI

A análise dos dez índices relativos a extremos de precipitação, sob diversos cenários de manifestação dos modos climáticos El Niño Oscilação Do Sul (Niño) e Dipolo Do Oceano Indico (DOI), evidenciaram padrões distintos. Observou-se que nos índices PRCPTOT, PR99pTOT, PR95pTOT, R20, R50 e SDII a precipitação esteve acima da média (no caso, precipitação acima da que se observa em anos neutros) em cenários de Niño⁻ (Figura 5a, 5e, 5f, 5h, 5i, 5j). Em contrapartida para os mesmos índices, nos cenários de Niño⁺, bem como na co-ocorrência de Niño⁺ & DOI⁺, a precipitação mostrou-se consistentemente abaixo da média.

Em cenários de ocorrência de Niño⁻ e de co-ocorrência de Niño⁺ & DOI⁺ foram observadas precipitações acima da média para o índice PRCPTOT (Figura 5a), em contraste precipitações abaixo da média foram principalmente observadas em cenários de Niño⁺. Para o índice Rx1day (Figura 5b), foram observadas precipitações muito abaixo da média em cenários de co-ocorrência de Niño⁻ &

DOI⁻, enquanto isso precipitações mais próximas a média foram observadas em cenários de co-ocorrência de Niño⁺ & DOI⁺ e de ocorrência Niño⁻.

Para cenários de Niño⁺, o índice CWD (dias consecutivos com chuva) apresentou uma redução, registrando cerca de 6 dias, comparado aos 8 dias observados em cenários neutros. Já em cenários de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺, o número de dias consecutivos com chuva aumenta moderadamente, atingindo aproximadamente 7 dias. Por outro lado, em cenários de Niño⁻ e Niño⁻ & DOI⁻, observa-se um maior número de dias consecutivos húmidos, ultrapassando 8 dias (Figura 5c).

Quanto ao índice CDD (dias consecutivos secos), o cenário de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺ registou um menor número de dias secos consecutivos, alcançando cerca de 23 dias, os cenários de Niño⁻ e Niño⁻ & DOI⁻ também apresentam menor número de dias consecutivos secos, variando entre 25 dias. Enquanto isso os cenários de manifestação isolada de Niño⁺ e DOI⁻ apresentaram um número significativo de dias consecutivos sem chuva, no caso, cerca de 28 e 31, respectivamente (Figura 5d).

Nos índices PR99pTOT e PR95pTOT (Figura 5e e 5f), observou-se que em cenários de Niño⁻ as precipitações registadas estiveram consideravelmente acima da média, em contraposição tivemos cenários de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻ em que para o primeiro índice mencionado nem se quer houve precipitação e para o segundo mencionado a precipitação registada esteve muito abaixo da média.

Dentre os índices R10, R20 e R50, que são relativos aos números de dias em que as ocorrências diárias de precipitação excedem 10 mm, 20 mm e 50 mm, respectivamente, foram observados em cenários de Niño⁻ valores acima da média para número de dia de chuvas muito forte (R20) e número de dias de chuva extremamente intensas (R50), com cerca de 13 e 6 dias, respectivamente. Em contraste, o índice R10 apresenta valores mais elevados para o número de dias de chuvas intensas durante a co-ocorrência cenário do Niño⁺ & DOI⁺ (Figura 5g, 5h e 5i). Para os índices R10 e R20, o menor número de dias chuvosos são observados durante a ocorrência do cenário Niño⁺, enquanto para o índice R50, é observado durante o cenário de co-ocorrência do Niño⁻ & DOI⁻, reflectindo períodos mais secos com menor probabilidade de eventos extremos.

Observa-se na Figura 5j que o índice SDII variou entre os diferentes modos climáticas associadas ao ENSO e ao DOI. Os cenários de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺ e Niño⁻ destacam-se por apresentarem os valores mais elevados de SDII, variando de 19 a 21 mm/dia, respectivamente, o que indica que as chuvas são mais intensas nessas situações. Por outro lado, o cenário de co-ocorrência Niño⁻ & DOI⁻ apresenta valores abaixo da média, com cerca de 15 mm/dia, indicando que, quando ocorrem chuvas, elas são geralmente menos intensas. Por fim foi possível constatar que cenários de Niño⁺ e DOI⁻

tendem a reduzir a amplificação da maior parte dos índices, em contrapartida os cenários de Niño⁻ tendem a aumentar a amplificação da maior parte dos índices (Figura 5).

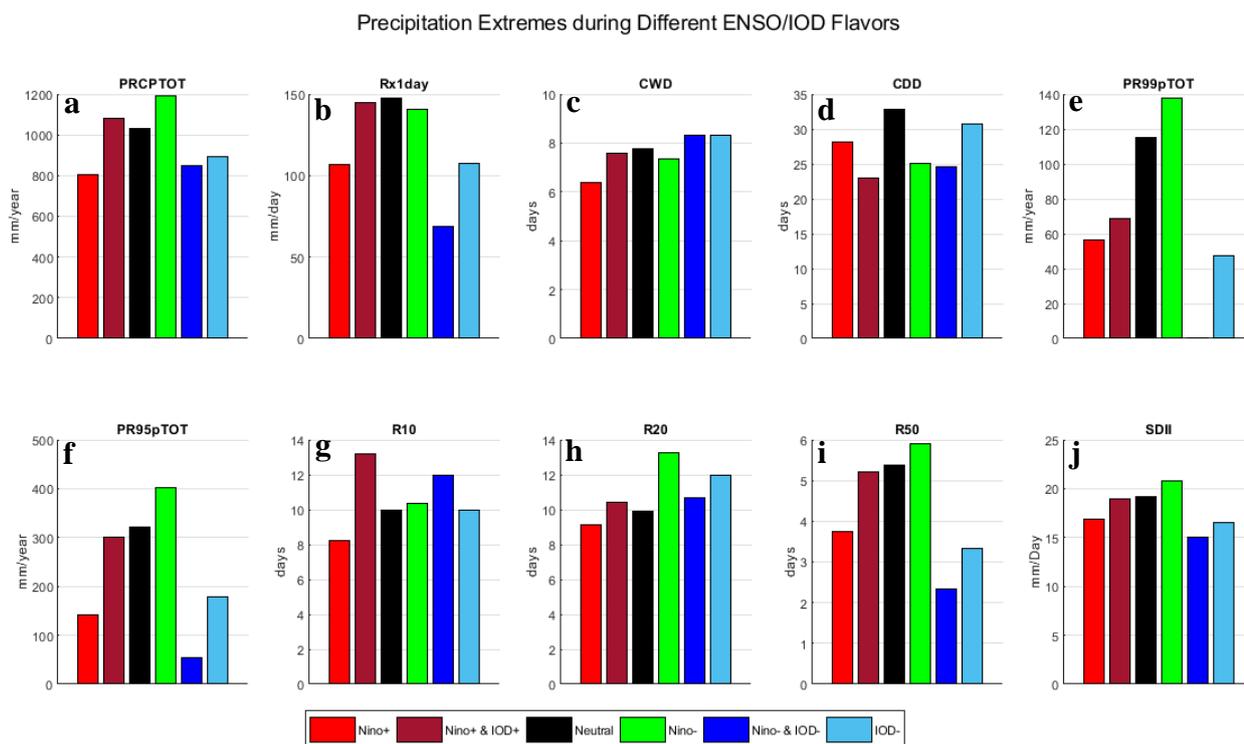


Figura 5: Interação entre os modos climáticos DOI e ENSO e sua relação com os índices de precipitação extrema.

Na Figura 6, cada gráfico de barras empilhadas apresenta distribuição percentual (classificação em diferentes categorias) dos extremos de precipitação sob diferentes dos modos climáticos ENSO e DOI. Observou-se que variações de precipitação próximas à média predominaram na maioria dos índices e cenários, excepto no índice PR99PTOT (Figura 6e). O índice PRCPTOT (Figura 6a) mostrou-se predominante em variações próximas à média, especialmente nos cenários de Niño⁺ & DOI⁺, onde 100% das precipitações estiveram próximas à média, em outros cenários, essa variação manteve-se entre 50 e 65%. No caso do índice Rx1day, notou-se uma predominância de valores totais de precipitação próximas à média em quase todos os cenários, com a excepção do cenário de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻, em cerca de 35% da precipitação registada esteve moderadamente abaixo da média e cerca de 65% de precipitações extremamente abaixo da média.

Nos índices CWD e CDD (Figura 6c e 6d), notou-se uma predominância de números de dias próximos à média em quase todos os cenários. No CDD, em cenários de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻, o número de dias próximos à média alcançaram 100%, enquanto isso em cenários de ocorrência de DOI⁻ a precipitação esteve distribuída em igual percentagem de (33,3%) nas categorias extremamente, acima da média, consideravelmente acima da média e moderadamente abaixo da

média. Já para o índice CWD, a segunda categoria mais observada foi de número de dias consideravelmente acima da média.

Para os índices PR99pTOT e PR95pTOT (6e e 6f), observaram-se variações divergentes. No PR99pTOT, houveram variações de precipitações extremamente acima da média, alcançando cerca 58% no cenário Niño⁻, enquanto variações consideravelmente acima da média foram menos frequentes, as variações extremamente acima da média foram mais frequentes, chegando a alcançar até 100% em cenários de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻. No caso do índice R95pTOT a distribuição da precipitação foi bastante diversificada para os diferentes cenários, tendo sido registradas precipitações extremamente acima da média em cerca de 60 % em cenários de Niño⁻, precipitações na categoria extremamente abaixo da média foram observadas em cenários de Niño⁺, com 50%, Niño⁻ & DOI⁻, com 70%) e DOI⁻ com 25%.

Os índices R10 e R20 (Figura 6g e 6h), apresentaram variações em todas as categorias, dentre as quais predominou número de dias próximos da média em todos os cenários, oscilando entre 30% e 60%. No cenário de DOI⁻, o R20 mostrou uma distribuição quase igualitária entre as categorias "extremamente acima da média", "próximo da média" e "moderadamente abaixo da média". No R10, uma distribuição semelhante foi observada, porém sem a presença de precipitações extremamente acima da média. No índice R50, cenários como Niño⁻ & DOI⁻ e DOI⁻ apresentaram variações nas categorias extremamente e moderadamente abaixo da média, chegando cerca 60%. Em contrapartida, em cenários de Niño⁻ e Niño⁺ & DOI⁺, foram observadas variações significativas de precipitação consideravelmente acima da média, em até cerca 60%.

Para o índice SDII (Figura 6j), observaram-se variações próximas à média, oscilando entre 70% e 100% em todos os cenários, indicando que grande parte da intensidade de precipitação ao longo da série temporal (1981–2020) manteve-se próxima à média. Por outro lado, os índices que apresentaram as menores percentagens de variações próximas à média foram PR99pTOT, PR95pTOT e R50.

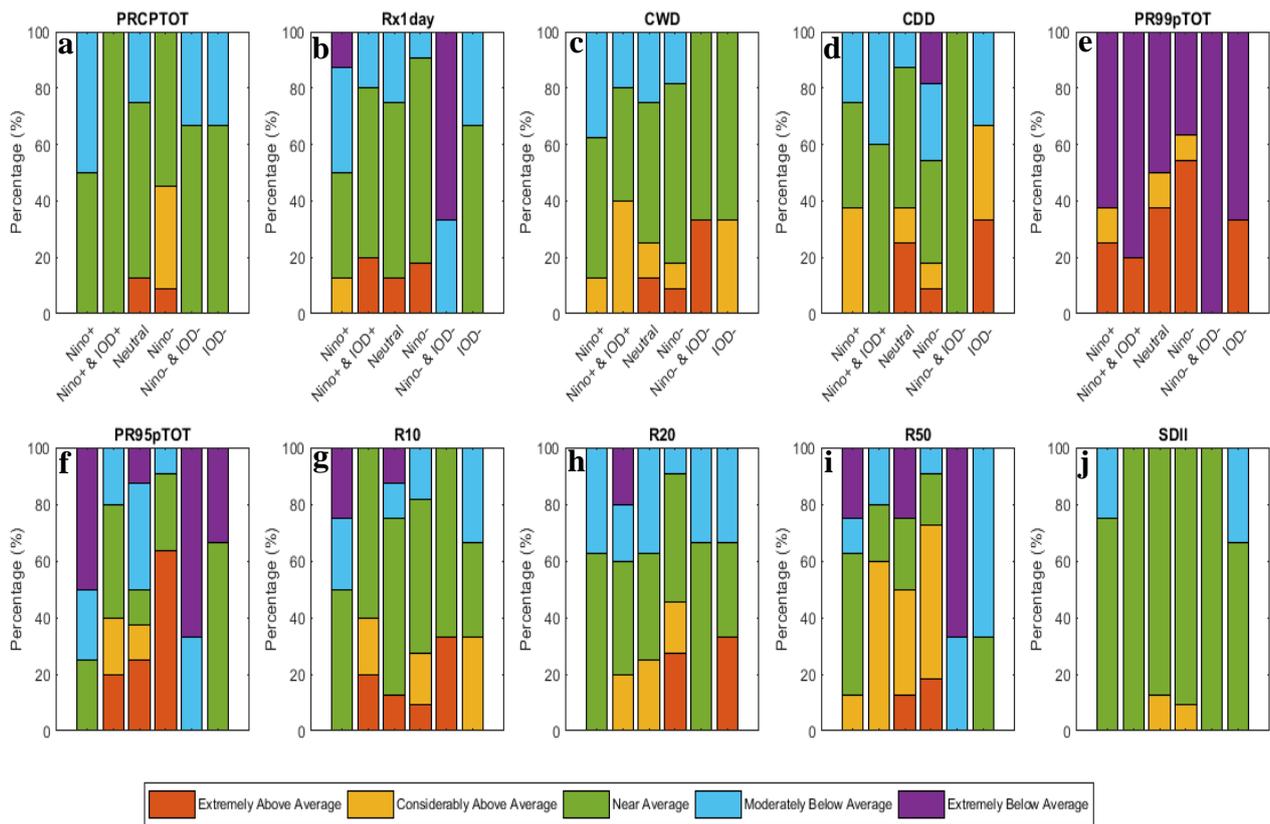


Figura 6: Distribuição percentual dos extremos de precipitação sob diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI.

5 Discussão

5.1 Descrição da variabilidade e tendências dos extremos de precipitação

A análise evidenciou padrões significativos de variabilidade interanual e sazonal nos extremos de ocorrência de precipitação, influenciados por modos climáticos ENSO e DOI. Predominantemente, observou-se uma tendência decrescente na maioria dos 10 índices avaliados, embora alguns casos específicos tenham apresentado tendência crescente. Os resultados estatísticos apresentam valores-p elevados, ou seja, $p \geq 0.05$ o que indica uma irrefutável hipótese nula, mostrando que não há tendência estatisticamente significativa nos dados.

Os resultados apresentaram tendências decrescentes ao longo do tempo, para índices os PRCPTOT, Rx1day, PR99pTOT, R10, R20 e SDII. A tendência decrescente observada nos índices PRCPTOT e Rx1day indica uma possível redução na quantidade total de chuva na região, com implicações negativas para a disponibilidade de água relacionada à agricultura e ao abastecimento urbano. No entanto, a ausência de significância estatística apresentada nos resultados sugere que a variabilidade da precipitação é fortemente modulada por oscilações climáticas como ENSO e DOI, cujas dinâmicas complexas podem mascarar tendências mais claras, nos índices mencionados e nos restantes índices também analisados no estudo. Machaieie *et al.*, (2020) afirmam que a variabilidade da precipitação em Quelimane está intimamente ligada ao ENSO, com El Niño associado a padrões de precipitação reduzida e La Niña a mais chuvas.

Chongue e Kazuaki (2024) destacam a interdependência entre os modos climáticos e a precipitação em Moçambique, com ENSO e DOI desempenhando papéis significativos na variabilidade interanual. Harpa *et al.*, (2021) também apontam que ENSO e DOI têm impactos directos na precipitação em Moçambique, com o DOI positivo frequentemente associado a condições mais húmidas.

Os índices R10 e R20, que medem a frequência de dias com ocorrência de precipitação intensa e de precipitação muito forte (acima de 10 mm e 20 mm, respectivamente), são indicadores cruciais para a compreensão da distribuição das chuvas. A baixa frequência dos índices, observada nos dados analisados, sugere um possível declínio no número de dias com chuvas significativas. Em contrapartida observou-se um aumento nos extremos de precipitação, PR99pTOT, PR95pTOT e R50, o que sugere uma mudança na distribuição da intensidade das chuvas sob o contexto das mudanças climáticas, visto que temos redução de chuvas significativas (R10 e R20) e um aumento de chuvas extremas, tais resultados corroboram com os resultados encontrados por Guan *et al.*, (2016), onde

observaram uma diminuição na frequência de eventos de precipitação intensa (R10mm e R20mm) e aumento nos eventos de precipitação extrema (R70mm) na Bacia do Rio Yangtze.

O SDII em declínio, mesmo que sem significância estatística, sugere que a intensidade das chuvas em dias chuvosos pode estar se tornando menos pronunciada, o que seria bom para casos de PR99pTOT, PR95pTOT e R50 visto que setes índices estão relacionados a chuvas extremas, reduzir a intensidade das chuvas pode mitigar problemas como inundações repentinas e erosão do solo, já para casos como Rx1day, PR99pTOT, R10, R20 a redução da intensidade das chuvas pode levar a uma distribuição de água menos eficiente, onde a água não é absorvida adequadamente pelo solo.

A pesquisa de Wang *et al.*, (2022) sugere que a diminuição da intensidade da precipitação pode ajudar a mitigar problemas como inundações repentinas e erosão do solo, especialmente em regiões vulneráveis. No entanto, a mesma pesquisa também aponta que a frequência de eventos extremos (como Rx1day e R20) pode não acompanhar essa tendência de redução, o que implica que a gestão hídrica deve ser adaptativa e considerar a variabilidade climática.

5.2 Diferentes cenários de manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI e seus respectivos anos de ocorrência.

Nos 39 anos analisados, foi feito um levantamento para a identificação de anos em que houve manifestação dos modos climáticos ENSO e DOI. Esta foi uma etapa imprescindível, até mesmo para a realização de outras análises. A análise realizada no presente estudo revelou que o cenário de Niño⁻ foi predominante, apresentando maior frequência comparativamente aos outros cenários, em contraste cenários de DOI⁻ e Niño⁻ & DOI⁻ apresentaram menor frequência. De um modo geral cenários de ENSO foram mais frequentes que cenários de DOI, tanto é que durante análise, não foram observados cenários de ocorrência isolada DOI⁺, significando que não se apresentou condição em que o dipolo modo índico é maior que o desvio padrão ($DMI > +\sigma$).

No que concerne a baixa frequência do DOI, os resultados corroboram com os encontrados por González *et al.*, (2020), onde os autores afirmam que embora o DOI tenha efeitos sobre a precipitação, eles não são tão marcantes quanto os associados ao ENSO.

Roxy *et al.*, (2014), também sustenta esta informação, afirmando que eventos positivos do DOI são frequentemente associados a eventos de ENSO, e que a variabilidade da monção asiática também pode desencadear eventos do DOI. Além disso, a pesquisa de Liu *et al.*, (2018) destaca que a influência do DOI é significativa, mas muitas vezes é condicionada pela presença do ENSO, o que pode obscurecer a observação de eventos isolados do DOI.

Ainda nestas observações nota-se que apenas uma vez observou-se a ocorrência consecutiva do cenário Niño⁺ & DOI⁺, para os anos 2018 e 2019, e tal resultado foi também observado por Wang e Cai (2020).

5.3 Comportamento dos extremos da precipitação face aos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI

Os resultados apresentados para o comportamento dos extremos da precipitação face aos diferentes cenários dos modos climáticos ENSO e DOI (Figura 5), reflectem a interação complexa entre os modos climáticos e sua influência sobre os extremos de precipitação na cidade de Quelimane. Os índices PRCPTOT, PR99pTOT, PR95pTOT, R20, R50 e SDII (Figura 5a, 5e, 5f, 5h, 5i, 5j) mostraram variações/frequências de precipitações acima da média em cenários de Niño⁻, indicando que esse modo climático favorece uma maior ocorrência de chuvas extremas e intensas e isto corrobora com a análise da variabilidade da precipitação na China feita por Zhang *et al.*, (2014). Em contrapartida, cenários de Niño⁺ e de co-ocorrência Niño⁻ & DOI⁻ registraram variações/frequências de precipitações consistentemente abaixo da média para esses índices, sugerindo que essas condições estão associadas a um padrão mais seco e com menor intensidade de chuvas.

Os índices CWD e CDD (Figura 5c, 5d) apresentaram dinâmicas divergentes. Cenários de Niño⁻ favoreceram maior regularidade na precipitação, com dias consecutivos de chuva próximos à média, enquanto Niño⁺ e DOI⁻ estiveram associados a períodos mais longos de seca, intercalados por dias de chuvas isoladas. Essa irregularidade nos cenários de Niño⁺ sugere maior variabilidade na distribuição de chuvas, enquanto Niño⁻ tende a amplificar padrões mais consistentes de dias chuvosos (Machaieie *et al.*, 2020).

Para os índices PR99pTOT e PR95pTOT (Figura 5e, 5f), considera-se que o melhor cenário é o de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻, pois neste cenário observou-se menor frequência de eventos extremos, o que contribui para a redução de riscos de inundação, o que é benéfico para a cidade de Quelimane, visto que a cidade tem como uma das suas fontes de economia a agricultura de arroz, cultura esta que quando se está em situações de inundações corre riscos desde a quantidade até a qualidade do cultivo.

Cenários de Niño⁻ não são favoráveis visto que mostraram variações na categoria extremamente acima da média, reforçando a ideia de contribuírem para o aumento da frequência de eventos extremos. Em relação aos eventos extremos tem-se R50 que apresentou variações (6 dias) elevadas em cenários de Niño⁻, indicando que este cenário está relacionado a dias de chuva extremamente intensa o que não é benéfico para a agrícola na cidade de Quelimane, de acordo com o que se observou nos resultados o cenário ideal para este índice é o de co-ocorrência Niño⁻ & DOI⁻, pois reflectem baixa probabilidade de ocorrência eventos extremos e o mesmo foi destacado por Kurniadi *et al.*, (2021).

O cenário de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺ cria condições adequadas para um aumento no número de dias de chuvas intensas (R10) e constatações semelhante foram levantadas no estudo de Cao *et al.*, (2019). No entanto, a ausência de uma amplificação proporcional a índices de chuvas muito fortes e extremamente intensas (R20 e R50) indica que esse cenário climático não necessariamente favorece eventos extremos, mas uma distribuição mais eficiente do número de dias de chuvas fortes, o que favorece padrões de previsões mais regulares durante a co-ocorrência de Niño⁺ & DOI⁺, ou que beneficiará sectores como a agricultura em algumas situações, dependendo da capacidade do solo de absorção de água. Em cenários de Niño⁻ & DOI⁻ e DOI⁻ o número de dias de chuva muito forte (R20) esteve acima da média, tendo sido o cenário de Niño⁺ o mais favorável (Figura 5g 5h 5i).

Resultados observados para o índice SDII (Figura 5j), sugerem que cenários de Niño⁻ e de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺ estão relacionados a chuvas mais intensa, em contrapartida cenários de Niño⁺ e co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻ estiveram relacionados a chuvas menos intensas. De um modo geral é importante compreender que, embora o ENSO tenha a capacidade de obscurecer a manifestação do DOI, o ENSO quando co-ocorre com o DOI tem seu efeito reduzido.

Foi possível observar que enquanto o cenário de Niño⁺ reduzia a amplificação de índices como PRCPTOT cenários de co-ocorrência Niño⁺ & DOI⁺ aumentava a amplificação do mesmo índice e para confirmar esta divergência no comportamento dos modos climáticos o mesmo se repete nas fases negativas dos modos, quando cenários de Niño⁻ ocasionam um aumento na amplificação de PRCPTOT e Niño⁻ & DOI⁻ e DOI⁻ reduzem a amplificação do mesmo índice. Isto sugere que a interação entre estes dois modos não é linear. Stuecker *et al.*, (2017) discutem como a ocorrência de eventos extremos de El Niño pode ser intensificada pela presença de um DOI positivo, resultando em padrões de precipitação mais intensos. Em contrapartida, a presença de um DOI negativo pode atenuar os efeitos de um El Niño positivo, levando a chuvas menos intensas (Hameed *et al.*, 2018).

De um modo geral, na distribuição percentual das frequências/precipitações (Figura 6), foi predominante a categoria próxima à média para maioria dos índices e cenários, no entanto esta categoria foi menos pronunciada em índices que medem eventos extremos, como PR99pTOT, PR95pTOT e R50 (Figura 6e, 6f, 6g). Sugerindo maior instabilidade nos índices PR99pTOT, PR95pTOT e R50, dificultando a previsão precisa dos eventos extremos e aumentando os desafios para a gestão de recursos hídricos e mitigação de riscos climáticos.

Foi notável que cenários de co-ocorrência de Niño⁺ & DOI⁺ garantiram maior estabilidade na variação do índice PRCPTOT, visto que a distribuição percentual foi de 100 na categoria de variações próximas a média o que permite previsões mais claras e precisas favorecendo a estabilização de um padrão na

precipitação e contribuindo para um melhoramento na gestão agrícola e hídrica. O cenário de ocorrência de Niño⁻ foi o que apresentou instabilidade para o índice PRCPTOT, visto que houve distribuição percentual em três categorias e tornando as chuvas mais imprevisíveis. Para o índice Rx1day o cenário de co-ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻, foi menos favorável, visto que 70% da precipitação correspondeu a categoria extremamente abaixo da média e 30% a categoria moderadamente abaixo da média, o que seria favorável para o caso dos índices PR99pTOT, PR95pTOT e R50.

O cenário de ocorrência de Niño⁻ não é favorável quando o assunto são eventos extremos, no caso, PR99pTOT, PR95pTOT e R50, visto que predomina uma distribuição percentual de categorias extremamente e consideravelmente acima da média. O cenário favorável para PR99pTOT, PR95pTOT e R50 é o de ocorrência de Niño⁻ & DOI⁻ visto que a categoria predominante é de variações extremamente abaixo da média, indicando menos riscos de eventos extremos. A figura 7 apresentada no anexo, mostrou que o R50 contribui significativamente em cenários de Niño⁻, evidenciando a forma como as características climáticas influenciam directamente os padrões de ocorrência de precipitações acima de 50 mm na região de Quelimane, tornando-a particularmente susceptível a desastres associados a chuvas intensas. A alta concentração de chuvas em poucos dias pode sobrecarregar os sistemas de drenagem e aumentar significativamente o risco de enchentes, afectando a infraestrutura, a agricultura e a segurança alimentar de uma população dependente da subsistência agrícola.

Os resultados sugerem uma estabilidade a distribuição percentual dos índices CWD, CDD, e SDII, visto que a categoria predominante é a de variações próximas a média principalmente para o índice SDII, a estabilidade observada para a distribuição percentual do índice SDII, sugere que a intensidade das chuvas em dias chuvosos manteve-se regular ao longo da série temporal. A predominância de variações próximas à média nos índices sugere uma estabilidade geral nas condições climáticas, indicando que, apesar das flutuações, não há uma tendência acentuada de aumento ou diminuição das precipitações em termos de dias consecutivos secos e húmidos.

Isso pode ser interpretado como um sinal de que as condições climáticas em várias regiões estão se mantendo relativamente constantes, o que é crucial para a agricultura e a gestão de recursos hídricos, no entanto existe a necessidade de considerar a influência dos modos climáticos ENSO e DOI, pois foi possível notar que em cenários de Niño⁺, Niño⁺ & DOI⁺, Niño⁻ & DOI⁻ e DOI⁻ a distribuição foi mais diversificada para os índices CWD e CDD.

6 Conclusão

Este estudo analisou a variabilidade e tendência dos extremos de precipitação em Quelimane durante o período de 1981-2020, e as influências relativas do ENSO e DOI sob a hipótese de que o DOI actua como uma força secundária com efeito modulador dos efeitos do ENSO.

- A análise das tendências dos índices de precipitação revelou mudanças importantes nos padrões pluviométricos em Quelimane, onde, quase todos os índices analisados não mostraram tendências estatisticamente significativas, no entanto, observou-se uma redução nos índices relacionados à precipitação total e extrema, enquanto os períodos consecutivos sem chuva (CDD) apresentaram tendência crescente, indicando uma intensificação das condições de estiagem. Por outro lado, o aumento nos períodos consecutivos com chuva (CWD) reflecte a concentração de precipitação em eventos mais intensos, elevando o risco de inundações. Esses resultados sugerem cenários preocupantes para a segurança hídrica e alimentar, especialmente em uma região vulnerável às mudanças climáticas e dependente da agricultura de subsistência, que é a cidade de Quelimane.
- Da análise de frequência dos eventos ENSO e DOI foram identificados sete tipos distintos de manifestação dos fenómenos ENSO e DOI, considerando tanto ocorrências isoladas quanto co-ocorrências. Entre essas manifestações, observou-se a ausência de eventos isolados da fase positiva do DOI e uma baixa frequência de eventos isolados da fase negativa do DOI, em contraste com a maior prevalência de eventos associados ao ENSO (fase positiva: 9 ocorrências; fase negativa: 11 ocorrências). Esses resultados sugerem que o DOI raramente actua como um fenómeno independente, mas, em muitos casos, pode ser uma manifestação modulada pelo ENSO, e não um modo climático completamente autónomo. Esse padrão reforça o papel do ENSO como o principal modulador das variações interanuais de precipitação na região da África Austral, incluindo Quelimane, corroborando com estudos anteriores que destacam sua predominância em regiões tropicais.
- Os resultados também confirmaram que o ENSO tem um papel dominante na modulação da variabilidade da precipitação. Durante sua fase positiva, observou-se uma redução nos níveis de precipitação e na frequência de chuvas fortes e extremas, enquanto sua fase negativa apresentou padrões opostos. No entanto, o estudo também destacou a actuação moduladora do DOI sobre o ENSO. Durante a co-ocorrência de fases positivas do ENSO e DOI, a precipitação foi maior do que durante eventos isolados de ENSO positivo. Por outro lado, durante a co-ocorrência de fases negativas do ENSO e DOI, a precipitação foi menor do que

nos eventos isolados de ENSO negativo. Esses resultados indicam que o DOI modula os extremos causados pelo ENSO, ajustando os níveis de precipitação para valores mais próximos da média.

- Um aspecto digno de realce foi a associação entre eventos de La Niña e chuvas fortes, que, em anos caracterizados por este fenómeno, chegaram a contribuir com até 50% da precipitação total anual em apenas seis dias. Esse padrão reforça a relação entre La Niña e eventos extremos de precipitação, destacando o impacto potencial de fenómenos climáticos no aumento do risco de inundações.
- Estes resultados ressaltam a importância de incorporar o impacto conjunto de ENSO e DOI no planeamento climático e na gestão de riscos hidrológicos. As tendências identificadas também sugerem a necessidade de estratégias adaptativas para lidar com os desafios climáticos emergentes, incluindo eventos extremos alternados, como secas severas associadas ao El Niño e inundações relacionadas à La Niña.

6.1 Recomendações

Os resultados obtidos no presente estudo sugerem que:

- Dada a falta de significância estatística nas tendências observadas, é necessário realizar um estudo mais aprofundado que investigue a complexidade das interações climáticas, no caso fenómenos atmosféricos e oceanográficos que, com ênfase na influência regional dos fenómenos ENSO e DOI. Este estudo deverá aprimorar a compreensão dessas interações, para apoiar a formulação de estratégias eficazes de gestão agrícola e hídrica, especialmente em regiões vulneráveis como Quelimane.
- Desenvolver modelos que prevejam diferentes cenários de ocorrência ou ausência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, associados ao ENSO e ao DOI, e as suas implicações para a agricultura e a gestão hídrica em várias regiões. Estes modelos permitirão uma melhor compreensão e preparação para enfrentar eventos climáticos extremos, promovendo estratégias mais eficazes de mitigação e adaptação.

7 Bibliografia

- Abrão, N. J., Henley, B. J., Gupta, A. S., Lippmann, T. J., Clarke, H., Dowdy, A. J., . . . Boer, M. M. (07 de Janeiro de 2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. doi:<https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8>
- Abid, M. A., Ashfaq, M., Kuchars, F., Evans, K. J., & Almazroui, M. (14 de Setembro de 2020). Tropical indian ocean mediates enso influence over central southwest asia during the wet season. doi:<https://doi.org/10.1029/2020GL089308>
- Alexander, L. V., Fowler, H. J., Bador, M., Behrangi, A., Don, M. G., Dunn, R., . . . Venugopal, V. (2019). On the use of indices to study extreme precipitation on sub-daily and daily timescales. *Environmental research letter*. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab51b6>
- AMBIENTAL, D. N. (2005). *AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO*. Maputo.
- Angela. (Julho de 2018). ESPECTRO CRUZADO E COERENCIA WAVELET: UM ESTUDO DE VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS EM FRACÕES URBANAS NA CIDADE DE CUIBA, MT.
- Ashok, K., Guan, Z., & Yamagata, T. (1 de Dezembro de 2001). Impact of the Indian Ocean Dipole on the Relationship between the Indian Monsoon Rainfall and ENSO. doi: <https://doi.org/10.1029/2001GL013294>
- Araújo, R. G., Andreoli, R. V., Candido, L. A., Kayano, M. T., & de Souza, R. A. (2013). A influência do evento el niño - oscilação sul e atlântico equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da américa do sul. *Acta Amazonica*. doi:<https://doi.org/10.1590/s0044-59672013000400009>
- Arsego, D. A., Ferraz, S. E., Streck, N. A., Cardoso, A. d., Junior, A. Z., & Cera, J. C. (2020). Índices Climáticos Associados a Variabilidade Interanual da Produtividade de Arroz no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*. doi:<https://doi.org/10.1590/0102-7786351033>
- Behera, S. K., & Yamagata, T. (15 de Janeiro de 2021). Subtropical SST dipole events in the southern Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 28. doi:<https://doi.org/10.1029/2000GL011451>
- Boeira, L. d., Neto, M. B., Neves, L. d., Terra, V. S., & Collares, G. L. (2020). Evapotranspiração de referência pelo método de penman-monteith em anos de enos para microrregião de pelotas-rs. *Irriga*. doi:<https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p537-548>

- Bomês, E. M. (2021). *MONITORAMENTO DA DINÂMICA DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE QUELIMANE A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS DE SENTINEL-2*. Quelimane.
- Cambula, B. I. (Agosto de 2005). *RELAÇÃO O ENTRE A VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA, ALTITUDE E CASOS DE COLERA EM MAÇAMBIQUE*. Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Física.
- Cangela, G. L., Júnior, G. d., Morais, J. E., Silva, J. R., Jardim, A. M., Silva, Ê. F., & Lampião, J. L. (29 de Junho de 2021). Análise Temporal da Chuva e Balanço Hídrico Climatológico para o Município de Chimoio, Moçambique. *Revista Brasileira de Geografia Física*. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p650-660>
- Cao, Q., Hao-Cidade, Z., Zhou, J., Wang, W., Yuan, F., Zhu, W., & Yu, C. (13 de janeiro de 2019). *Impactos de vários tipos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e ENOS Modoki na estação chuvosa na bacia do rio Huaihe*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.6002>
- Chakravorty, S., Pérez, R. C., Gnanaseelan, C., & Anderson, u. T. (26 de Outubro de 2021). Revisiting the Recharge and Discharge Processes for Diferentes sabores do El Niño. *Journal of geophysical Research: Oceanos*. doi:<https://doi.org/10.1029/2020JC017075>
- Chongue, L. A., & Kazuaki, N. (01 de Junho de 2024). The influence of tropical and subtropical modes of climate variability on precipitation in mozambique. *International Journal of Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.8509>
- Clem, K. R., & Fogt, R. L. (Outubro de 2013). Funções variáveis do ENSO e do SAM no clima da Península Antártica na primavera austral. *Revista de Pesquisa Geofísica: Atmosferas*.
- Colher, C. M. (Janeiro de 2020). Análise da Variabilidade da Temperatura e Precipitação e sua Correlação na Ocorrência da Malária em Quelimane, Moçambique. doi: 10.5433/2447-1747.2020v29n1p65
- Fall, C. M., Lavaysse, C., Drame, M. S., Panthou, G., & Gaye, A. T. (9 de March de 2021). Wet and dry spells in Senegal: comparison of detection based on satellite products, reanalysis, and in situ estimates. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-21-1051-2021>
- Felix, M. L., Kim, J.-k., Choi, M., Kim, J.-C., Do, X. K., Nguyen, T., & Jung, K. (10 de Novembro de 2021). Detailed trend analysis of extreme climate indices in the upper geum river basin. *Water*. doi:<https://doi.org/10.3390/w13223171>

- Gebre, S., Abraha, Z., & Zenebe, A. (2023). Precipitation variability and its teleconnection with the global SST and ENSO indices in the food-insecure rural areas of Tigray. *Theoretical and Applied Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-023-04717-5>
- González, N., González, C., & González, N. (13 de Janeiro de 2022). Proposal of climate variability indicators with monthly data applied to warm climates on coastal zones of Mexico. *Original Article*. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1173>
- Guan, Z., Yamagata, T., & Ashok, K. (2003). A Look at the Relationship between the ENSO and the Indian Ocean Dipole. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 81.
- Guimarães Santos, C. A., de Macedo Machado Freire, P. K., & Torrence, C. (Setembro de 2013). A Transformada Wavelet e sua Aplicação na Análise de Séries Hidrológicas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 18 (n.3).
- Harpa, R. D., Colborn, J. M., Candrinho, B., Colborn, K. L., Zhang, L., & Karnauskas, K. B. (20 de Janeiro de 2021). Interannual climate variability and malaria in Mozambique. *Geohealth*. doi:<https://doi.org/10.1029/2020gh000322>
- Harmeling, S., & Eckstein, D. (2021). Global climate risk index 2021. Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2019 and 2000–2019. (A. f. <http://www.germanwatch.org/en/crri>, Compilador)
- HELD, I., & SODEN, B. (2006). Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. *J. CLIMATE*, 19. doi:<https://doi.org/10.1175/JCLI3990.1>
- Herrera, M. C., & Correa, C. A. (2016). An assessment of El Niño and La Niña impacts focused on monthly and seasonal rainfall and extreme dry/precipitation events in mountain regions of Colombia and México. 42. doi:[doi:10.5194/adgeo-42-23-2016](https://doi.org/10.5194/adgeo-42-23-2016)
- Hussain, A., Cao, J., Hussain, I., Begum, S., Akhtar, M., Wu, X., . . . Zhou, J. (28 de Julho de 2021). Observed Trends and Variability of Temperature and Precipitation and Their Global Teleconnections in the Upper Indus Basin, Hindukush-Karakoram-Himalaya. *Atmosphere*. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos12080973>
- Hussain, A., Cao, J., Hussain, I., Begum, S., Akhtar, M., Wu, X., . . . Zhou, J. (2021). Observed Trends and Variability of Temperature and Precipitation and Their Global Teleconnections in the Upper Indus Basin, Hindukush-Karakoram-Himalaya. *Atmosphere*. Hameed, S., Jin, D., & Thilakan, V. (2018). A model for super El Niños. doi:[10.1038/s41467-018-04803-7](https://doi.org/10.1038/s41467-018-04803-7)

- Hoguane, A. M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Gestão Costeira Integrada*.
- HOLGATE, C., EVANS, J. P., TASCHETTO, A. S., GUPTA, A. S., & SANTOSO, A. (22 de Janeiro de 2022). The Impact of Interacting Climate Modes on East Australian Precipitation Moisture Sources. doi: 10.1175/JCLI-D-21-0750.1
- Hou, X., Long, D., Hong, Y., & Xie, H. (11 de Outubro de 2016). Seasonal to Interannual Variability of Satellite-Based Precipitation Estimates in the Pacific Ocean Associated with ENSO from 1998 to 2014. *remote Sensing*. doi:10.3390/rs8100833doi:https://doi.org/10.3390/atmos10070372
- Iizumi, T., Luo, J.-J., Challinor, A. J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., . . . Yamagata, T. (15 de Maio de 2014). Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature communications*.
- IPCC, I. P. (2014). *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. . doi: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Jethá, S. B. (2024). Vulnerabilidade das infraestruturas rodoviárias em moçambique mediante a ocorrência dos eventos climáticos extremos. *Boletim Geoáfrica*. doi:https://doi.org/10.59508/geoafrica.v2i8.63363
- Jones, S., Harris, L., Kennedy, A., & Wallis, A. (10 de Novembro de 2023). *Do risco climático à resiliência: destrinchando os impactos económicos das alterações climáticas em Moçambique, novembro de 2023*.
- Julliana Larise Mendonça Freire, J. R. (2011). Análise de Aspectos Meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em Anos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 19.
- KENYON, J., & HEGERL, G. C. (21 de Dezembro de 2007). Influence of Modes of Climate Variability on Global Temperature Extremes. *JOURNAL OF CLIMATE*, 21. doi:10.1175/2008JCLI2125.1
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S.-K., & Seong, M.-G. (05 de Fevereiro de 2021). Independent enso and DOI impacts on rainfall extremes over indonesia. *International Journal of Climatology*. doi:https://doi.org/10.1002/joc.7040

- Lal , A., Hashizume , M., & Hales , S. (26 de Junho de 2017). Indian Ocean Dipole and Cryptosporidiosis in Australia: Short-Term and Nonlinear Associations. doi:10.1021/acs.est.6b05146
- Lamboni, B., Emmanuel, L. A., Manirakiza, C., & Djibib, Z. M. (6 de March de 2019). Variability of Future Rainfall over the Mono River Basin of West-Africa. *American Journal of Climate Change*, 8. doi:https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00410.1
- Langa, S. M. (2008). *Análise e Previsão de Marés na Baía de Maputo*. Maputo.
- Li , Z., Cai , W., & Lin, X. (22 de Agosto de 2016). Dynamics of changing impacts of tropical indo-pacific variability on indian and australian rainfall. *Scientific Reports*. doi:https://doi.org/10.1038/srep31767
- Li, c., & Zhao, T. (03 de Julho de 2019). Seasonal responses of precipitation in china to el niño and positive indian ocean dipole modes. *Atmosphere*. doi:https://doi.org/10.3390/atmos10070372
- Li, X., Meshgi, A., & Babovic, V. (4 de Janeiro de 2016). Spatio-temporal variation of wet and dry spell characteristics of tropical precipitation in Singapore and its association with ENSO. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*. doi: 10.1002/joc.4672
- Lobo, J. J. (1999). *CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM MOÇAMBIQUE: A INFLUÊNCIA DO ENSO*. UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, DE FISICA.
- Lisa V Alexander, H. J. (2019). *On the use of indices to study extreme precipitation on sub-daily and daily timescales*.
- Liu, J., Zhang, Y., Yang, Y., Gu, X., & Xiao, M. (2018). Investigando as relações entre as inundações australian e Índices Climáticos em Grande Escala e Possível Mecanis. doi:https://doi.org/10.1029/2017JD028197
- Loughran , T. F., Perkins-Kirkpatrick,, S. E., & Alexandre, L. V. (26 de Dezembro de 2016). Understanding the spatio-temporal influence of climate variability on australian heatwaves. *International Journal of Climatology*. doi:https://doi.org/10.1002/joc.4971
- Machaieie, H. A., Silva, C. G., Oliveira, E. N., Júnior, H. I., & Almeida, H. A. (Julho de 2020). Variability and Trends of Precipitation in Quelimane, Central Mozambique, and Their Relation to El Niño Southern Oscillation. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8. doi: 10.4236/gep.2020.87001.

- Macane, A., & Mate, A. P. (18 de Abril de 2022). Efeitos das mudanças climáticas na economia de Moçambique. doi:<https://doi.org/10.59508/geoafrica.v1i1.51601>
- Mahumane, A. A. (2019). *A Ocorrência de Eventos Climáticos Extremos de Precipitação e a sua Relação com Fenômenos El Niño e La Niña na Cidade de Xai-Xai (1951-2017)*. Universidade Pedagógica de Maputo.
- Manhique, A., CJC, R., & Barimalala, R. (29 de Maio de 2023). Rainfall onset and cessation over Mozambique and relationship to sea surface temperature and atmospheric patterns. *43*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.8120>
- MARKUS KOTTEK, J. G. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. doi:[10.1127/0941-2948/2006/0130](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130)
- Matzenauez, R., Radin, B., & Maluf, J. R. (2018). O fenômeno ENSO e o regime de chuvas no rio grande do sul. *Agrometeoros*. doi:<https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25510>
- Moihamette, F., Pokam, W. M., Diallo, I., & Washington, R. (17 de Janeiro de 2022). Extreme indian ocean dipole and rainfall variability over central africa. *International Journal of Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.7531>
- Molion, C. B., & Bernado, S. D. (2002). UMA REVISÃO DAS CHUVAS NO NORDESTE BRASILEIRO. *Revista brasileira de meteorologi*, v.17, n.1, 1-10.
- Montero-Martínez, M., Pita-Díaz, O., & Andrade-Velázquez, M. (2022). Potential influence of the atlantic multidecadal oscillation in the recent climate of a small basin in central mexico. *Atmosphere*. doi:<https://doi.org/10.3390/atmos13020339>
- Morán-Tejeda, E., Bazo, J., López-Moreno, J. I., Aguilar, E., Azorín-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., . . . Vicente-Serrano, S. M. (15 de Janeiro de 2016). Climate trends and variability in ecuador (1966-2011). *International Journal of Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.4597>
- Nganhane, H. V. (2019). *Análise do uso de esporões como medida de estabilização da erosão costeira – exemplo das praias da Cidade da Beira e Cidade de Maputo (Moçambique)*. beira.
- Ning, L., & Bradley, R. (02 de abril de 2015). Influência dos eventos El Niño do Pacífico oriental e do Pacífico central nos extremos climáticos de inverno no leste e centro dos Estados Unidos. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.4321>

- Oliveira, A. G., Macedo, M. d., & de Oliveira, I. J. (2023). Eventos extremos de precipitação em Morrinhos (GO): análise dos padrões de distribuição temporal (1974 a 2019). *Élisée - Revista de Geografia da UEG*. doi:<https://doi.org/10.31668/elisee.v12i01.13803>
- Oliva, F. G., Vasconcellos, F. C., da Silva, T. M., & Pizzochero, R. M. (30 de Setembro de 2021). Extremos de gelo marinho antártico no mar de weddell e relações com padrões de teleconexões climáticas. *Revista Brasileira De Geografia Física*. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2739-2754>
- Palé, S. A., Simbe, M. P., & Miguel, L. L. (25 de Junho de 2023). Dinâmica hidrogeológica dos aquíferos costeiros da Cidade de Quelimane, Moçambique. doi:<https://doi.org/10.14295/ras.v37i3.30230>
- Peterson, A. T., Sanchez-Cordero, V., Soberon, J., Bartley, J., Buddemeier, R. W., & Navarro-Siguenza, A. (18 de Abril de 2001). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae.
- Pinheiro, G. M., & Vide, J. M. (2018). TENDÊNCIAS PLUVIOMÉTRICAS NO MUNICÍPIO DE IRATI, PR. *Revista Brasileira De Climatologia*. doi:<https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.50867>
- PUI, A., SHARMA, A., SANTOSO, A., & WESTRA, S. (1 de Maio de 2012). Impact of the El Niño–Southern Oscillation, Indian Ocean Dipole, and Southern Annular Mode on Daily to Subdaily Rainfall Characteristics in East Australia. doi:10.1175/MWR-D-11-00238.1
- Reason, C. J. (2007). Tropical cyclone Dera, the unusual 2000=01 tropical cyclone season in the southwest Indian Ocean and associated rainfall anomalies over Southern Africa. *Meteorol Atmos Phys*. doi:DOI 10.1007/s00703-006-0251-2
- ROXY, M. K., RITIKA, K., TERRAY, P., & MASSON, S. (Setembro de 2014). The Curious Case of Indian Ocean Warming. doi:<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00471.1>
- Roy, S. S., & Roy, N. S. (22 de Dezembro de 2010). Influence of pacific decadal oscillation and el niño southern oscillation on the summer monsoon precipitation in myanmar. *International Journal of Climatology*. 31. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.2065>
- Saji, N., Goswami, B., Vinayachandran, P., & Yamagata, T. (23 de Setembro de 1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean.

- Salviano, M. F., Groppo, J. D., & Pellegrino, G. Q. (2016). Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*,. doi:<https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>
- Souza, C. A., & Reboita, M. S. (2021). *Ciências Atmosféricas- UNIFEI*. doi:DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474
- Stéphanie Froidurot, A. D. (21 de Fevereiro de 2017). *Characteristics of wet and dry spells in the West African monsoon system*. Université Grenoble Alpes. doi:10.1002/asl.734
- Stuecker , M., Timmermann, A., Jin, F.-F., Chikamoto, Y., Zhang, W., Wittenberg, A., . . . Zhao, S. (02 de March de 2017). Revisitando as relações de fase ENSO/Dipolo do Oceano. *Geophysical Research Letters*. doi:<https://doi.org/10.1002/2016GL072308>
- Stuecker, M. F., Timmermann, A., Jin, F.-F., Chikamoto, Y., Wenjun , Z., Wittenberg, A., . . . Zhao, S. (2017). Stuecker, M., Timmermann, A., Jin, F., Chikamoto, Y., Zhang, W., Wittenberg, A., . . . & Zhao, S. (2017). Revisiting enso/indian ocean dipole phase relationships. *Geophysical Research Letters*. doi:<https://doi.org/10.1002/2016gl072308>
- Tangang, F., Farzanmanesh, R., Mirzaei, A., Supari, S., Salimun, E., Jamaluddina , A. F., & Juneng, L. (Março de 2017). Characteristics of precipitation extremes in malaysia associated with el niño and la niña events. *International Journal of Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.5032>
- Tank, A. M., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (2009). *Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*.
- Tembe, S. A. (Junho de 2011). Estudo de aspectos biológicos e crescimento do camarão *Exopalaemon styliferus* (H. Mile Edwards, 1840) no estuário dos Bons Sinais, distrito de Quelimane, província da Zambézia.
- Tebaldi, E., & Beaudin, L. (17 de Agosto de 2015). Mudanças climáticas e crescimento econômico no Brasil. doi:DOI:10.1080/13504851.2015.1076141
- Terassi , P. M., de Oliveira-Júnior, J. F., de Góis, G., & Galvani, E. (2018). Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do paraná associada aos eventos de el niño-oscilação sul. *Revista Brasileira De Meteorologia*. doi:<https://doi.org/10.1590/0102-7786331002>

- TIQUE, A. T. (2015). *Análise da Climatologia Dinâmica da Variabilidade da Precipitação na Região Sudeste da África*. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS.
- Trindade, P. M., & Filho, W. P. (1998). Conceitos Básicos Sobre Clima e Tempo.
- Ussalu, J. L., & Bassrei, A. (15 de Agosto de 2023). Long memory and trend in time series of precipitation in Mozambique. *154*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-023-04579-x>
- Vondou, D. A., Guenang, M., Djiotang, T. L., & Kamsu-Tamo, P. H. (16 de Junho de 2021). Trends and interannual variability of extreme rainfall indices over cameroon. *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su13126803>
- Wang, Y., Peng, Z., Wu, H., & Wang, P. (30 de Maio de 2022). Spatiotemporal Variability in Precipitation Extremes in the Jianghuai Region of China and the Analysis of Its Circulation Features. doi: <https://doi.org/10.3390/su14116680>
- Wang, G., & Cai, W. (2020). Two-year consecutive concurrences of positive Indian Ocean Dipole and Central Pacific El Niño preconditioned the 2019/2020 Australian “black summer” bushfires. doi:<https://doi.org/10.1186/s40562-020-00168-2>
- Weller, E., Min, S.-K., Seong, M.-G., & Kurniadi, A. (05 de Fevereiro de 2021). Independent enso and DOI impacts on rainfall extremes over indonesia. *International Journal of Climatology*. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.7040>
- WIJAYA, A., ZAKIYAH, U., BAKAR, S. D., & SETYOHADI, D. (2020). Spatio-temporal variability of temperature and chlorophyll-a concentration of sea surface in bali strait, indonesia. *BDOIversitas Journal of Biological Diversity*. doi:<https://doi.org/10.13057/bDOIiv/d211132>
- Williams, C. A., & Hanan, N. P. (04 de Janeiro de 2011). ENSO and DOI teleconnections for African ecosystems: evidence of destructive interference between climate oscillations. doi:10.5194/bg-8-27-2011
- Yan, L., & Li, G. (13 de setembro de 2018). Dual intertropical convergence zones over the eastern Pacific Ocean: Contrasting impacts of eastern Pacific and central Pacific El Niño. doi:<https://doi.org/10.1002/asl.852>

- Yao, A. B., Eblin, S. G., Brou, L. A., Kouassi, K. L., Ouede, G. B., Salifou, I., & Diedhiou, A. (2021). Characterization of the variability in climate extremes in the ferkessédougou sugar complexes (northern côte d'ivoire). doi:<https://doi.org/10.5194/piahs-384-203-202>
- Yuan, C., & Yamagata, T. (30 de Novembro de 2015). Impacts of DOI, enso and enso modoki on the australian winter wheat yields in recent decades. *Scientific Reports*. doi:<https://doi.org/10.1038/srep17252>
- Zhang, W., Wang, Y., Jin, F.-F., Stuecker, M., & Turner, A. (10 de Setembro de 2015). Impact of different el niño types on the el niño/DOI relationship. *Geophysical Research Letters*. doi:<https://doi.org/10.1002/2015GL065703>
- Zhao, S., Jin, F.-F., Xiaoyu, L., & Cane, M. A. (2021). On the Breakdown of ENSO's Relationship With Thermocline Depth in the Central-Equatorial Pacific. doi:[10.1029/2020GL092335](https://doi.org/10.1029/2020GL092335)

8 Anexo

Tabela 7: correlação entre os extremos de precipitação e os modos climáticos Niño, Niño-3.4, DMI, DMI Esatern e DMI-Western.

Índices	Niño-3.4	DMI-Esatern	DMI-Western
PRCPTOT	-0,371	-0,41	-0,186
Rx1day	-0,134	-0,23	-0,142
CDW	-0,15	0,0173	0,002
CDD	-0,009	0,028	-0,012
R99pTOT	-0,305	-0,158	-0,266
R95pTOTTOT	-0,369	-0,291	-0,035
R10	-0,304	-0,431	-0,213
R20	-0,39	-0,421	-0,299
R50	-0,23	-0,283	0,006
SDII	-0,341	-0,4	-0,193

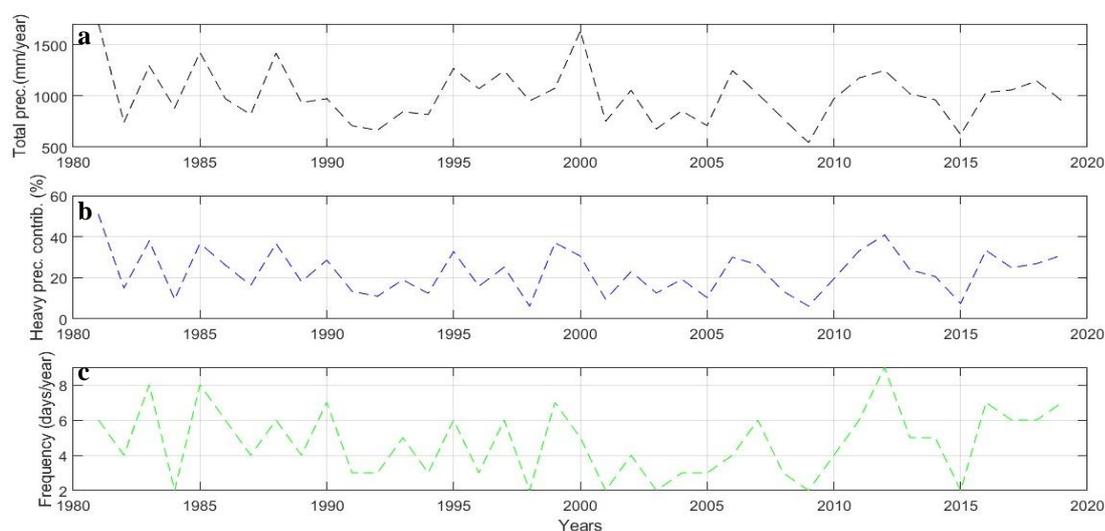


Figura 7: Contribuição das chuvas extremas (R50) na variabilidade da precipitação cidade de Quelimane. Onde, **a** - apresenta o contributo do número de dias de chuvas extremas (R50) na precipitação total anual, **b** - contributo de número dias de chuvas extremas (R50) em percentagem e **c** – frequência do número de dias com chuvas extremas (R50) por ano.