

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE

**EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA:  
1976-2005 E 2020-2050**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

T137e Talacuece, Manuel António Dina, 1983-  
2018 Extremos climáticos na África Sub-Sahariana : 1976-2005 e  
2020-2050 / Manuel António Dina Talacuece. – Viçosa, MG,  
2018.

xv, 123 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Flávio Barbosa Justino.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 118-123.

1. Mudanças climáticas - África, Sub-Sahariana.  
2. Climatologia. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

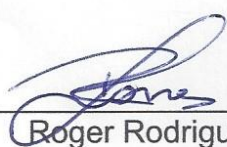
CDD 22. ed. 551.6966

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE

**EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA:  
1976-2005 E 2020-2050**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de junho de 2018.



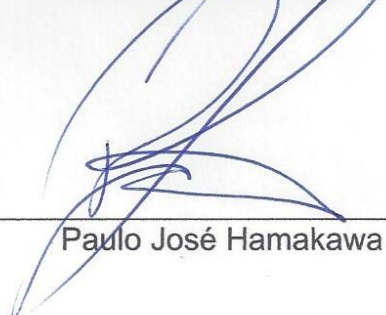
Roger Rodrigues Torres



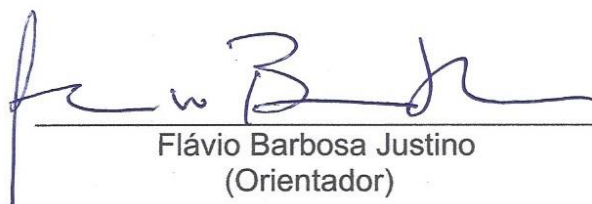
Carlos Fernando Lemos



Gabrielle Ferreira Pires



Paulo José Hamakawa



Flávio Barbosa Justino  
(Orientador)

A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.

Aristóteles.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde, força, coragem e presença na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES-Brasil, pelo intercâmbio para formação em cursos de pós-graduação e pela concessão de bolsa de estudos.

Aos meus pais, António e Isabel, pelo apoio incondicional realizado durante todos esses anos. À minha querida esposa, Sandra Talacuece, pelo companheirismo, amor, carinho, atenção, respeito e amizade, pelo apoio, pela compreensão e pelo incentivo. Tudo fez pelo alcance do sucesso, mediante o desprender de todo o seu esforço para suportar a minha ausência e, ao mesmo tempo, ter a missão de cuidar e educar os nossos filhos, diante da distância. Aos nossos filhos, Manuel Junior e Larissa. Aos meus irmãos, Fatima, Jamal, Matias, Ezequiel, Eurica e Dorca, pelo apoio, pela atenção e pela união, concedidos durante a minha ausência e ao longo de nossas vidas.

Ao professor Flávio Barbosa Justino, primeiramente pela oportunidade concedida em realizar o Doutorado no Departamento de Engenharia Agrícola, no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa; e pela confiança depositada ao longo desses quatro anos, por meio de seus ensinamentos e palavras de apoio.

À Álvaro Diaz e Lívia Dias, pela paciência e ajuda dedicada nos ensinamentos do NCL e pelo treinamento realizado na Universidade Federal de Viçosa para o aperfeiçoamento dos conhecimentos em modelagem e pelas valiosas sugestões para a concretização do trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio e pela amizade, em especial à secretária da pós-graduação, Graça Freitas, pela paciência e pelo suporte durante o período de vigência no curso.

À Universidade Zambeze (UniZambeze), pelo apoio e pela oportunidade disponibilizada para poder fazer este curso e, em especial, ao professor Pedro F.C. Chume.

Aos colegas e aos amigos, especialmente os companheiros do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pelo companheirismo e pelo apoio em todas as etapas vividas durante a realização deste estudo.

Aos meus amigos Paulo Gonçalves, Almir Venancio, Milton Pereira, Marcos Pereira, Douglas Lindemann, Fabiana Santos, Álvaro Avila, Christian Zuluaga, Hugo Santos, Rafael Reis, Gabrielle Ferreira, Alcimoni Comin, Vanúcia Schumacher, Gabriela Queiroz, Poliana de Caldas, Carlos Gurjão, Noele Leonardo, Alex Silva, Vágna Pereira, Alixandre Lupi, Marcela Lúcia, João Toledo, Osvaldo Sande, Ângelo Alface, Baltazar Chipiringo, Castelo Vilanculo, Sergio Come, Edvaldo Nhanombe, Gila João, Elias Mam, Jose Dique, Pedro Bengala, Manuel Jorge, Stelio Nuvunga, Elizeth Raisse, António Melo, Lainesse Samussone, Azido Mataka, Almeida Machamba e Calisto Maquina, pelos momentos de alegria e amizade, sendo essenciais no processo de amadurecimento pessoal e profissional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

MANUEL ANTÓNIO DINA TALACUECE, filho de António Mussa Talacuece e Isabel Dina Gimo, nasceu em 18 de dezembro de 1983, na cidade de Tete, Província de Tete, Moçambique.

Em dezembro de 2003, concluiu o ensino médio pela Escola Secundária de Tete, em Tete, Moçambique.

Em fevereiro de 2004, iniciou o curso de graduação em Meteorologia na Universidade Eduardo Mondlane (UEM), localizada em Maputo (Moçambique) e em agosto de 2008, graduou-se como Meteorologista.

Em março de 2009, ingressou no quadro de Docente efetivo da Universidade Zambeze em Moçambique.

Em fevereiro de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação, nível de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na área de concentração em Climatologia Agrícola.

Em fevereiro de 2014, submeteu-se à defesa da dissertação no programa de Mestrado em Meteorologia Agrícola.

Em março de 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação, nível de Doutorado em Meteorologia Agrícola, na área de concentração em Climatologia Agrícola.

Em junho de 2018, submeteu-se à defesa da tese no Programa de Doutorado em Meteorologia Agrícola.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DOS INDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA.....	4
1. INTRODUÇÃO .....	4
1.1. Eventos climáticos extremos.....	5
1.2. Introdução ao clima da África Sub-Sahariana.....	6
1.2.1. Sistemas sinóticos predominantes na África Sub-Sahariana .....	6
1.2.2. Características climáticas da África Sub-Sahariana .....	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
2.1. Área de estudo.....	15
2.2. Dados .....	15
2.2.1. Dados meteorológicos .....	15
2.2.2. Índices climáticos: séries temporais atmosférica e do oceânica.....	16
2.2.3. Modelos climáticos .....	16
2.3. Índices extremos de precipitação e temperatura .....	17
2.4. Consistência das simulações para cada modelo .....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	20
3.1. Consistência das simulações para cada modelo .....	20
3.2. Comparação da tendência entre os dados observados e os dados de modelos climáticos.....	22
3.2.1. Padrões de CDD para 1976-2005 .....	22
3.2.2. Padrões de CWD para 1976-2005 .....	24
3.2.3. Padrões de DTR para 1976-2005.....	26
3.2.4. Padrões de PRCPTOT para 1976-2005.....	28
3.2.5. Padrões de RX5DAY para 1976-2005.....	30
3.2.6. Padrões de TNN para 1976-2005.....	32
3.2.7. Padrões de TXX para 1976-2005 .....	34
3.2.8. Padrões de WSDI para 1976-2005.....	36
3.3. Potenciais causas dos índices mediante a correlação dos índices do oceano no período de 1976-2005.....	38

3.3.1. Temporada DJF do CDD.....	38
3.3.2. Temporada MAM do CDD.....	41
3.3.3. Temporada JJA do CDD.....	42
3.3.4. Temporada SON do CDD.....	43
3.3.5. Temporada DJF do CWD.....	44
3.3.6. Temporada MAM do CWD.....	47
3.3.7. Temporada SON do CWD.....	48
3.3.8. Temporada MAM do DTR.....	52
3.3.9. Temporada JJA do DTR.....	53
3.3.10. Temporada SON do DTR.....	53
3.3.11. Temporada DJF do PRCPTOT.....	54
3.3.12. Temporada MAM do PRCPTOT.....	57
3.3.13. Temporada JJA do PRCPTOT.....	58
3.3.14. Temporada SON do PRCPTOT.....	59
3.3.15. Temporada DJF do RX5DAY.....	60
3.3.16. Temporada MAM do RX5DAY.....	63
3.3.17. Temporada JJA do RX5DAY.....	63
3.3.18. Temporada SON do RX5DAY.....	64
3.3.19. Temporada DJF do TNN.....	65
3.3.20. Temporada MAM do TNN.....	68
3.3.21. Temporada JJA do TNN.....	69
3.3.22. Temporada SON do TNN.....	69
3.3.23. Temporada DJF do TXX.....	70
3.3.25. Temporada JJA do TXX.....	74
3.3.26. Temporada SON do TXX.....	74
3.3.27. Temporada DJF do WSDI.....	75
3.3.28. Temporada MAM do WSDI.....	78
3.3.29. Temporada JJA do WSDI.....	78
3.3.30. Temporada SON do WSDI.....	79
3.4. Projeção futura próximo (2020-2050) das tendências dos índices extremos climáticos mediante os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	80
3.4.1. Padrões de CDD para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050).....	80
3.4.2. Padrões de CWD para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5.....	84

3.4.3. Padrões de DTR para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	87
3.4.4. Padrões de PRCPTOT para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	91
3.4.5. Padrões de RX5DAY para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	95
3.4.6. Padrões de TNN para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	98
3.4.7. Padrões de TXX para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	102
3.4.8. Padrões de WSDI para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050) .....	106
4. CONCLUSÃO .....	110
CAPÍTULO 2 – POTENCIAL IMPACTO DO CLIMA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA.....	
113	113
1. INTRODUÇÃO .....	113
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	117
2.1. Área de estudo.....	117
2.2. Dados .....	117
2.2.1. Zoneamento agroclimático mensal da África Sub-Sahariana.....	117
2.2.2. Meteorológicos .....	117
2.2.3. Dados de rendimento de produção (feijão e milho) .....	118
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	119
3.1. Zoneamento climático para a cultura do milho.....	119
3.2. Zoneamento climático para a cultura do feijão comum.....	122
3.3. Correlação dos índices atmosféricos com os rendimentos de produção do milho e o feijão no período de 1976-2005.....	125
3.3.1. CCD-milho e feijão .....	128
3.3.2. CWD-milho e feijão.....	128
3.3.3. PRCPTOT-milho e feijão .....	128
3.3.4. RX5DAY -milho e feijão.....	129
3.3.5. DTR-milho e feijão .....	129
3.3.6. TNN-milho e feijão.....	130
3.3.7. TXX-milho e feijão .....	130
3.3.8. WSDI-milho e feijão .....	131
4. CONCLUSÕES .....	132
CONCLUSÃO GERAL .....	133
REFERÊNCIAS.....	136

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AEJ-N** – Jato de Leste Médio-Troposférico africano do Norte
- AEJ-S** – Jato de Leste Médio-Troposférico africano do Sul
- ASAS** - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- ASI** – Anticiclone Subtropical do Oceano Índico
- CAB** – Congo Air Boundary
- CanESM2** - Canadian Earth System Model
- cdd** – Dias Consecutivos Secos
- CNRM- CM5** - Centre National de Recherches Météorologiques
- cwd** – Dias Consecutivos Úmidos
- CORDEX** – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
- CUR** – Unidade de Pesquisa Climática
- DMI** – Índice do Modo do Dipolo
- DJF** – Dezembro, Janeiro e Fevereiro
- DOIS** – Dipolo do Oceano Índico Subtropical
- dtr** – Amplitude Térmica Diária
- ENSO** – El Nino Oscilação do Sul
- GFDL-ESM2M** - Earth System Model – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
- GPCP** – Projeto de Climatologia Global por Precipitação
- IPSL** - Institut Pierre-Simon Laplace
- JJA** – Junho, Julho e Agosto
- LLW** – ventos de Baixo-Nível do Oeste
- MAM** – Março, Abril e Maio
- MIROC5** - Model for Interdisciplinary Research On Climate
- M<sub>R</sub>** – Modelo Rank
- NCEA** – netCDF Ensemble Averager
- NCEP-NCAR** – Centro Nacional de Previsão Ambiental – Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica
- NorESM1-M** - Norwegian Climate Center's Earth System Model
- ONI** – Índice Oceânico de Nino
- prcptot** – Precipitação total anual em dias úmidos
- RCP** – Representative Concentration Pathways 4.5 e 8.5
- RX5DAY** – Máximo de 5 dias de chuva

**SEA** – Regiões Sul e Sudeste da África  
**SEOIT** – Anomalia de Temperatura do Mar na Região Sudeste do Oceano Índico  
**SON** – Setembro, Outubro e Novembro  
**SSA**- África Sub-Sahariana  
**TEJ** – Jato Tropical de Alto-Nível  
**TNA** – Índice do Atlântico Norte Tropical  
**tnn** – Valor mínimo da temperatura mínima diária  
**TRMM** – Missão de Monitoramento de Precipitação  
**TSA** – Índice do Atlântico Sul Tropical  
**TSM** – Temperatura da Superfície do Mar  
**TTTs** – Tropical Temperate Trough  
**txx** – Valor máximo da temperatura máxima diária  
**WOIT** – Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar na região Oeste do Oceano Índico  
**wsgi** – Duração do período quente  
**ZCIS** – Zona de Convergência do Índico Sul  
**ZCTI** – Zona de Convergência Inter-Tropical

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais eventos climáticos extremos africanos .....	6
Tabela 2 – Modelos regionais climáticos avaliados neste estudo e seus atributos, compreendidos pelo período histórico (1976-2005) e futuro (2020-2050) nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	17
Tabela 3 – Índices de precipitação e de temperatura avaliados neste estudo e seus atributos. $RR \geq 1$ mm indica dias úmidos e $RR \leq 1$ mm indica dias secos ....	18
Tabela 4 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CDD no período 1976-2005.....	22
Tabela 5 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CWD no período 1976-2005.....	24
Tabela 6 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice DTR no período 1976-2005 .....	26
Tabela 7 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice PRCPTOT no período 1976-2005 .....	28
Tabela 8 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice RX5DAY no período 1976-2005 .....	30
Tabela 9 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TNN no período 1976-2005 .....	32
Tabela 10 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TXX no período 1976-2005 .....	34
Tabela 11 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice WSDI no período 1976-2005 .....	36
Tabela 12 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CDD no período 2020-2050.....	81
Tabela 13 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CWD no período 2020-2050.....	84
Tabela 14 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice DTR no período 2020-2050 .....	88
Tabela 15 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice PRCPTOT no período 2020-2050 .....	92
Tabela 16 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice RX5DAY no período 2020-2050 .....	95
Tabela 17 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TNN no período 2020-2050 .....	99
Tabela 18 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TXX no período 2020-2050 .....	102
Tabela 19 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice WSDI no período 2020-2050 .....	106
Tabela 20 – Reclassificação de dados anuais da cultura de feijão.....	123

Tabela 21 – Reclassificação de dados mensais da cultura de feijão ..... 123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistemas meteorológicos que influenciam na variabilidade anual da precipitação na África Sub-Sahariana no verão (esquerda) e no inverno (direita). .....	8
Figura 2 – Padrões médios da precipitação para diferentes meses para o período de 1976-2005. ....	12
Figura 3 – Média sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) dos dados observados no período de 1976-2005. ....	14
Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo da África Sub-Sahariana. .....	15
Figura 5 – Diagrama de dispersão mostrando a relação entre o valor da classificação do modelo temporal e espacial (MR). ....	21
Figura 6 – Tendências de número máximo de dias consecutivos secos (CDD) com RR <1 milímetro (1976-2005). ....	23
Figura 7 – Tendências de número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) com RR >= 1mm (1976-2005). ....	25
Figura 8 – Tendências de amplitude térmica diária – DTR (1976-2005). ....	27
Figura 9 – Tendências de precipitação total anual nos dias úmidos ( $\geq 1\text{mm}$ ) – prcptot (1976-2005). ....	29
Figura 10 – Tendências da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (rx5day) no ano (mm/ano) (1976-2005). ....	31
Figura 11 – Tendências do valor mínimo da temperatura mínima diária - tnn (1976-2005). ....	33
Figura 12 – Tendências do valor máximo da temperatura máxima diária - txx (1976-2005). ....	35
Figura 13 – Tendências da duração do período quente - wsgi (1976-2005). ....	37
Figura 14 – Correlações de número máximo de dias consecutivos secos –CDD (dias) com RR <1 milímetro (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	40
Figura 15 – Correlações de número máximo de dias consecutivos úmidos –CWD (dias) com RR >= 1mm (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	46
Figura 16 – Correlações de amplitude térmica diária – DTR ( $^{\circ}\text{C}$ ) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	51
Figura 17 – Correlações da precipitação total anual nos dias úmidos ( $\geq 1\text{mm}$ ) – prcptot (mm/ano) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	56
Figura 18 – Correlações da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day) no ano (mm/ano) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	62

Figura 19 – Correlações do valor mínimo da temperatura mínima diária – tnn (°C) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	67
Figura 20 – Correlações do valor Máximo da temperatura máxima diária - txx (°C) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	72
Figura 21 – Correlações da duração do período quente – wsdi (dias) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais. ....	77
Figura 22 – Tendências de número máximo de dias consecutivos secos – CDD (dias) com RR <1 milímetro (2020-2050). ....	83
Figura 23 – Tendências de número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) com RR >= 1mm (2020-2050). ....	86
Figura 24 – Tendências de amplitude térmica diária – DTR (2020-2050). ....	90
Figura 25 – Tendências da precipitação total anual nos dias úmidos (≥ 1mm) – prcptot (2020-2050). ....	94
Figura 26 – Tendências da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day) no ano (mm/ano) (2020-2050). ....	97
Figura 27 – Tendências do valor mínimo da temperatura mínima diária – tnn (2020-2050). ....	101
Figura 28 – Tendências do valor máximo da temperatura máxima diária - txx (2020-2050). ....	104
Figura 29 – Tendências da duração do período quente - wsdi (2020-2050)..	108
Figura 30 – Zoneamento climático da cultura do milho no período de 1970-2000. ....	121
Figura 31 – Zoneamento climático da cultura do feijão comum no período de 1970-2000. ....	125
Figura 32 – Correlações dos índices de dados observado e rendimento de produtividade das culturas de milho e feijão (1976-2005). ....	127

## RESUMO

TALACUECE, Manuel António Dina, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2018. **Extremos climáticos na África Sub-Sahariana: 1976-2005 e 2020-2050**. Orientador: Flávio Barbosa Justino.

O presente estudo examina o comportamento das tendências e significância de oito índices climáticos extremos com base em séries de 30 anos (1976-2005) e futuro mais próximo de 31 anos (2020-2050) da África Sub-Sahariana (do inglês, SSA), assim como, as correlações entre índices climáticos extremos com quatro índices oceânicos e com os rendimentos da produtividade do feijão comum e milho nos períodos de 1976-2005 na área do domínio do estudo. Com base nos cálculos das tendências e das correlações foi possível determinar as regiões correlacionadas e afetadas com os índices. As tendências futuras foram avaliadas com base nas projeções de seis modelos regionais climáticos do projeto *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)*, e com a média dos seis modelos em causa, forçados por dois cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5. No período histórico, existe uma tendência positiva na precipitação total anual, é por isso que, o número de dias secos consecutivos aumenta menos significativamente, o número de dias consecutivos úmido aumenta menos significativamente, máximo de 5 dias de chuva aumenta menos significante, valor máximo e mínimo de temperatura diária aumentam significativamente, duração do período quente e amplitude térmica diária aumenta menos significativamente. O clima futuro mostra um aumento negativo na precipitação total anual, para o RCP4.5 e um aumento positivo para o RCP8.5, o número de dias secos consecutivos aumenta para RCP4.5 e diminui no RCP8.5, o número de dias consecutivos de úmido diminui para o RCP4.5 e aumenta para RCP8.5 e o máximo de 5 dias de chuva aumenta menos significante para RCP4.5 e RCP8.5. O valor máximo e mínimo de temperatura diária, duração do período quente aumentam para RCP 4.5 e RCP 8.5, enquanto a amplitude térmica diária diminui para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

## ABSTRACT

TALACUECE, Manuel António Dina, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2018. **Climate extremes in Sub-Saharan Africa: 1976-2005 and 2020-2050**. Adviser: Flávio Barbosa Justino.

The present study examines the behavior of trends and significance of eight extreme climate indices based on 30-year series (1976-2005) and 31-year nearest future (2020-2050) from sub-Saharan Africa (SSA). as well as the correlations between extreme climatic indices with four oceanic indices and yields of common bean and maize during the 1976-2005 periods in the study domain area. Based on trend and correlation calculations, it was possible to determine the correlated and affected regions with the indices. Future trends were assessed based on the projections of six regional climate models from the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) project, and the average of the six models concerned, forced by two RCP4.5 medium-emission and high-emission RCP8.5 scenarios. In the historical period, there is a positive trend in total annual rainfall, which is why the number of consecutive dry days increases less significantly, the number of consecutive wet days increases less significantly, maximum 5 rain days increases less significant, maximum value. and minimum daily temperature increase significantly, warm period duration and daily thermal amplitude increase less significantly. Future weather shows a negative increase in total annual precipitation for RCP4.5 and a positive increase for RCP8.5, the number of consecutive dry days increases to RCP4.5 and decreases in RCP8.5, the number of consecutive days. humidity decreases for RCP4.5 and increases for RCP8.5 and the maximum of 5 days of rain increases less significantly for RCP4.5 and RCP8.5. The maximum and minimum daily temperature, warm period duration increase for RCP 4.5 and RCP 8.5, while the daily thermal amplitude decreases for RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios.

## INTRODUÇÃO GERAL

O presente trabalho está dividido em duas partes: no Capítulo 1 são avaliados os Índices de extremos climáticos no período histórico (1976-2005) e futuro próximo (2020-2050) na África Sub-Sahariana (do inglês, SSA); e o Capítulo 2, consiste na aplicação do zoneamento agroclimático das culturas de milho e feijão e a correlação do rendimento da produtividade dessas com os oitos índices climáticos extremos no período histórico (1976-2005).

A população africana vem crescendo nos últimos anos com uma taxa de 2,3% ao ano, mais que o dobro da população asiática. De acordo com uma estimativa da ONU (2011) prevê-se uma população global de 10,6 bilhões de habitantes em 2050, e mais de 15 bilhões em 2100. Igualmente, a Ásia permanecerá como a mais populosa das principais áreas geográficas mundiais durante o século XXI, mas a população da África avançará de 1 bilhão, em 2011, para 3,6 bilhões de habitantes, em 2100 (ONU, 2011).

Assim, a África Sub-Sahariana torna-se a única região do mundo onde se estima que a população possa duplicar ou triplicar nos próximos 40 anos. A razão para o aumento da atenção dos demógrafos sobre a região é clara, uma vez que escapar da fome se torna mais difícil com o rápido crescimento da população (UNFPA, 2011).

Por outro lado, em escala global, eventos extremos estão tornando-se mais intensos, frequentes e severos nas últimas décadas (OBEYSEKERA et al., 2011; IPCC, 2013; CSIRO, 2014; STEFFEN et al., 2014 apud NAVEENDRAKUMAR, 2019). Desastres causados pelo clima e principalmente relacionados com a água estão aumentando por todo o mundo (OMM, 2014). Na África 1.319 desastres foram registrados no período de 1970 a 2012 e causaram a perda de 698.380 vidas e prejuízos econômicos de 26,6 bilhões de dólares. Embora as inundações tenham sido o tipo mais recorrente de desastre (61%), as secas levaram ao maior número de mortes (OMM, 2014).

Sendo assim, a colaboração entre os estudiosos do clima e das demais ciências é essencial para o desenvolvimento de projetos mitigatórios e adaptativos. Como é sabido, a agricultura africana é de baixo desempenho. Maddison (2007) revela que um número significativo de agricultores acredita que as temperaturas já aumentaram e que a precipitação diminuiu. Dado o papel

central da agricultura, e as mudanças sem precedentes no clima projetadas para as próximas décadas na região (SCHLENKER; LOBELL, 2010), há uma necessidade de compreender as possíveis respostas das culturas agrícolas da África Sub-Sahariana para as mudanças climáticas.

A população e a economia da África dependem muito da agricultura sem irrigação artificial, o qual emprega cerca de 70 a 80% da população e contribui em média por 30% do Produto Interno Bruto (PIB) e, pelo menos 40% das exportações (Comissão para África de 2005). A pobreza na zona rural corresponde a 90% da total pobreza na região, e aproximadamente 80% dos pobres ainda dependem da agricultura ou do trabalho agrícola para a sua subsistência (DIXON et al., 2001). Em suma, o fracasso da agricultura na SSA tem sido alocado à dependência da agricultura de sequeiro; à falta de infraestrutura, mercados e instituições de apoio; às complexidades agroecológicas e heterogeneidade da região; baixo uso de fertilizantes; e solos degradados (JOHNSON et al., 2003; BANCO MUNDIAL, 2007). A partir de 2030 a 2050, projeta-se que a produção agrícola aumente em 2,7 e 1,9% ao ano, respectivamente. Como consequência, espera-se que as importações líquidas de alimentos deverão aumentar (CALZADILLA et al., 2013).

O impacto total na agricultura africana vai depender do cenário climático. Deste modo, práticas agrícolas localizadas em áreas mais quentes e secas estão em maior risco, porque já estão em um estado precário para a agricultura. A agricultura de sequeiro em toda a SSA é vulnerável ao aquecimento e está em risco. Contudo, as culturas irrigadas em lugares que são relativamente frios no clima presente, como em terras altas, desfrutam de ganhos marginais no aquecimento. Finalmente, os locais mais secos, obtêm grandes ganhos de produção de gado, no aumento da precipitação em relação aos locais mais úmidos na África (KURUKULASURIYA et al., 2006).

Com o aquecimento global, é provável que as incidências de secas aumentem em muitas partes da África. A frequência e a intensidade de ciclones e inundações em algumas áreas também apresentam probabilidade de aumentar, agravando os estresses relativos à água e à segurança alimentar (ONU, 2004). Mudanças nas variáveis meteorológicas, tais como o aumento das temperaturas, as mudanças na precipitação e aumento nos níveis de dióxido de carbono atmosférico afetam a produção de culturas (MTONGORI et al., 2015).

O aquecimento global não só afeta diretamente a variação de temperaturas extremas, como também levam ao agravamento na frequência e intensidade de eventos extremos locais, como degelo, ondas de calor, eventos de seca etc. Até o século XX esses eventos eram considerados fenômenos naturais; porém, recentemente, eles têm sido relacionados às mudanças climáticas globais (DASH et al., 2012; ZANDONADI et al., 2015)

Desse modo, existe uma necessidade crescente de se analisar a variabilidade espacial e temporal da precipitação e temperatura, sobretudo para regiões que apresentam intensas variações sazonais (IPCC, 2013). É importante destacar que muitos eventos extremos são resultado da variabilidade climática natural e, mesmo que não houvesse alterações antrópicas no clima, uma grande variedade de extremos naturais de tempo e clima ainda ocorreriam (MARENGO et al., 2013).

# **CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA**

## **1. INTRODUÇÃO**

A informação sobre eventos climáticos extremos é de particular importância e está ganhando muito interesse em estudos de mudanças climáticas e planejamento socioeconômico (IPCC., 2012; UN CC: Learn, 2015). Porém, as informações sobre os eventos climáticos extremos são importantes na análise dos atributos das mudanças climáticas em diferentes escalas espaço-temporais (ONGOMA et al., 2017).

Eventos extremos climáticos têm impactos na economia, política e bem-estar de qualquer sociedade. Por exemplo, temperaturas extremas podem afetar a saúde humana, a agricultura e aumentar riscos de incêndios florestais, por outro lado, os extremos de precipitação podem sobrecarregar os sistemas de drenagem urbana, causar inundações e danos para as cidades (TRIKU; GAN, 2018). Assim, em África o clima provavelmente continuará mudando nas próximas décadas, como resultado de fatores naturais que afetam o sistema climático e as emissões antrópicas de gases de efeito estufa na atmosfera. Isso mudará os padrões regionais e locais de temperatura e precipitação na África e no mundo. Pois, os extremos de temperaturas altas continuam a aumentar e os extremos de temperaturas baixas continuam a diminuir, os extremos de precipitação também parecem ter aumentado em mais regiões do que diminuíram ao redor do globo (ALEXANDER, 2015).

Portanto, este trabalho os objetivos são avaliar o comportamento dos índices extremos climáticos históricos (1976-2005) e futuro (2020-2050) da SSA derivados das séries temporais diárias de precipitação e temperatura, com base na simulação das tendências para os diferentes modelos climáticos forçados por dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (RCP 4.5 e 8.5), assim como, avaliar a relação dos índices climáticos extremos com os índices oceânicos.

Justifica-se a realização de pesquisa desta natureza, dado que a obtenção dos índices climáticos extremos históricos (1976-2005) e futuro (2020-

2050) possibilitará a identificação de tendências das séries, além de permitir a análise da distribuição temporal e espacial da temperatura e precipitação projetada pelos modelos regionais de clima para um futuro próximo.

### **1.1. Eventos climáticos extremos**

A África foi identificada como uma das partes do mundo mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2014; NIANG et al. 2014). Pois, as projeções de mudança climática para a SSA apontam para uma tendência de aquecimento, particularmente nos subtrópicos do interior; ocorrência frequente de eventos extremos de calor, seca crescente, e mudanças nas chuvas - com um declínio particularmente pronunciado no sul da África e um aumento no leste da África (SERDECZNY, 2017).

Ora, as evidências dos estudos feitos na SSA revelam que as mudanças climáticas afetam muitos setores sensíveis ao clima, como agricultura, pecuária, recursos hídricos, saúde humana, a infraestrutura, o ecossistema, como levou o deslocamento de habitantes das regiões mais afetadas (IPCC, 2014; AWOJOBI, 2017). Embora os esforços dos governos africanos e as organizações internacionais foram intensificados na redução de impactos das mudanças climáticas, ainda existem algumas barreiras e limitações à adaptação (AWOJOBI, 2017).

Por outro lado, na SSA a energia hidroelétrica representa mais de 50% do fornecimento da energia total para os consumidores da região e um clima mais quente com extremos mais frequentes e intensos pode resultar em problemas de confiabilidade do suprimento (FALCHETTA et al., 2019). Efetivamente, as questões de disponibilidade de água representam uma fonte crescente de risco em diferentes áreas, também devido à crescente concorrência entre o uso da água para geração de energia, irrigação e abastecimento municipal de água (ZENG et al., 2017; KLING et al., 2014). Assim, cerca de 300 milhões de pessoas sofrem com a escassez de água (WWAP, 2012), e a escassez de água promove a pobreza na SSA (GIZAW; GAN, 2016).

No entanto, os riscos climáticos interagem com os desafios biofísicos e sociais e agravam suas ocorrências e impactos (IPCC, 2014; ADZAWLA et al., 2019). Também devido às características econômicas da região que inclui a alta

dependência de recursos naturais e agricultura de sequeiro, alta pobreza, infraestrutura fraca e desenvolvimento tecnológico. Neste contexto, as mesmas levam a uma capacidade adaptativa mínima da região, apesar de SSA contribua com o mínimo de emissões globais de Gases de Efeito Estufa, as projeções mostraram que as temperaturas estão subindo e subindo ainda mais no futuro (ADZAWLA et al., 2019).

Enfim, abaixo verifica-se alguns estudos de amostra que listam alguns dos eventos climáticos que afetaram os países africanos (Tabela 1).

Tabela 1 – Principais eventos climáticos extremos africanos

N.º	Evento climático	País	Estudos
1	Secas	Quênia, Etiópia, Sudão	Gemeda e Sima (2015); Gray (2011); Eritreia, Somalia Dietz (1986); Ezra e Kiros (2001); Rahmato (1991)
2	Inundações	Uganda, Quênia, Namíbia	Abebe (2014), Ruanda, Zâmbia
3	Desertificação	Nigéria, Maurítânia	Folami (2013); H. Westing (1994)
4	Degradação do solo	Angola	Feddema, (1998)

Fonte: Awojobi (2017).

## 1.2. Introdução ao clima da África Sub-Sahariana

### 1.2.1. Sistemas sinóticos predominantes na África Sub-Sahariana

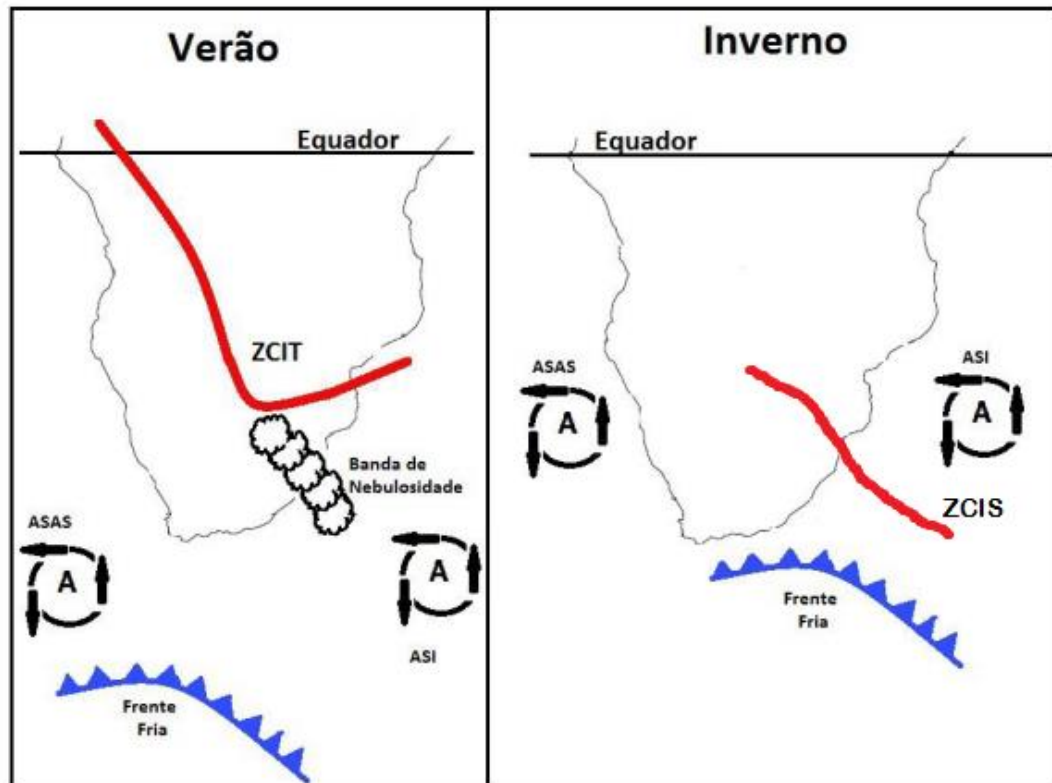
A África Sub-Sahariana (do inglês, SSA) adquire a sua precipitação do ar oceânico tropical úmido que se move dos Oceanos Atlântico e Índico para uma zona equatorial de baixa pressão, denominada de Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT). A ZCIT também é chamada de "equador climático" e ao longo do ano, sobre a África, a ZCIT migra do Sul para o Hemisfério Norte entre janeiro e julho.

A ZCIT está associada a vigorosas atividades de movimentos de massas de ar que influenciam a quantidade e a duração da chuva. Ao longo dos oceanos, a zona de convergência está mais claramente delineada do que nos continentes. A cerca de 20°S, três importantes correntes de ar em baixos níveis estão envolvidas na ZCIT sobre a África ao sul do equador e afetam a África tropical

do sul no verão (Fig 1): i) o ar do Atlântico Sul recurvado, de baixos níveis, que se move sobre a África em cerca de 12°S nos ventos equatoriais; ii) o ar da monção nordeste da África Oriental que se move para o sul através do equador a partir do Nordeste e iii) as águas tropicais profundas nordestes do Oceano Índico. O transporte vertical do ar ocorre livremente nesta situação de ventos convergentes, não obstante a defluência de um local para outro local (TYSON; PRESTON-WHYTE, 2000).

Ao longo do sul de Botswana e no sul de Angola, localiza-se o Congo Air Boundary (CAB) entre as correntes de ar provenientes do Atlântico Sul e Oceano Índico Sul, o qual possui uma variabilidade diária e marca uma região preferencial para os sistemas de baixa pressão. O movimento da ZCIT sobre a SSA apresenta um claro ciclo anual. No inverno, a ZCIT se move para o norte seguindo a máxima incidência da radiação solar e nuvens de chuva se movem em conformidade. No verão, a ZCIT regressa ao Hemisfério Sul e constitui uma região de grande libertação de calor latente na atmosfera tropical da SSA. Assim como o aquecimento diabático nos trópicos é influenciado em parte pela penetração através do equador de distúrbios de latitudes médias, existem evidências substanciais, tanto de estudos observacionais quanto de trabalhos teóricos, para mostrar que as perturbações tropicais podem exercer influências importantes nas circulações de latitudes médias (TYSON; PRESTON-WHYTE, 2000).

A variabilidade do clima da região pode ser direta ou indiretamente associada à variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos tropicais globais (DEZFULI, 2017). Porém, a relação entre TSM local e a precipitação pode refletir um forçamento remoto comum a partir do Oceano Pacífico, que modela a circulação atmosférica zonal em larga escala (DEZFULI; NICHOLSON, 2013; NICHOLSON; DEZFULI, 2013). Isso se manifesta principalmente através da interação com o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), que varia espacialmente sobre a SSA, e às vezes tem impactos opostos em diferentes partes da região.



Fonte: Adaptada de van Wyk et al. (2012).

Figura 1 – Sistemas meteorológicos que influenciam na variabilidade anual da precipitação na África Sub-Sahariana no verão (esquerda) e no inverno (direita).

Durante muitos anos, os estudos sobre a variabilidade da precipitação na região da África se concentraram na escala interanual. Embora o ENSO seja a oscilação interanual mais importante, as condições de anomalias da TSM sobre o oceano Pacífico Tropical não são condições determinantes para condições úmidas sobre a África, portanto, os oceanos Índico e Pacífico apresentam uma “competitividade” na contribuição da precipitação na região sul da SSA, relacionando-se diretamente com a circulação (GODDARD; GRAHAM, 1999; REASON; MULENGA, 1999).

Na escala regional, o deslocamento meridional da ZCIT sozinho não pode explicar a variabilidade interanual. A interação entre topografia e três jatos regionais troposféricos também deve ser incorporada (NICHOLSON; GRIST, 2003; NICHOLSON, 2009; POKAM et al., 2012; NICHOLSON; DEZFULI, 2013). Estes três jatos são i) os ventos de baixo-nível de oeste (do inglês, LLW), ii) o

jato de leste médio-troposférico africano do Hemisfério Norte (AEJ-N) e do Sul (do inglês, AEJ-S) e iii) o jato tropical de alto nível (do inglês, TEJ). Os ventos zonais também produzem uma circulação atmosférica similar à de Walker que atua na escala de tempo intra-sazonal e é desencadeada por um gradiente de pressão inter-hemisférico e pelo gradiente topográfico zonal dentro da região (DEZFULI et al., 2015).

A variação no padrão da circulação tem influência direta sobre a variação sazonal da precipitação na região. Sobre o padrão da circulação há que se considerar a monção da Ásia, sua interação com a ZCIT e o anticiclone subtropical do oceano Índico (do inglês, ASI), com influências sobre as regiões sul e sudeste da África (do inglês, SEA) (TIQUE, 2015).

A monção da Ásia é responsável pelo transporte de massas de ar equatoriais para o continente enquanto o ASI, através do fluxo de leste predominante, transporta ar com alto teor de umidade para o continente africano. Por sua vez, o anticiclone do Atlântico Sul apresenta um fluxo de oeste em baixos níveis sobre o continente (NICHOLSON, 2000; TYSON; PRESTON-WHITE, 2000). Além dessas condições são observadas bandas de nebulosidade denominadas - "*tropical temperate trough*" (TTTs), associadas ao cavado equatorial, como é o caso da baixa semi-permanente da Angola, assim com a baixa do Congo, que representam sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação. Segundo Cook (2000), provavelmente há uma relação com a Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), que se encontra na borda sudoeste do ASI, com uma orientação noroeste-sudeste.

Sobre o oceano Índico, são observadas anomalias negativas de TSM na região leste, próximo à Austrália e anomalias positivas na região sudoeste e sul de Madagascar. Esse fenômeno tem como consequência na redução ou aumento da precipitação no sul da África. A fase fria da TSM a leste é geralmente causada pelo aumento de evaporação, estando provavelmente associada com os ventos ao longo das regiões leste do ASI (BEHERA; YAMAGATA, 2001), designado de dipolo do oceano Índico subtropical (DOIS). Anomalias de TSM sobre a região sudoeste do oceano Índico na ordem de 1-2°C, resultam numa mudança no regime sazonal da precipitação nas regiões adjacentes. O aumento ou diminuição no aquecimento por processos convectivos em latitudes baixas

sobre a região oeste do Índico induz a formação de anomalias na circulação (WASHINGTON; TODD, 1999).

Os principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região tropical e de maior interesse para a região SEA são a ZCIT e a ZCIS. A ZCIT é um dos sistemas meteorológicos mais importantes para a região tropical pelo fato de estar associada à atividade convectiva, correntes ascendentes de ar e, por sua vez resultam na formação de nebulosidade e ocorrência de precipitação na maior parte dos casos (HASTENRATH; HALLER, 1977).

Segundo Washington e Tood (1999), a região convectiva nessa faixa do continente africano se estende até próximo à latitude de 20°S. Para o mesmo período (DJF), Torrance (1972) e Nicholson (1986), afirmam que três principais fluxos em níveis baixos são observados, sendo eles responsáveis pelas condições de tempo e clima naquela região.

O fluxo de leste, no geral é proveniente do Oceano Índico, fluindo para o continente, sendo originado pela divergência em superfície causada pelo ASI. Porém, por vezes varia de leste para sudeste, de acordo com a posição do ASI (BEHERA; YAMAGATA, 2001; OHISHI et al., 2014). Behera e Yamagata, (2001) explicam que o fluxo de sudeste sobre o continente ocorre quando a ASI se posiciona mais a sul, em torno da latitude de 35°S, e tem relação com variações de TSM na região subtropical do Índico, o que explica o surgimento do padrão de dipolo de TSM na região subtropical do oceano Índico. Segundo Ohishi et al. (2014), variações do ASI, quer no posicionamento ou na sua intensidade, implicam em variações do fluxo de leste sobre o continente, com implicações sobre as condições atmosféricas.

O fluxo de nordeste está associado à monção da Ásia, porém, somente ocorre no período úmido, sendo responsável pelo transporte de umidade para a região SEA (NICHOLSON, 1986). A convergência que ocorre na região continental entre os fluxos de nordeste e leste/sudeste gera condições favoráveis à formação de sistema de baixas pressões com implicações sobre o estado de tempo (TYSON; PRESTON-WHITE, 2000), onde ocorrem nuvens de grande extensão vertical “cumuliformes”.

Finalmente, o fluxo de oeste ou corrente de oeste, que se estende até a República da Angola e República Democrática do Congo, tem a sua origem na

convergência entre o fluxo equatorial e a borda sudeste da alta subtropical do oceano Atlântico Sul (TORRANCE, 1972; NICHOLSON, 2000).

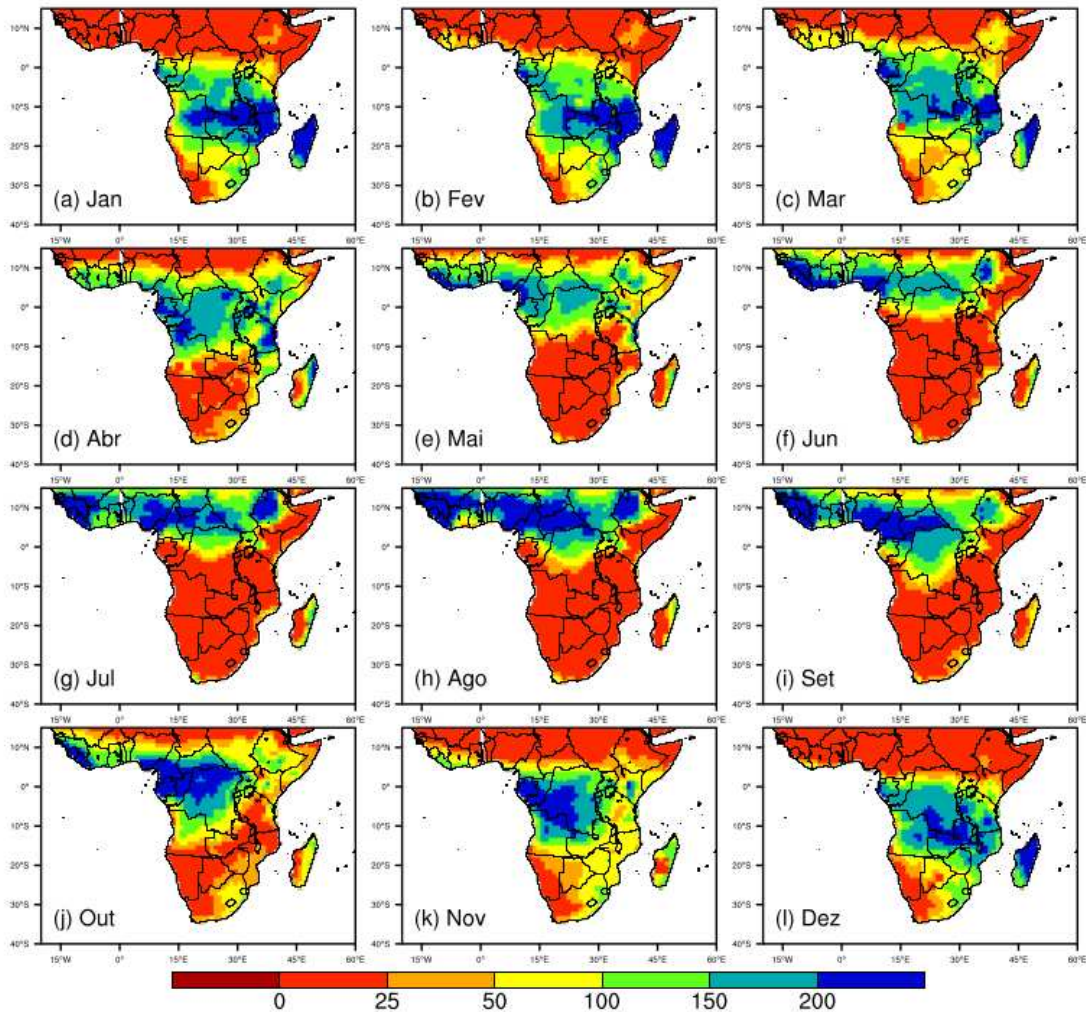
Porém, as trajetórias dos três fluxos em baixos níveis sobre a região SA/SEA, o fluxo de leste/sudeste (oceano Índico Tropical e Subtropical), o fluxo de nordeste (oceano Índico tropical) e o fluxo de oeste (oceano Atlântico Tropical) estão associados a algumas regiões oceânicas. Segundo Hirst e Hastenrath (1983) e Torrance (1972), esses fluxos são responsáveis pelo transporte de umidade para a região continental. Por sua vez, variações na intensidade e direção dos fluxos podem ter implicações sobre o tempo e clima na mesma região.

Além da ZCIT, sobre a região continental, são formados sistemas de baixas pressões associadas ao cavado equatorial. Entretanto, bandas de nebulosidade são observadas nessa região, associadas aos TTTs constituindo sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação (WASHINGTON; TODD, 1999; MACRON et al., 2014). Segundo Cook (1999), observa-se uma região de convergência sobre o Índico, acompanhada com aumento de precipitação que se estende desde a costa sudeste da região SA no período de verão. O vento zonal é o principal fator responsável pela convergência nesta região. Algumas vezes, a ZCIS apresenta-se deslocada para nordeste devido a um enfraquecimento da parte ocidental do ASI. Por sua vez, resulta no padrão de precipitação de dipolo.

A influência da convecção tropical é considerada como um dos fatores importantes pela ocorrência de precipitação na região sul da SSA, sendo acompanhada pelo deslocamento da ZCIT, onde a maior parte da precipitação ocorre entre o período de dezembro a março (TYSON; PRESTON-WHITE, 2000). A migração da região convectiva tropical se estende até próximo à latitude de 20°S, o que origina a ocorrência de maiores valores de precipitação nessa região e suas proximidades (WASHINGTON; TODD, 1999).

A posição da ZCIT varia com as estações do ano, e fica atrás da posição relativa do sol acima da superfície da Terra em cerca de 1 a 2 meses, e se correlaciona geralmente com o equador térmico. Em janeiro, sobre o Atlântico, a ZCIT geralmente não se assenta mais ao sul do que o Equador, mas se estende muito mais ao sul sobre a SSA (Figura 2).

### Média Mensal - Princeton University - Precipitação (mm/mês)- 1976-2005



Fonte: Autor (2018).

Figura 2 – Padrões médios da precipitação para diferentes meses para o período de 1976-2005.

#### 1.2.2. Características climáticas da África Sub-Sahariana

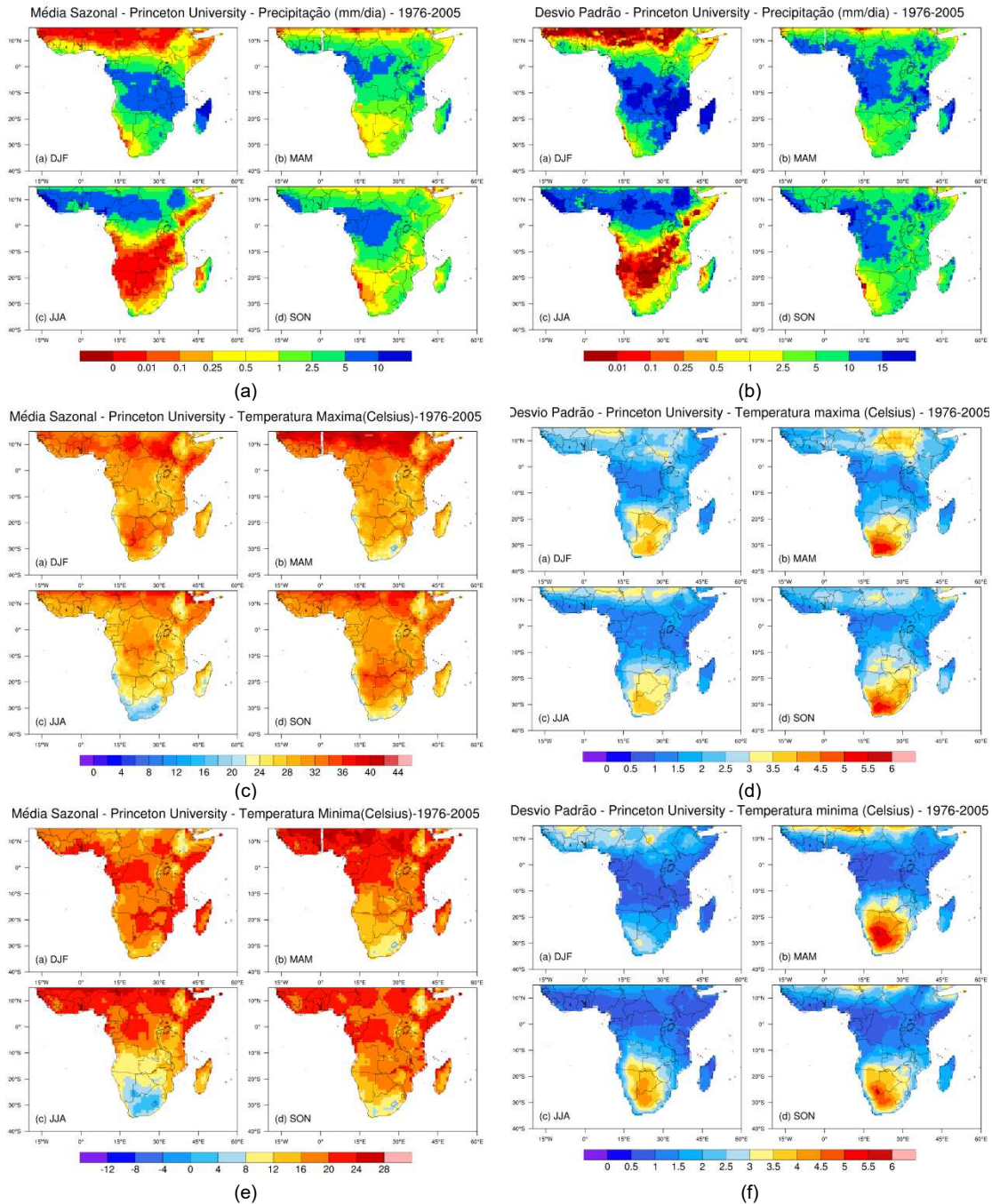
Mediante os dados observados da Universidade de Princeton, foi feita a climatologia da região da África Sub-Sahariana (SHEFFIELD et al., 2006, <http://hydrology.princeton.edu/getdata.php?dataid=1>).

O clima é principalmente, definida pela ZCIT, também pelas Altas Subtropicais do Atlântico Sul e Índico em que se observa um centro de Alta Pressão (Baixa Pressão), Ciclones Tropicais, Sistemas Frontais, influência das Correntes Oceânicas. Na Figura 3, foi calculada a climatologia para as estações

de março-abril-maio (MAM), junho-julho-agosto (JJA), setembro-outubro-novembro (SON) e dezembro-janeiro-fevereiro (DJF).

Na Figura 3a, os valores mais altos da precipitação estão confinados nas áreas em que é notável a presença da ZCIT. Valores muito baixos de precipitação caracterizam as regiões áridas do norte da Somália, oeste da Namíbia, oeste da África do Sul e na parte sul do Saara. Além disso, neste caso, o mapa de desvio padrão (Figura 3b) mostra um padrão espacial bastante uniforme.

Entretanto, na Figura 3c e 3e a variação de temperatura máxima e mínima nas terras altas e ao longo das áreas com acentuado gradiente topográfico é maior em relação as outras partes da região. Neste caso, o mapa de desvio padrão (Figuras 3d e 3f) mostra um padrão bastante uniforme e com variação de temperatura máxima e mínima alta nas regiões de pressões atmosféricas altas.



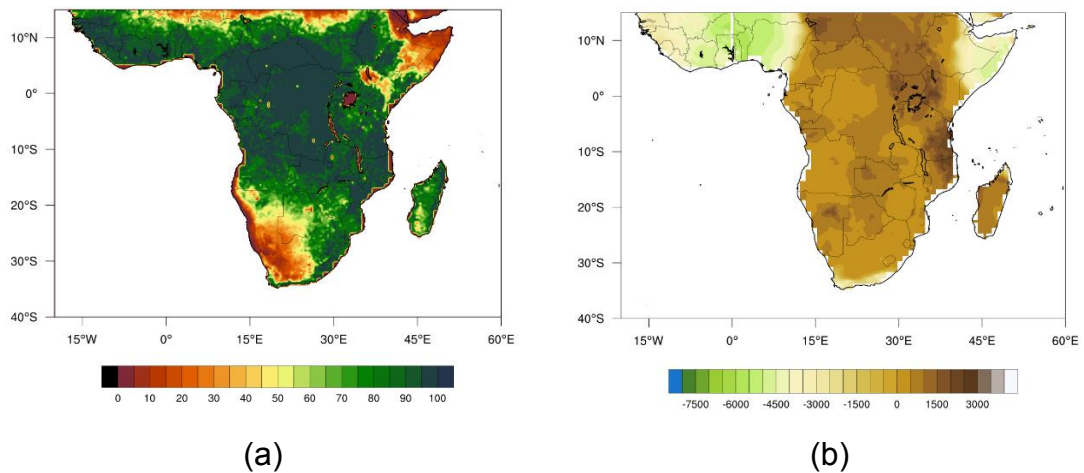
LEGENDA: (a) Precipitação, (c) Temperatura máxima e (e) Temperatura mínima observada; e desvio padrão sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) dos dados observados no período de 1976-2005: (b) Precipitação, (d) Temperatura máxima e (f) Temperatura mínima observada.

Figura 3 – Média sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) dos dados observados no período de 1976-2005.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área do presente estudo foi a SSA, o qual está situado entre os paralelos 15° N e 35° S e os meridianos de 18°W e 50° E, como mostra a Figura 4.



Legenda: a) Vegetação da área do estudo. b) Topografia da área de estudo.

Fonte: Autor (2018).

Figura 4 – Localização geográfica da área de estudo da África Sub-Sahariana.

### 2.2. Dados

#### 2.2.1. Dados meteorológicos

Os dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima ( $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  de latitude/longitude) em uma série temporal de 30 anos (1976-2005) do Terrestrial Hydrology Research Group of Princeton University – THRGPU (SHEFFIELD et al., 2006), que é uma fusão de vários conjuntos de dados, incluindo a Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), o Global Precipitation Climatology Project (GPCP), a reanálise do National Centers for Atmospheric Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP – NCAR) e o conjunto de dados baseado em estações da Climatic Research Unit (CRU), foram utilizados neste estudo.

### 2.2.2. Índices climáticos: séries temporais atmosférica e do oceânica

Foram utilizados quatro índices de oceânicos respectivamente:

- a) Dipole Mode Index (do inglês, DMI) - que é um indicador de gradientes de temperatura entre as duas regiões tropicais do oceano Índico. O DMI é determinado pela diferença entre anomalias de TSM na região Oeste e Sudeste do oceano Índico Tropical (WOIT e SEOIT).
- b) Oceanic Niño Index (do inglês, ONI) - é de fato o padrão que se usa para identificar eventos quentes (El Niño) e frios (La Niña) no Oceano Pacífico tropical. É calculado como a média móvel de três meses de anomalias na TSM para a região El Niño 3.4 (isto é, a faixa entre 5°N -5°S e 120° -170° W).
- c) Tropical Northern Atlantic Index (do inglês, TNA), é um indicador das temperaturas da superfície no leste do Oceano Atlântico Norte. É calculado com a TSM na faixa 55 ° W - 15 ° W, 5 ° N - 25 ° N.
- d) Tropical Southern Atlantic Index (do inglês, TSA) é um indicador das temperaturas da superfície no Golfo da Guiné, no leste do Oceano Atlântico Sul. É calculado com a TSM na caixa 30°W -10°E, 20°S - 0°.

### 2.2.3. Modelos climáticos

Para avaliar o efeito das mudanças climáticas e a correlação climática dos índices de oceanos, foram utilizados seis modelos regionais climáticos do CORDEX – *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*, (GIORGI et al., 2009) e um arquivo NCEA (suportado pela média dos seis modelos de CORDEX) com resolução espacial de aproximadamente 50 km (Tabela 1) com base no cenário de forçante radiativa RCP (*Representative Concentration Pathways*) 4.5 e 8.5. Os RCPs 4.5 e 8.5 são cenários de gases de efeito estufa em que o total de forçantes radiativas são de 4,5 W m<sup>-2</sup> e 8,5 W m<sup>-2</sup>, ao serem estabilizados antes de 2100 pelo uso de uma gama de tecnologias e estratégias para reduzir tais emissões. Para a África, o CORDEX oferece uma oportunidade sem precedentes para melhorar a compreensão das respostas regionais do clima à mudança climática global, e essas ideias alimentarão a pesquisa sobre adaptação ao clima e avaliação de riscos e o planejamento de políticas na região.

Tabela 2 – Modelos regionais climáticos avaliados neste estudo e seus atributos, compreendidos pelo período histórico (1976-2005) e futuro (2020-2050) nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Modelo	Centro	País	Referência
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCma)	Canada	Arora et al. (2011)
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM-CERFACS)	France	Voldoire et al. (2013)
IPSL-CM5A-MR	Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL)	France	Dufresne et al. (2013)
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology – MIROC	Japan	Watanabe et al. (2010)
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre (NCC)	Norway	Zhang et al. (2012)
GFDL-ESM2M	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	Donner et al. (2011)
NCEA	Department of Earth System Science University of California Irvine	USA	Zender (2019)

Fonte: Giorgi et al. 2009; <http://cordex.dmi.dk/joomla/>

### 2.3. Índices extremos de precipitação e temperatura

Os índices climáticos extremos baseados em séries temporais diárias de temperatura e precipitação caracterizam a frequência, intensidade e duração dos extremos climáticos. Para a geração dos índices foi utilizado o pacote `climdex.pcic`, uma adaptação do software livre original de R-Climdex. Entre os 27 índices principais empreendidos pela Equipe de Especialistas em Detecção de Índices de Mudança Climáticas (ETCCDI), foram selecionados oito para a região da SSA (Tabela 1) como possíveis índices de mudanças climáticas. Para cálculo da tendência e significância estatística de  $p \leq 0,05$ , foi usado o pacote `rkt` (teste Mann-Kendall, Seasonal and Regional Kendall Tests) no software livre R. Dos índices escolhidos neste trabalho, foram considerados como possíveis de mudanças climáticas, aqueles que apresentaram tendências (positivas ou negativas) superior ao erro padrão de estimativa e com alta significância estatística ( $p \leq 0,05$ ). A formulação detalhada dos índices e procedimentos de controle de qualidade podem ser encontradas em Zhang e Yang (2004), Bhowmik (2012 e 2013) e Bhowmik e Cabral (2013).

Tabela 3 – Índices de precipitação e de temperatura avaliados neste estudo e seus atributos.  $RR \geq 1\text{mm}$  indica dias úmidos e  $RR \leq 1\text{mm}$  indica dias secos

Índices	Nome	Definição	
<b>Índices de precipitação</b>			
cdd	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{ mm}$	dias
cwd	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{ mm}$	dias
prcptot	Precipitação total anual em dias úmidos	Precipitação total anual em dia chuvoso ( $RR > 1\text{ mm}$ )	mm
Rx5day	Máximo de 5 dias de chuva	Máximo de 5 dias de chuva	mm
<b>Índices de temperatura</b>			
dtr	Amplitude térmica diária	Média mensal da diferença entre TX e TN	°C
tnn	Valor mínimo da temperatura mínima diária	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	°C
txx	Valor Máximo da temperatura máxima diária	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	°C
wsgi	Duração do período quente	Número de dias no ano com pelo menos 6 dias consecutivos com $TX > 90^{\circ}$ percentil	dias

Fonte: Zhang e Yang (2004).

\*RR indica precipitação diária.

#### 2.4. Consistência das simulações para cada modelo

Três índices de avaliação temporal e espacial (coeficiente de correlação, razão de desvio-padrão e raiz do erro quadrático médio) entre extremos de dados observados e de modelos são utilizados para avaliar a capacidade de cada modelo de simular os índices de temperaturas extremas e precipitação extrema semelhantes aos valores observados (YOU et al., 2017).

A classificação do modelo de rank ( $M_R$ ) (CHEN et al., 2011; JIANG et al., 2012, 2015) que mede a consistência das simulações para cada modelo, é definida na fórmula (1).

$$M_R = 1 - \frac{1}{(1.m.n)} \sum_{i=1}^n rank_i \quad (1)$$

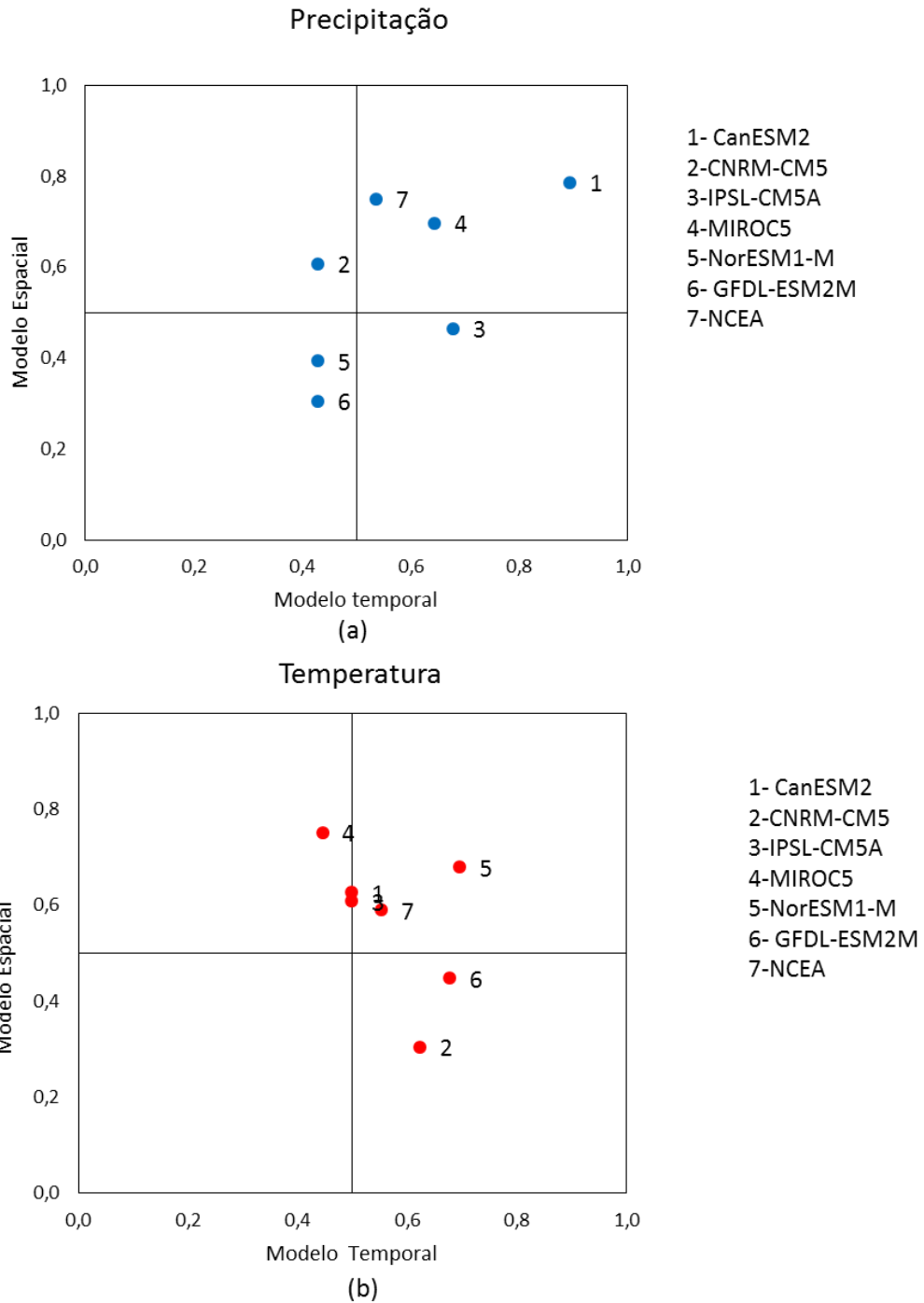
em que  $m$  e  $n$  é o número de modelos e índices, e  $\text{rank}_i$  é baseada na ordem de desempenho do modelo em cada índice. O  $M_R$  do modelo de melhor desempenho está mais próximo de 1, indicando maior habilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Consistência das simulações para cada modelo

A relação entre as classificações temporal e espacial de cada modelo para precipitação extrema e temperatura extrema é mostrada na Figura 5. Cada ponto representa um modelo, identificado pelo seu número à direita. A classificação recebe um valor entre 0 e 1 para cada modelo com base nos três índices de avaliação. Modelos mais próximos do canto superior direito do diagrama mostram melhor desempenho geral. Os três principais modelos da precipitação extrema e temperatura extrema são: CanESM2M, MIROC5, NCEA e NorESM1-M, NCEA, CanESM2M. Esses modelos são definidos como os ótimos modelos.

Em relação ao resultado do desempenho de precipitação, Alemseged e Tom (2015), na avaliação com modelos, encontraram que CanESM2 apresentou o melhor desempenho em termos do coeficiente de correlação entre as quantidades anuais de chuva calibradas e simuladas, assim como o MIROC5 é superior aos outros modelos em termos de captura de anomalia de precipitação; ou seja, ocorrência de anos úmidos e secos.



LEGENDA: Cada ponto representa um modelo, identificado pelo seu número à direita: (a) precipitação extrema e (b) temperatura extrema.

Fonte: Autor (2018).

Figura 5 – Diagrama de dispersão mostrando a relação entre o valor da classificação do modelo temporal e espacial (MR).

### 3.2. Comparação da tendência entre os dados observados e os dados de modelos climáticos

O resultado desse estudo fornece uma visão geral dos padrões temporais e espaciais em relação aos fatores climáticos que têm variado devido às mudanças climáticas globais, da sazonal à anual.

#### 3.2.1. Padrões de CDD para 1976-2005

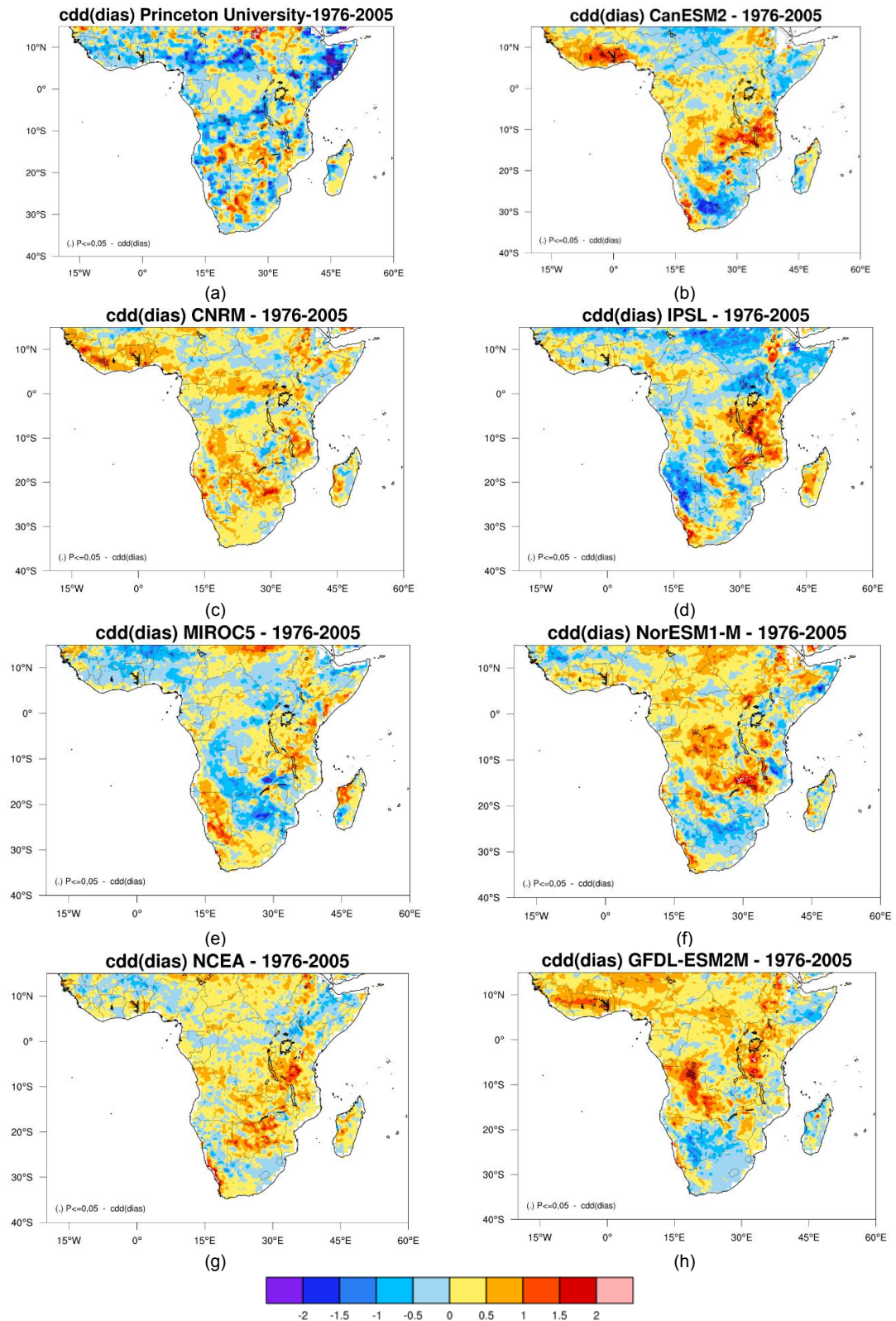
A Figura 6a é representação do dado referência (observação) para o índice CDD. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice de dias secos consecutivos CDD investigado são mostradas na Figura 6.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de dias secos consecutivos (CDD), foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e tendências negativas crescentes nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrecentes) para o índice CDD no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de CDD (dias) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva	Negativa
Observado (Princeton University)	Sudoeste de Angola Oeste de Zâmbia Sul de Sudão	República Centro-Africana, Somália, Leste de Etiópia, Leste e Oeste de R. D. do Congo, Norte de Moçambique, Leste de Nigéria.
CanESM2	Gana, Togo, Benin, Costa de Marfim, Zâmbia, Sul da Tanzânia	África de Sul
CNRM-CM5	Costa de Marfim, Libéria, Norte de R. D. do Congo, Gana, Togo, Benin, Nigéria, Uganda	-
IPSL-CM5A-MR	Tanzânia, Sul da R. D. do Congo	Namíbia
MIROC5	Sul de Sudão	Sul de Níger, Leste da Zâmbia
NorESM1-M	R. D. do Congo, Zâmbia, Oeste de Moçambique	Somália
NCEA	Tanzânia, Chade, Botsuana.	-
GFDL-ESM2M	Angola, R. D. do Congo, Gana, Costa de Marfim	-

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada. (b) CanESM2. (c) CNRM-CM5. (d) IPSL-CM5A-MR. (e) MIROC5. (f) NorESM1-M. (g) NCEA. (h) GFDL-ESM2M.

Figura 6 – Tendências de número máximo de dias consecutivos secos (CDD) com RR <1 milímetro (1976-2005).

Esses resultados também podem ser observados no estudo de Cattani et al. (2018) em que identifica o extenso episódio de seca 1999 que afetou Burundi, Eritréia, Etiópia, Quênia, Ruanda e Uganda e o período prolongado de chuvas deprimidas em 2003-2009 (com exceção de 2006) no Quênia, Etiópia e Tanzânia.

### 3.2.2. Padrões de CWD para 1976-2005

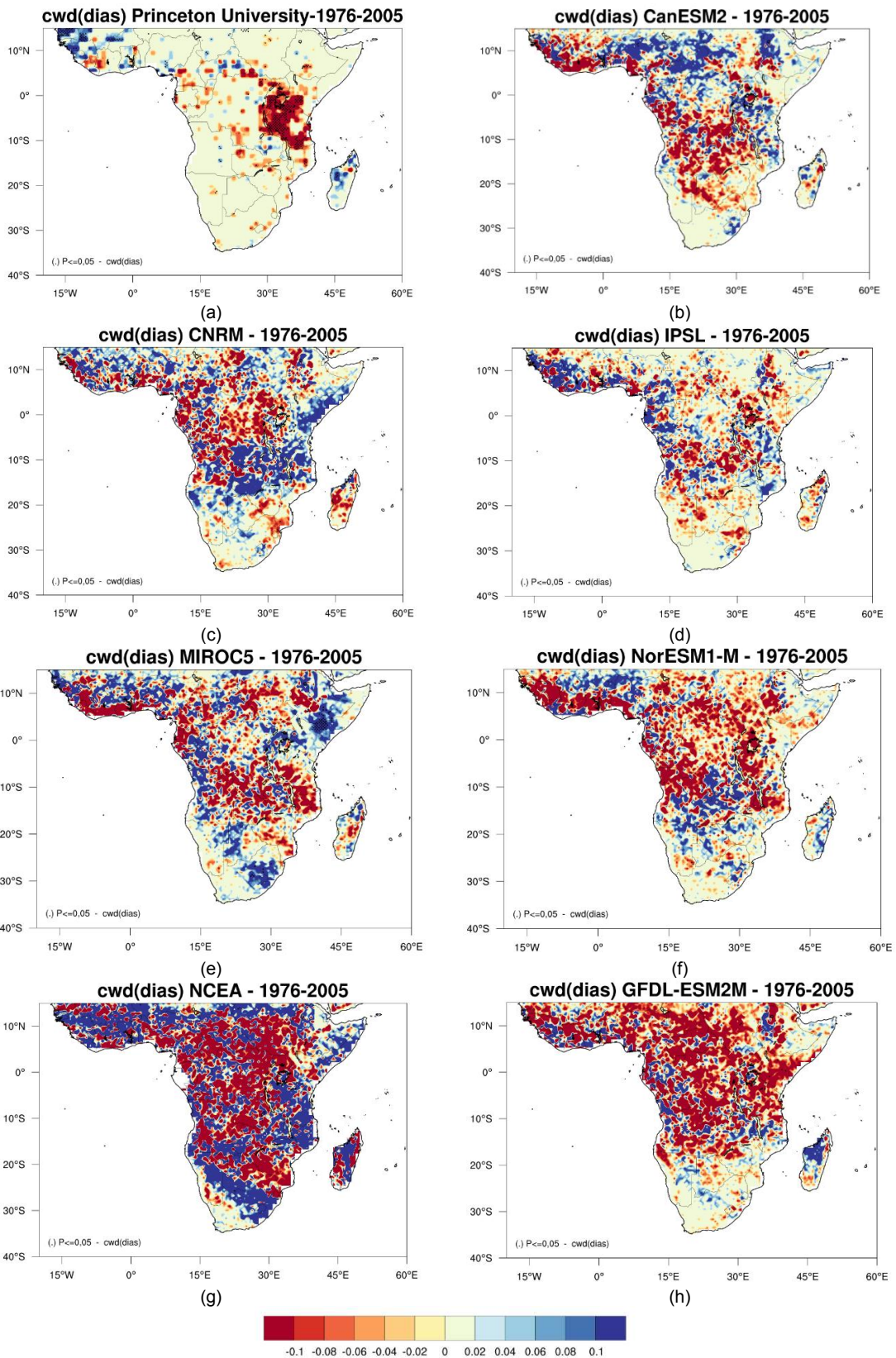
A Figura 7a é representação do dado referência (observação) para o índice CWD. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice de dias úmidos consecutivos - CWD investigado são mostradas na Figura 7.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de dias úmidos consecutivos (CWD), foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e tendências negativas decrescentes nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CWD no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de CWD (dias) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrescente)
Observado (Princeton University)	Madagascar, Serra Leoa, Guine, Guiné-Bissau, Gambia, Gana, R. C-Africana, Sul de Nigéria	Tanzânia, Quênia, Uganda
CanESM2	Nigéria	-
CNRM-CM5	-	-
IPSL-CM5A-MR	-	-
MIROC5	Etiópia, Somália, África do Sul	Norte de Moçambique
NorESM1-M	-	-
NCEA	-	-
GFDL-ESM2M	-	-

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 7 – Tendências de número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) com  $RR \geq 1\text{mm}$  (1976-2005).

As Figuras 6 e 7 mostram a distribuição espacial do CDD e da CWD, respectivamente, a partir dos modelos climáticos e das observações. As fases opostas em magnitude são bem observadas entre os padrões CDD e CWD: áreas com CDD mínimo correspondem à CWD máxima (SONKOUÉ et al., 2019).

### 3.2.3. Padrões de DTR para 1976-2005

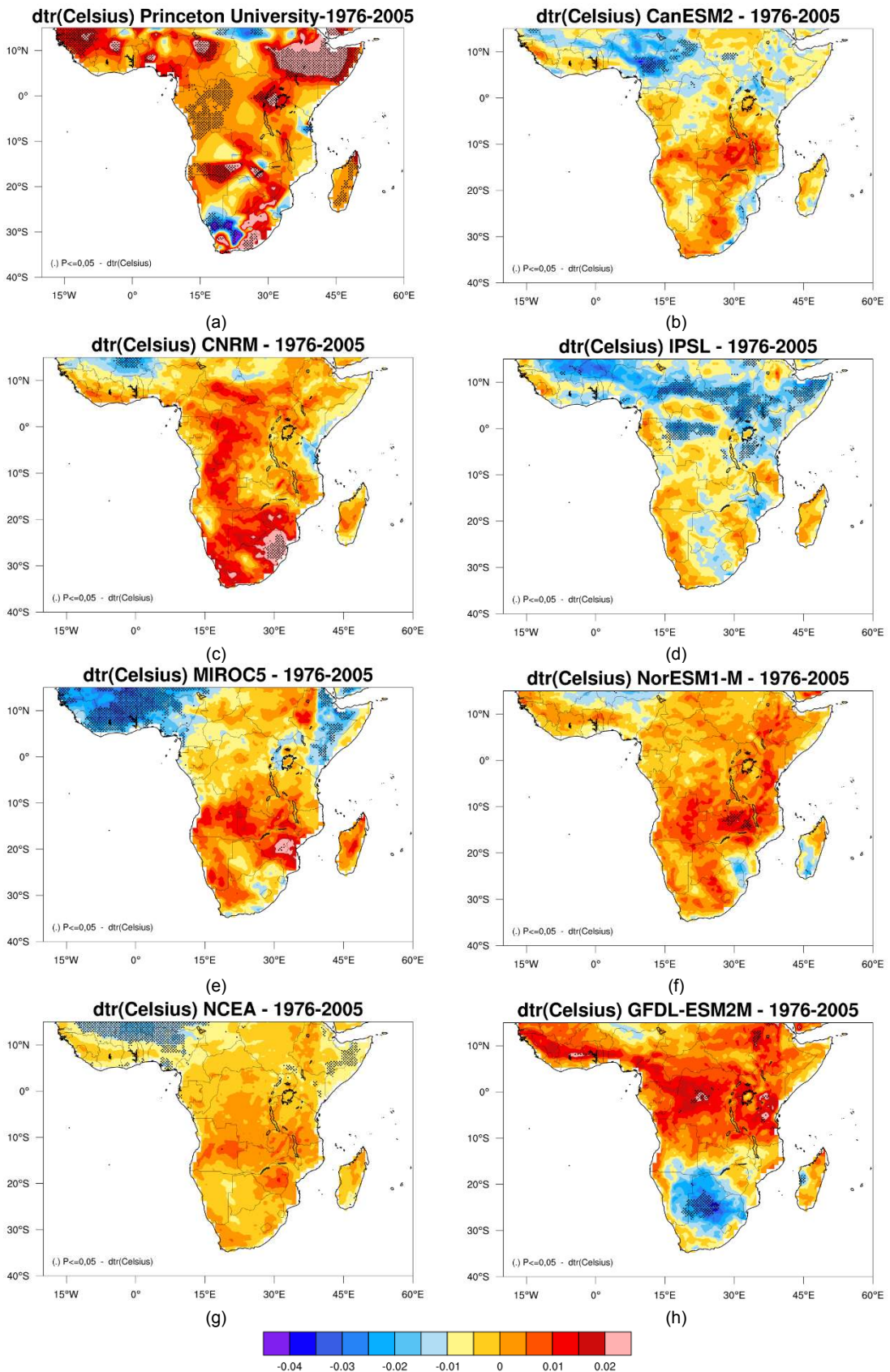
A Figura 8a é representação do dado referência (observação) para o índice DTR. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice de dias úmidos consecutivos - DTR investigado são mostradas na Figura 8.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de amplitude térmica diárias (DTR), foram detectadas as tendências regionais decrescentes nos valores dos modelos climáticos e tendências positiva crescente nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 5.

Tabela 6 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice DTR no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de DTR ( $^{\circ}\text{C}$ ) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrescente)
Observado (Princeton University)	Excepto as decrescentes, todas as regiões são positivas	Sul da Namíbia, Oeste de África do Sul, Leste de Tanzânia, Sudão Chade
CanESM2	-	Sul de Moçambique, Camarões, Chade, Nigéria, Senegal.
CNRM-CM5	África do Sul, Suazilândia, Lesoto	Leste da Tanzânia, Burkina Faso, Mali
IPSL-CM5A-MR	-	Somália, Etiópia, Quênia, Tanzânia, Uganda, Sudão Sul, R. C-Africana, Nigéria, Oeste de R. D. do Congo, Burkina Faso, Mali
MIROC5	Zimbábue, Centro de Moçambique.	Etiópia, Quênia, Nigéria, Benin, Togo, Gana, Burkina Faso, Mali, Libéria, Serra Leoa, Guine, Guiné-Bissau, Gambia, Senegal
NorESM1-M	Zâmbia, Centro e Norte de Moçambique.	Madagáscar
NCEA	Etiópia, Somália, Quênia, Sudão Sul	Nigéria, Níger, Burkina Faso, Mali
GFDL-ESM2M	R. D. do Congo, Tanzânia, Sudão, Costa de Marfim, Gana	África do Sul, Botsuana, Namíbia

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 8 – Tendências de amplitude térmica diária – DTR (1976-2005).

Segundo Zhang et al. (2005), houve tendências decrescentes da faixa de temperatura diurna (DTR) devido ao rápido aumento da temperatura mínima nas últimas décadas. Neste presente estudo, a maioria dos modelos também indicou uma tendência decrescente de queda durante o período 1976-2005.

### 3.2.4. Padrões de PRCPTOT para 1976-2005

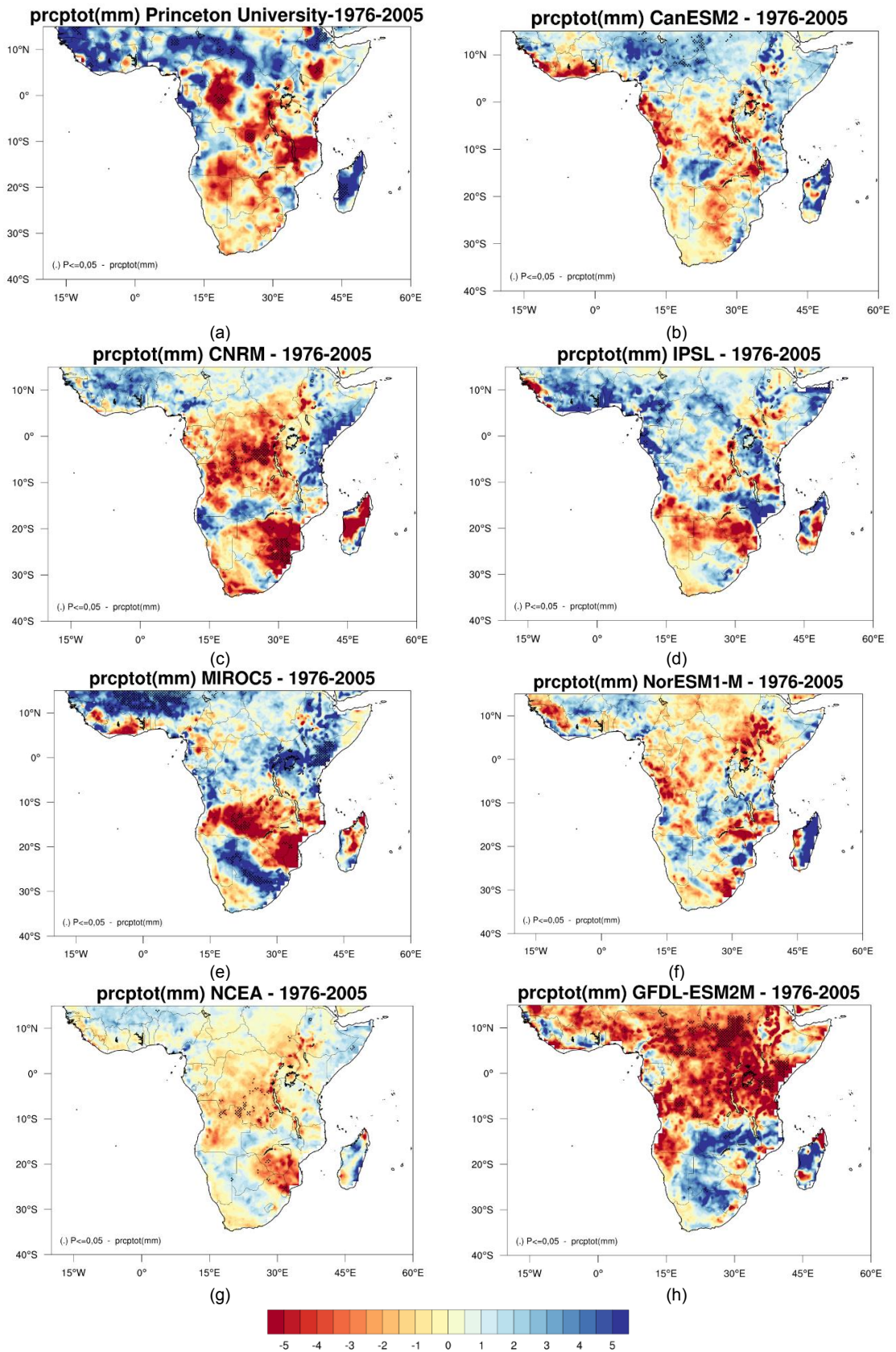
A Figura 9a é representação do dado referência (observação) para o índice PRCPTOT. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice de precipitação total anual - PRCPTOT investigado são mostradas na Figura 9.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de precipitação total anual - PRCPTOT, foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice PRCPTOT no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de PRCPTOT (mm) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrescente)
Observado (Princeton University)	Madagascar, Norte de Etiópia, Nigéria, Chade, Libéria, Mali, Sul e Norte da R. C-Africana	R. D. do Congo e o Sul da Etiópia
CanESM2	R. C.-Africana, Nigéria, Chade, Sudão.	-
CNRM-CM5	Sul de Namíbia, Mali	R. D. do Congo, Angola, Zimbábue, Norte de África do Sul
IPSL-CM5A-MR	Somália, Guiné-Equatorial, Gabão, Camarões, Costa de Marfim	-
MIROC5	África do Sul, Botsuana, Quênia, Uganda, Etiópia, Níger, Mali, Burkina Faso	Moçambique, Zimbábue Zâmbia, Angola
NorESM1-M	-	-
NCEA	Somália, Níger, Burkina Faso.	Zimbábue, R. D. do Congo, Angola, Norte de Moçambique
GFDL-ESM2M	Zâmbia, África do Sul, Botsuana	R. D. do Congo, Quênia, Tanzânia, Uganda, Sudão do Sul, Sudão, R. C-Africana, Chade, Nigéria, Níger.

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 9 – Tendências de precipitação total anual nos dias úmidos ( $\geq 1$ mm) – prcptot (1976-2005).

Como esperado na Figura 9, os padrões do CDD mais baixo estão localizados em áreas onde o PRCPTOT é mais alto (SONKOUÉ et al., 2019).

### 3.2.5. Padrões de RX5DAY para 1976-2005

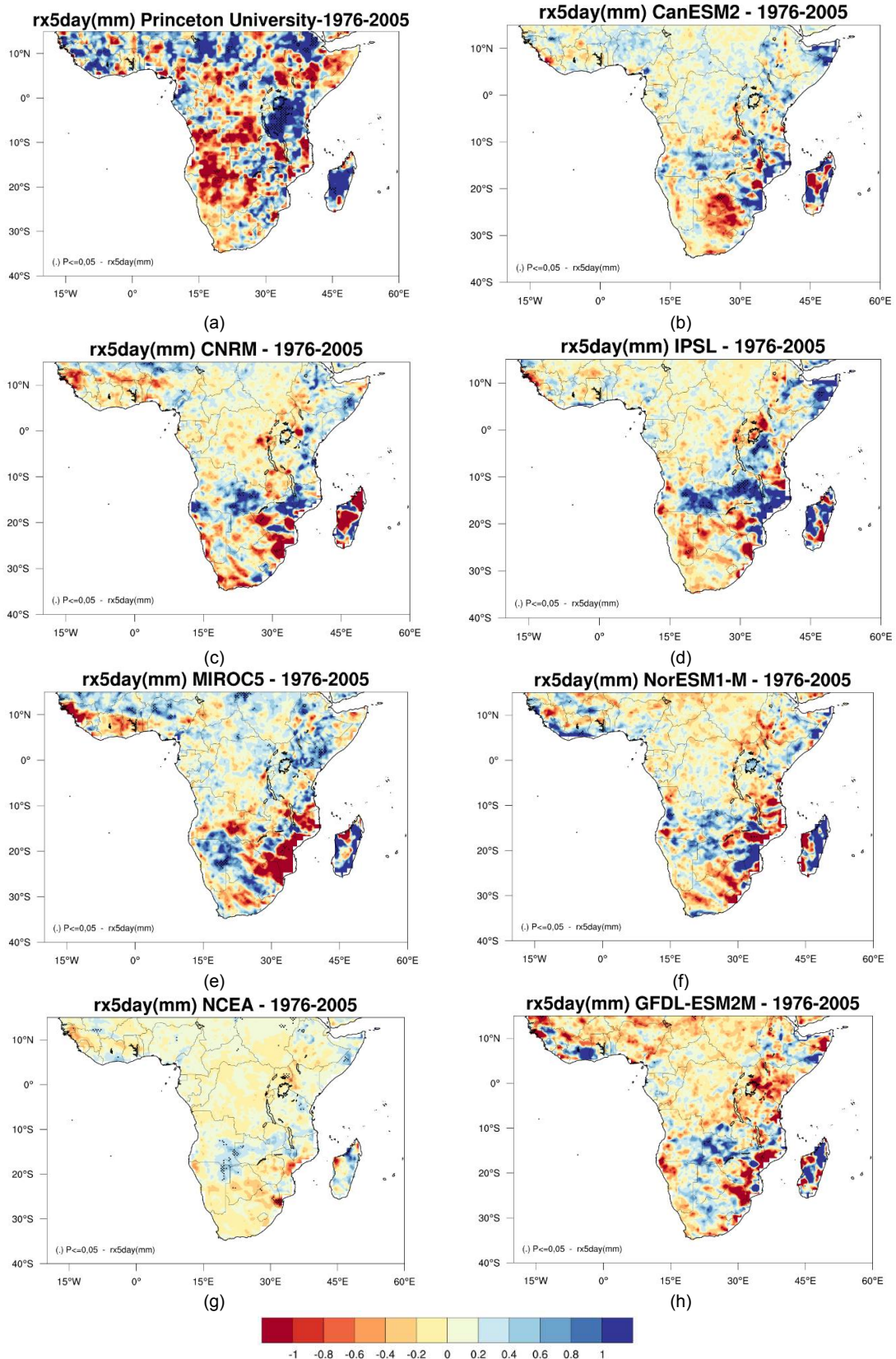
O índice RX5DAY geralmente aumentam na região norte do domínio, mas diminuem nas partes sul-ocidentais da África do Sul. Na Figura 10a é representação do dado referência para o índice RX5DAY. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice RX5DAY investigado são mostradas na Figura 10.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de RX5DAY, foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decréscantes) para o índice RX5DAY no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de RX5DAY (mm) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decréscante)
Observado (Princeton University)	Tanzânia, Madagascar, Etiópia, Chade.	Angola, Namíbia, R. D. do Congo.
CanESM2	Somália, Guine, Guine Equatorial	Botsuana, África do Sul.
CNRM-CM5	Zâmbia, Somália, Níger, Quênia	Zimbábue, África do Sul.
IPSL-CM5A-MR	Zâmbia, Somália, Tanzânia, Moçambique, Angola.	Namíbia.
MIROC5	Namíbia, Quênia, Nigéria, Burkina Faso, Sudão.	Moçambique, Zimbábue.
NorESM1-M	Zâmbia, Angola, Costa de Marfim	Moçambique.
NCEA	Angola, Mali, Zâmbia, Somália, Tanzânia.	África do Sul, Botsuana, Uganda, Sudão.
GFDL-ESM2M	Zâmbia.	Moçambique, Quênia, Chade

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 10 – Tendências da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (rx5day) no ano (mm/ano) (1976-2005).

### 3.2.6. Padrões de TNN para 1976-2005

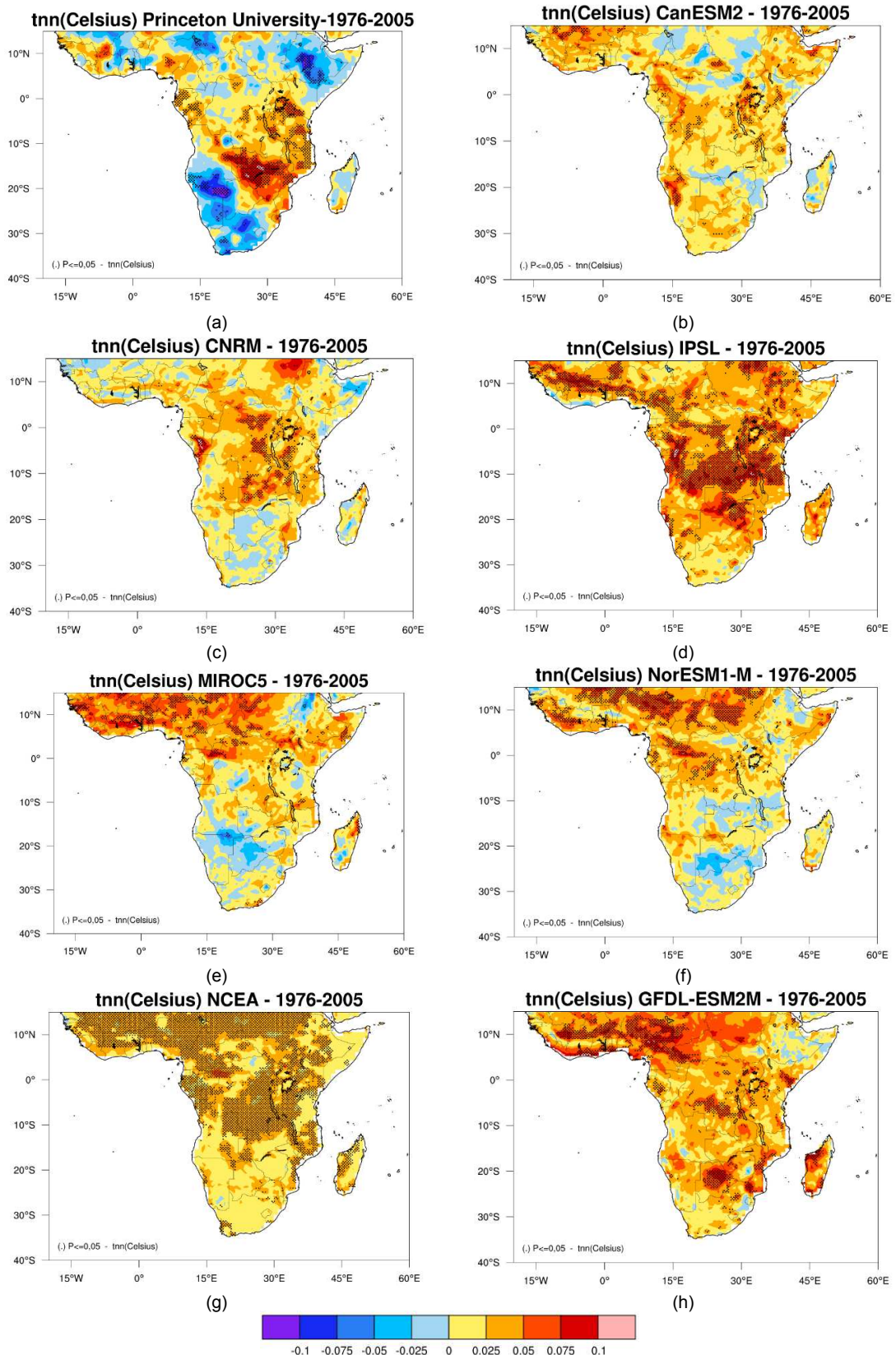
A Figura 11a é representação do dado referência (observação) para o índice TNN. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice TNN investigado são mostradas na Figura 11.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de TNN, foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrecentes) para o índice TNN no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de TNN ( $^{\circ}\text{C}$ ) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrecente)
Observado (Princeton University)	Moçambique, Zimbábue, Tanzânia, Zâmbia, Angola, Nigéria, Gabão, Guine Equatorial, R. D. do Congo, Costa de Marfim.	Etiópia, Namíbia, África do Sul, Chade.
CanESM2	África do Sul, Moçambique, Namíbia, Angola, Tanzânia, Zâmbia, Uganda, Quênia, Somália R. D. do Congo, Camarões, Mali, Burkina Faso.	-
CNRM-CM5	Tanzânia, Zâmbia, R. D. do Congo, Sudão, Moçambique, Angola, Gabão, Nigéria	Somália
IPSL-CM5A-MR	Toda a região apresenta uma significância positiva	-
MIROC5	Somália, Etiópia, Madagascar, R. C-Africana, Nigéria, Congo, Sudão, Chade, Mali, Camarões, Benin, Togo, Costa de Marfim, Guine.	Namíbia, Angola, Botsuana.
NorESM1-M	Somália, R. D. do Congo, Congo, Gabão, Camarões, R. C-Africana, Sudão, Sudão de Sul, Nigéria, Chade, Mali, Costa de Marfim, Libéria, Guine, Togo, Benin.	-
NCEA	Toda a região apresenta uma significância positiva	-
GFDL-ESM2M	Botsuana, África do Sul, Moçambique, Madagascar, C. D. do Congo, Quênia, Uganda, Camarões, Nigéria, Gana, Togo, Benin, Costa de Marfim, Gabão R. C-Africana, Mali, Chade, Burkina Faso.	-

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 11 – Tendências do valor mínimo da temperatura mínima diária - tnn (1976-2005).

### 3.2.7. Padrões de TXX para 1976-2005

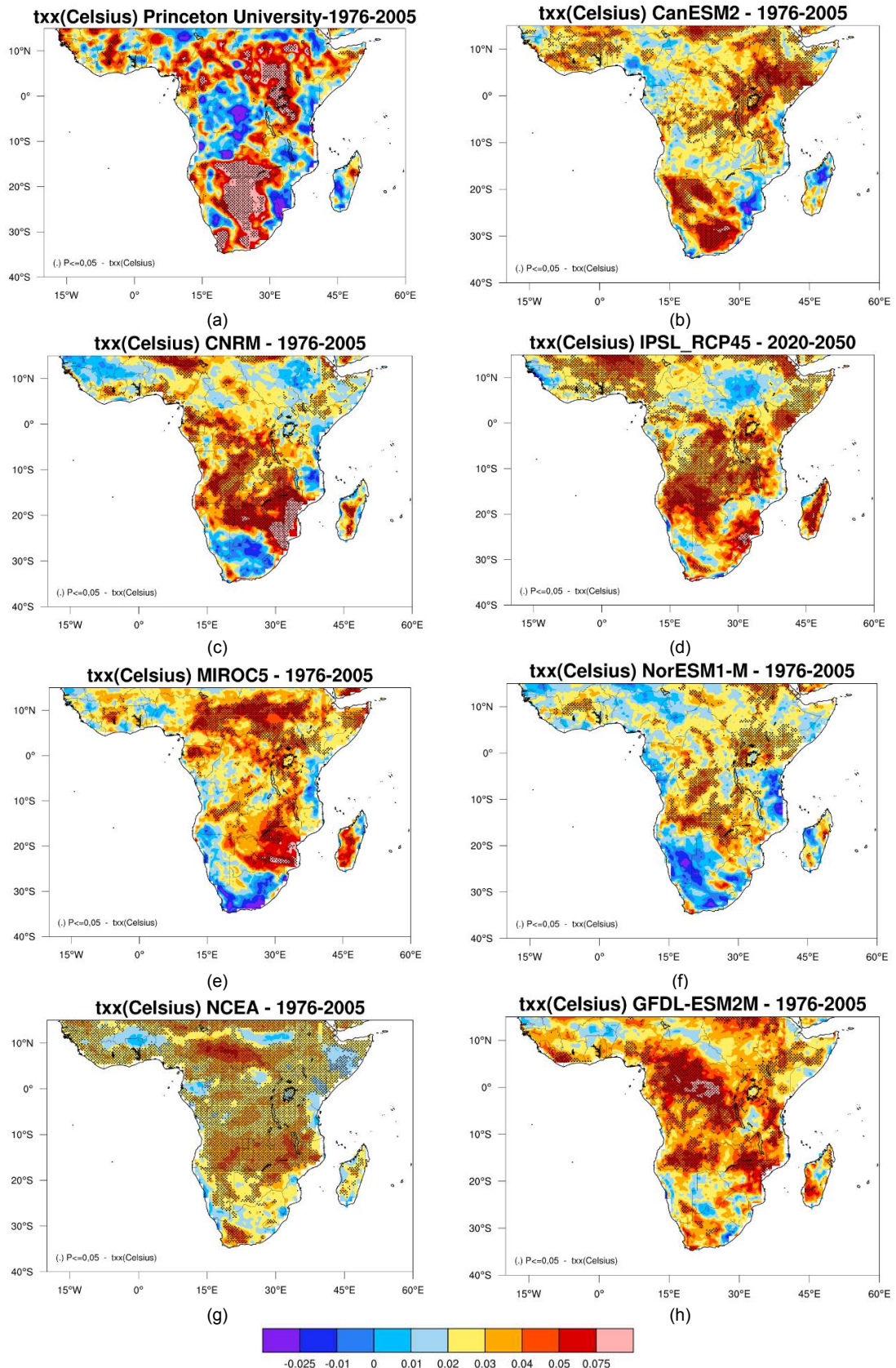
A Figura 12a é representação do dado referência (observação) para o índice TXX. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice TXX investigado são mostradas na Figura 12.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de TXX, foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TXX no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de TXX (°C) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrescente)
Observado (Princeton University)	África do Sul, Namíbia, Botsuana, Zâmbia, Zimbábue, Tanzânia, Somália, Etiópia, Uganda, Sudão do Sul, Camarões, R. C-Africana, Nigéria, Costa de Marfim.	-
CanESM2	África do Sul, Namíbia, Botsuana, Tanzânia, Somália, Etiópia, Uganda, Sudão do Sul, R. D. do Congo, R. C-Africana, Nigéria, Togo, Benin, Gana, Libéria, Guine, Serra Leoa, Mali, Níger, Costa de Marfim.	-
CNRM-CM5	Moçambique, Angola, Madagascar, Zimbábue, Zâmbia, Tanzânia, R. D. do Congo, Gabão, Nigéria, Níger, Costa de Marfim, Sudão, Etiópia, Botsuana.	-
IPSL-CM5A-MR	África do Sul, Moçambique, Angola, Botsuana, Madagascar, Namíbia, Zâmbia, Tanzânia, R. D. do Congo, Gabão, Nigéria, Níger, Costa de Marfim, Sudão, Etiópia, Somália, Congo, Mali, Quênia, Uganda.	-
MIROC5	Moçambique, Angola, Madagascar, Zâmbia, Tanzânia, R. D. do Congo, Gabão, Nigéria, Níger, Costa de Marfim, R. C-Africana, Sudão, Etiópia, Somália, Congo, Sudão, Quênia, Uganda, Camarões.	-
NorESM1-M	Moçambique, Angola, Madagascar, Zâmbia, Tanzânia, R. D. do Congo, Gabão, Burkina Faso, Costa de Marfim, Sudão, Etiópia, Somália, Mali, Quênia, Uganda.	-
NCEA	Toda a região apresenta uma significância positiva	-
GFDL-ESM2M	Toda a região apresenta uma significância positiva	-

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 12 – Tendências do valor máximo da temperatura máxima diária - txx (1976-2005).

### 3.2.8. Padrões de WSDI para 1976-2005

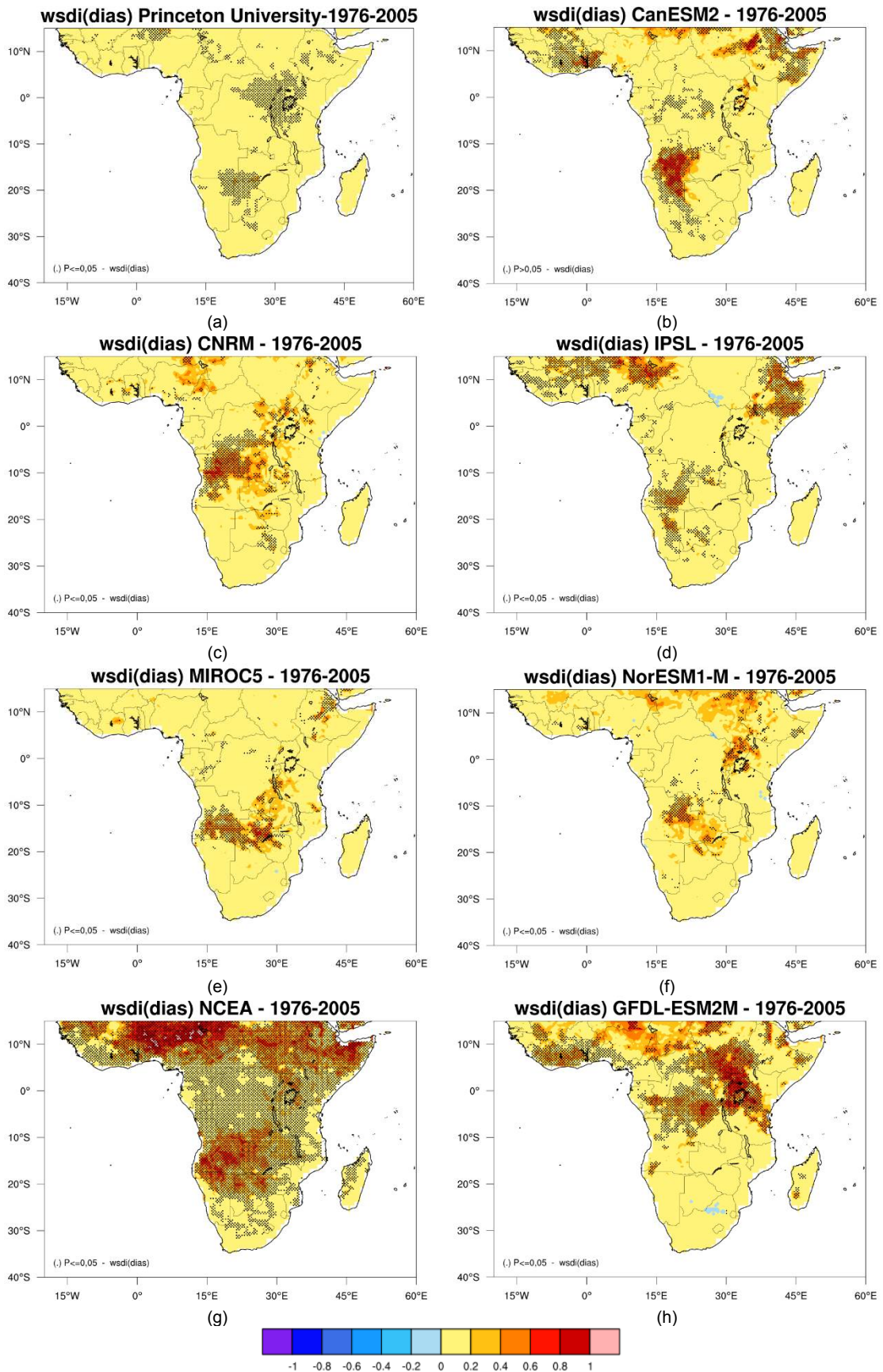
A Figura 13a é representação do dado referência (observação) para o índice WSDI. Assim sendo, a distribuições espaciais do índice WSDI investigado são mostradas na Figura 13.

Mediante a significância ( $P \leq 0,05$ ) nos índices de WSDI foram detectadas as tendências regionais crescentes positivas nos valores dos modelos climáticos e nos valores da observação para período de 1976-2005. Sendo que a significância é mostrada na Tabela 11.

Tabela 11 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrecentes) para o índice WSDI no período 1976-2005

Modelos	Tendências significativas de WSDI (dias) ( $P \leq 0,05$ )	
	Positiva (Crescente)	Negativa (decrecente)
Observado (Princeton University)	Botsuana, Tanzânia, Uganda, R. D. do Congo, Chade, Quênia	-
CanESM2	Angola, Namíbia, Somália, Etiópia, R. D. do Congo, Costa de Marfim, Gana, Togo, Benin, Burkina Faso, Mali, Sudão.	-
CNRM-CM5	Angola, R. D do Congo, Uganda, Zâmbia, Nigéria, Níger, Quênia.	-
IPSL-CM5A-MR	Angola, Namíbia, Etiópia, Somália, Quênia, Botsuana, Nigéria, Chade, Costa de Marfim, Burkina Faso, Mali.	-
MIROC5	Angola, Zâmbia, Zimbábue, Etiópia, R. D. do Congo.	-
NorESM1-M	Angola, Zâmbia, Uganda, Etiópia, Sudão, Sudão do Sul.	-
NCEA	Toda a região apresenta uma significância positiva	-
GFDL-ESM2M	Toda parte central e norte da região apresenta tendência positiva	-

Fonte: Autor (2018).



LEGENDA: (a) observada, (b) CanESM2, (c) CNRM-CM5, (d) IPSL-CM5A-MR, (e) MIROC5, (f) NorESM1-M, (g) NCEA e (h) GFDL-ESM2M.

Figura 13 – Tendências da duração do período quente - wsd (1976-2005).

### **3.3. Potenciais causas dos índices mediante a correlação dos índices do oceano no período de 1976-2005**

Os padrões espaciais em relação a correlação com os índices de oceânicos podem ser facilmente encontrados nas Figuras 14 a 21.

Em escalas de tempo sazonais, os padrões das correlações diferem de estação para estação.

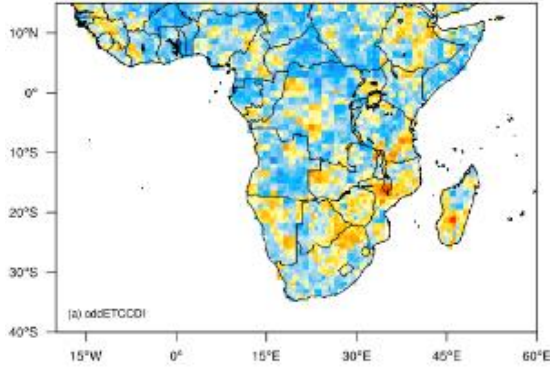
#### **3.3.1. Temporada DJF do CDD**

A Figura 14a apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte do território moçambicano apresenta correlação positiva incluindo países como Zimbábue, Zâmbia, Namíbia, Botswana, Etiópia, Ilha de Madagascar, Guíne, sul da Tanzânia, norte da África do Sul, centro da RD de Congo, norte de Camarões, centro e leste da Nigéria, enquanto os restantes territórios se observam que as maiores partes apresentam correlações negativas.

A Figura 14c apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Moçambique, Somália, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

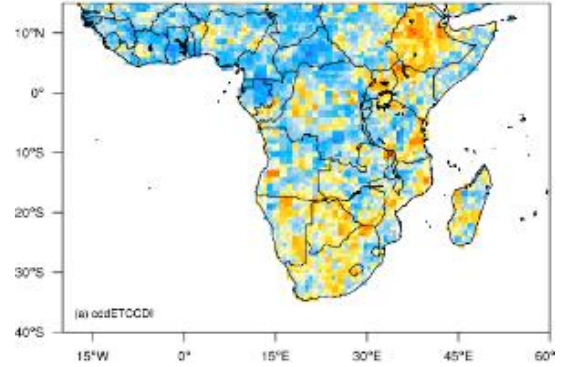
A Figura 14e apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Botswana, Zimbábue, Moçambique, Zâmbia, centro de RD Congo, Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observam que as maiores partes apresentam correlações negativas.

**Corr - cddETCCDI dmiDJF - 1976-2005**



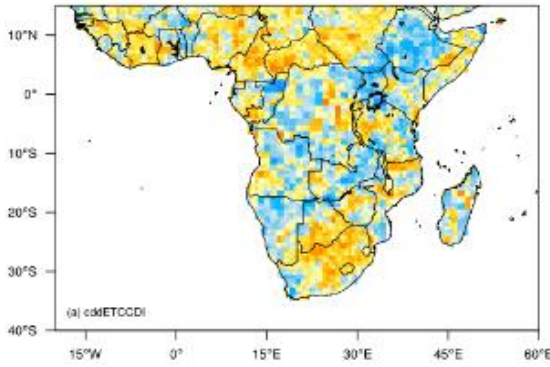
(a)

**Corr - cddETCCDI dmiMAM - 1976-2005**



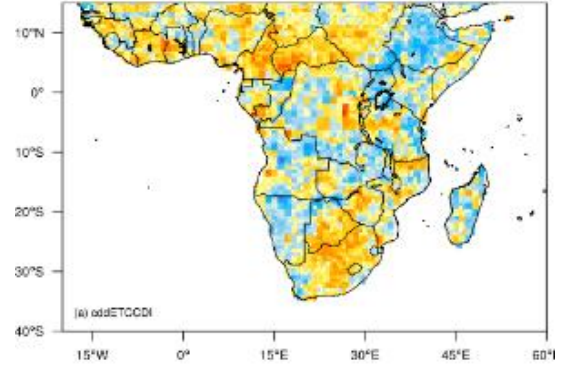
(b)

**Corr - cddETCCDI oniDJF - 1976-2005**



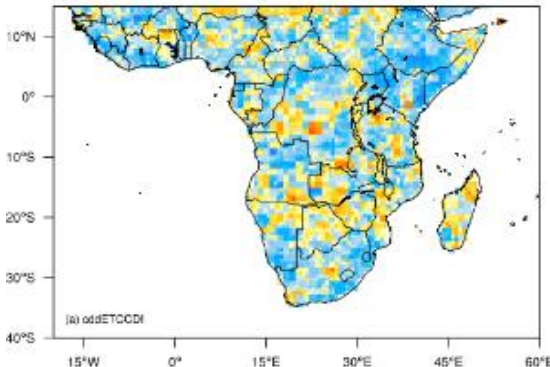
(c)

**Corr - cddETCCDI oniMAM - 1976-2005**



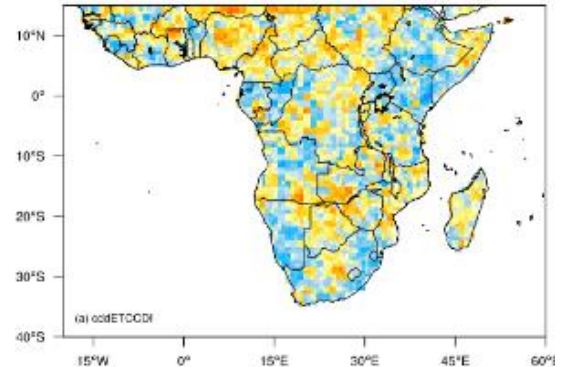
(d)

**Corr - cddETCCDI tnaDJF - 1976-2005**



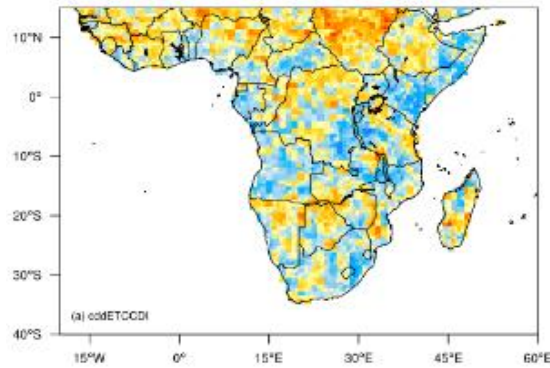
(e)

**Corr - cddETCCDI tnaMAM - 1976-2005**



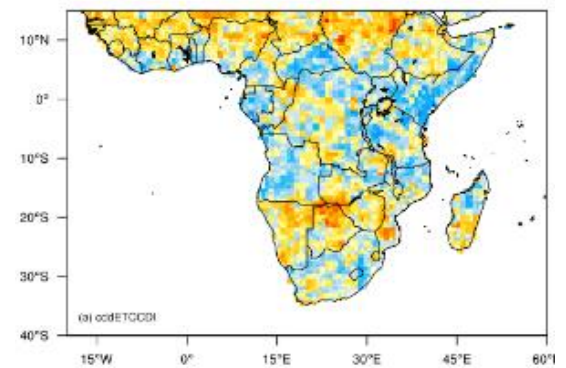
(f)

**Corr - cddETCCDI tsaDJF - 1976-2005**

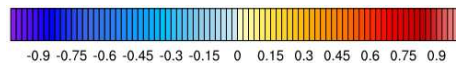


(g)

**Corr - cddETCCDI tsaMAM - 1976-2005**



(h)





A Figura 14g apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Botswana, Zimbábue, Moçambique, Etiópia, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Burkina Faso, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

### **3.3.2. Temporada MAM do CDD**

A Figura 14b apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território de Botswana, Namíbia, Zimbábue, Zâmbia, Etiópia, Uganda Moçambique, Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 14d apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Moçambique, Somália, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 14f apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Botswana, Zimbábue, Moçambique, Somália, Sudão do Norte, República Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 14h apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação

positiva do território da África do Sul, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Moçambique, Etiópia, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

### **3.3.3. Temporada JJA do CDD**

A Figura 14i apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Sudão do Sul, Sudão do Norte, Uganda, Republica Centro Africana, Etiópia, Chade, Guine, Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto o restante território se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 14k apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Moçambique, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 14m apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Botswana, Zimbábue, Moçambique, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 14o apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue,

Moçambique, Etiópia, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, leste e oeste da Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

#### **3.3.4. Temporada SON do CDD**

A Figura 14j apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte do território moçambicano apresenta correlação positiva incluindo países como Namíbia, Etiópia, Ilha de Madagascar, Guine, Sudão, Tanzânia, norte da África do Sul, centro da RD de Congo, norte de Camarões, centro e leste da Nigéria, enquanto os restantes territórios se observam que as maiores partes apresentam correlações negativas.

A Figura 14l apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Moçambique, Somália, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, leste de Namíbia, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 14n apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da Botswana, Zimbábue, Moçambique, Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observam que as maiores partes apresentam correlações negativas.

A Figura 14p apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da África do Sul, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Moçambique, Etiópia, Sudão do Norte, Republica Centro Africana, Chade, Camarões, Nigéria, Costa de Marfim, Guine, sul de Mali, Tanzânia, centro do RD Congo, sul de Angola, norte da Zâmbia, norte e sul da Ilha de Madagascar,

enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas..

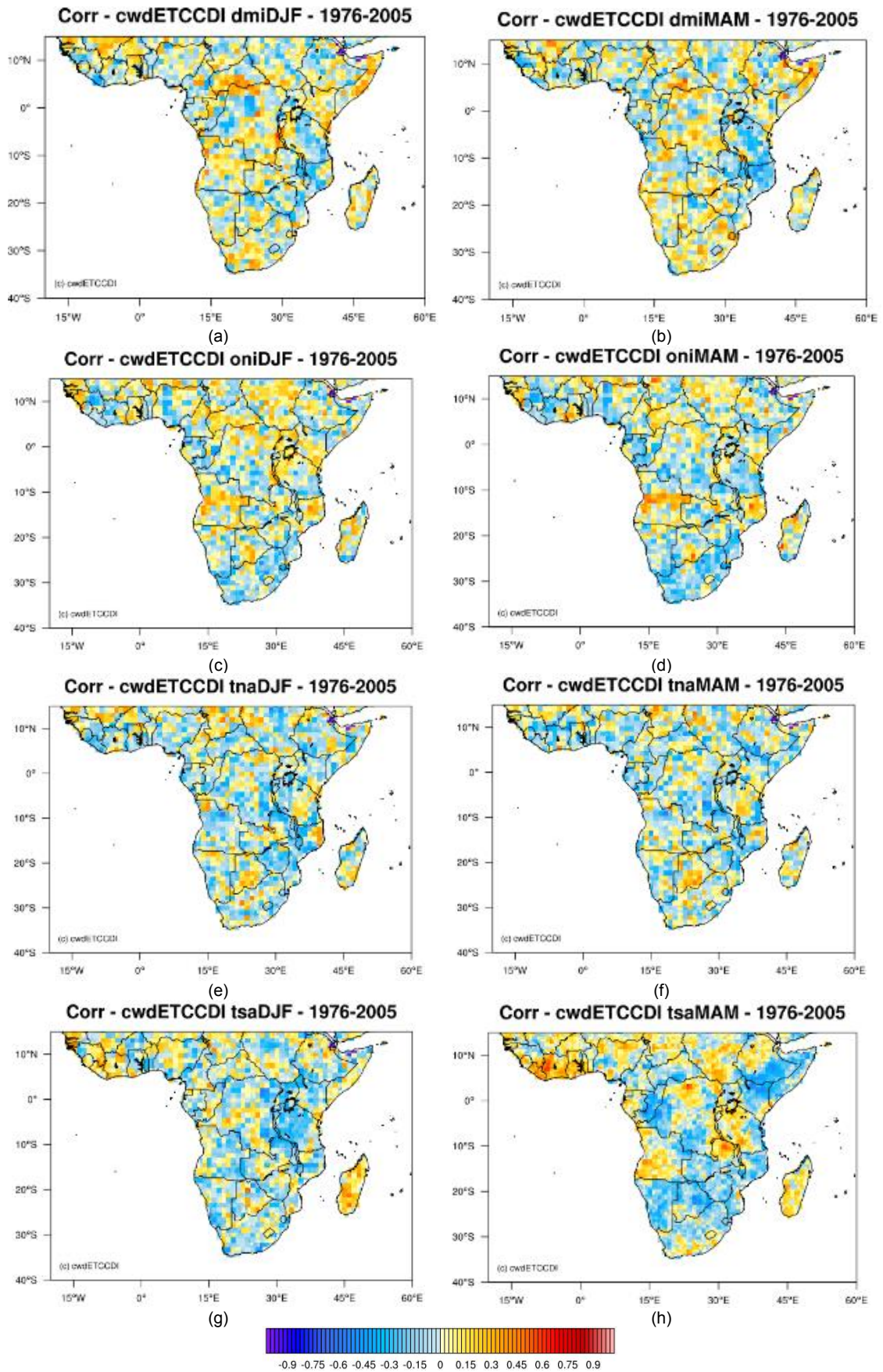
No geral, o CCD na maior parte da região da SSA recebe uma grande proporção de seca mediante a correlação significativa com os índices ONI e TSA (Figura 14) e menos proporção com os índices DMI e TNA. Em geral, o índice TSA tem maior influência sobre a seca em todas escalas.

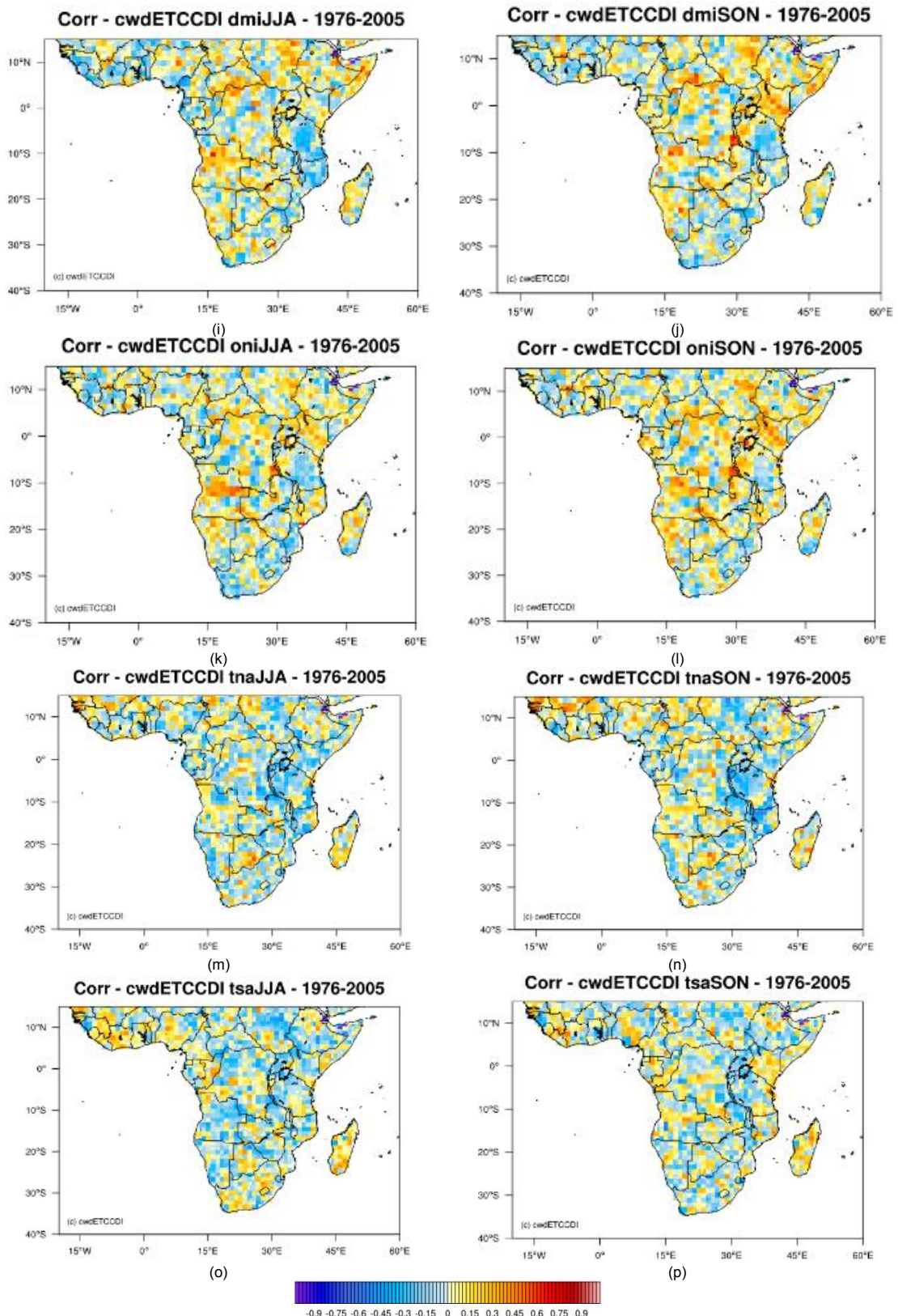
### **3.3.5. Temporada DJF do CWD**

A Figura 15a apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Zimbábue, Moçambique, Lesoto, Costa de Marfim, Zimbábue, oeste de RD de Congo, Nigéria, Libéria, Guine, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura15c apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Nigéria, sul de Moçambique, centro e norte de Tanzânia, Costa de Marfim, Serra Leoa, Libéria, Gabão, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15e apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Zimbábue, Lesoto, Suazilândia, Namíbia, África do Sul, Moçambique, Nigéria, Gabão, Costa de Marfim, Serra Leoa, Libéria, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni- JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 15 – Correlações de número máximo de dias consecutivos úmidos –CWD (dias) com  $RR \geq 1\text{mm}$  (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 15g apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como Guiné, Serra Leoa, Libéria, Costa de Marfim, Botswana, Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.6. Temporada MAM do CWD**

A Figura 15b apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como norte de Angola, norte de Moçambique, Tanzânia, norte da Zâmbia, Costa de Marfim, Camarões, Centro de Sudão, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15d apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como sul de Moçambique, Tanzânia, África do Sul, Namíbia, sul de RD de Congo, Costa de Marfim, Libéria, Gabão, Serra Leoa, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15f apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Zimbábue, Lesoto, Suazilândia, Namíbia, África do Sul, Moçambique, Nigéria, Gabão, Costa de Marfim, Serra Leoa, Libéria, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15h apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como Angola, Serra Leoa, Libéria, Costa de Marfim, Ilha de Madagascar, Gana, Burquina Faso, oeste da Tanzânia, norte da Zâmbia, norte de RD de Congo, Sudão do Sul, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.7. Temporada JJA do CWD**

A Figura 15i apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Moçambique, Gabão, Costa de Marfim, Serra Leoa, Libéria, centro de RD de Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15k apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Lesoto, Suazilândia, África do Sul, Tanzânia, Guine, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15m apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como Angola, Ilha de Madagascar, Burquina Faso, Botswana, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15o apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Costa de Marfim, Nigéria, Botswana, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.7. Temporada SON do CWD**

A Figura 15j apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Costa de Marfim, Serra Leoa, Libéria, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Guine, Botswana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15l apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, África do Sul, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15n apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Angola, Botswana, Burquina Faso, Chade, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 15p apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Quênia, Camarões, Serra Leoa, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

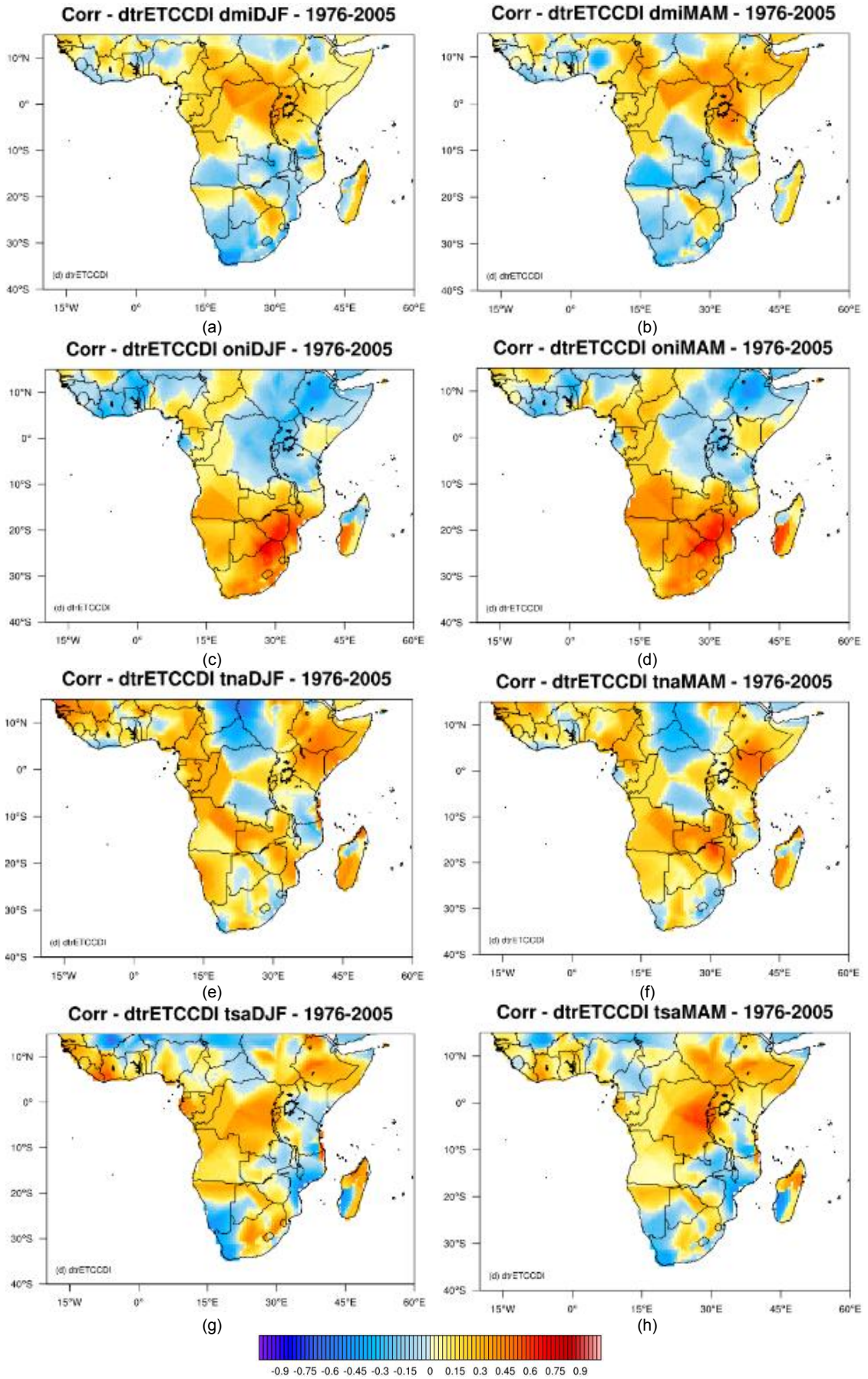
No geral, o CWD é influenciado pelos índices oceânicos DMI, ONI e TSA pela retenção da umidade sobre a maior parte da SSA (Figura 15). Essa influência de retenção da umidade de ONI e TSA é menos significativo em relação a da seca.

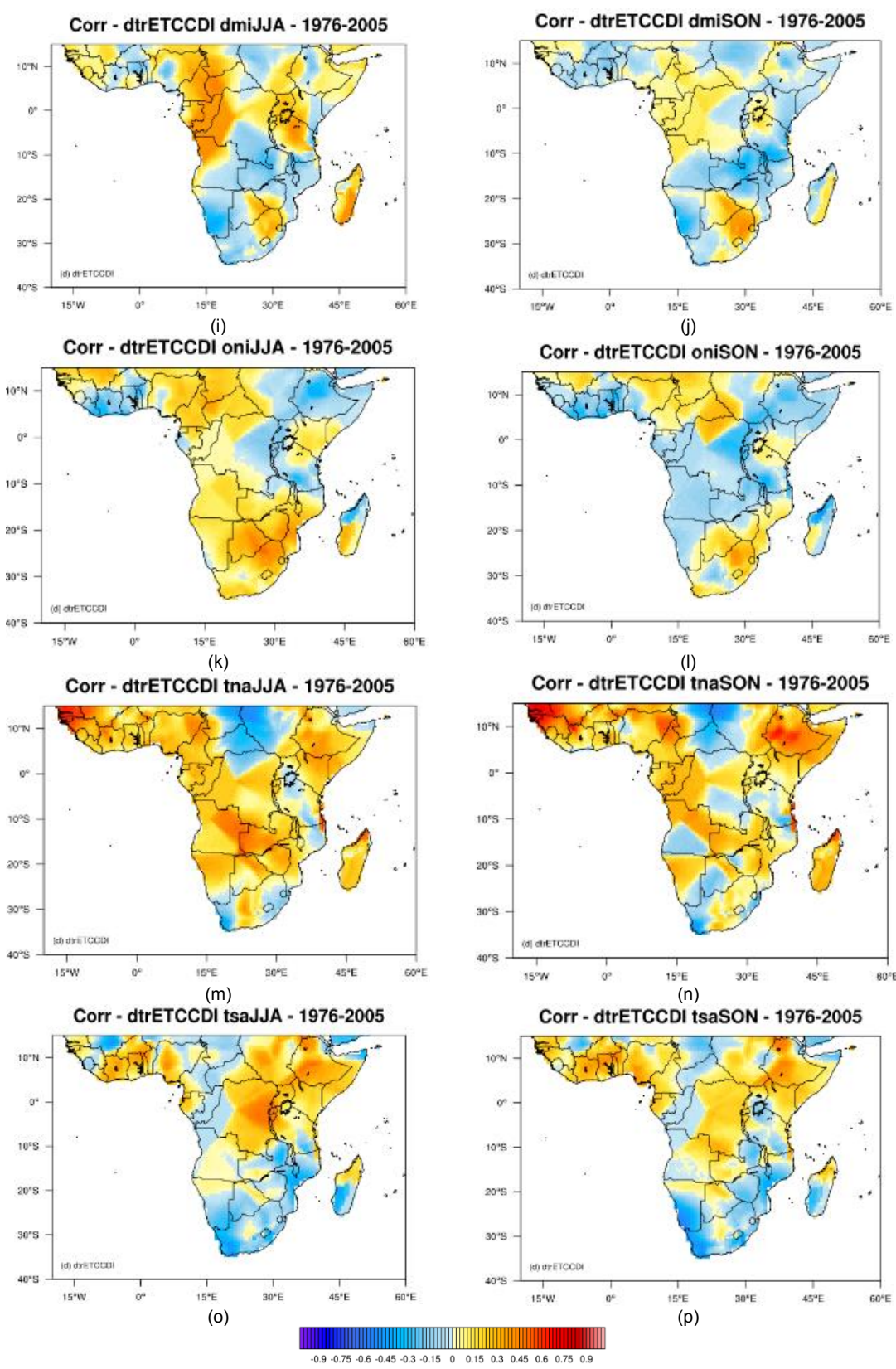
### **3.3.8. Temporada DJF do DTR**

A Figura 16a apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a África do Sul, Serra Leoa, Libéria, Nigéria, Zâmbia, Moçambique, Namíbia, Lesoto, Suazilândia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16c apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Serra Leoa, Libéria, Nigéria, Guine, Gana, Burquina Faso, RD do Congo, Tanzânia, Sudão, Sudão do Sul, Etiópia, Somália, Níger, Uganda, Ruanda, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16e apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Lesoto, Suazilândia, Tanzânia, Republica Centro Africana, oeste do Sudão, Chade, Libéria, norte e sul de RD do Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni- JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 16 – Correlações de amplitude térmica diária – DTR (°C) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 16g apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como oeste da África do Sul, Níger, Moçambique, norte da Namíbia, Mali, Chade, Burquina Faso, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.8. Temporada MAM do DTR**

A Figura 16b apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a África do Sul, Serra Leoa, Libéria, oeste da Nigéria, Zâmbia, Moçambique, Namíbia, Lesoto, Suazilândia, Gana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16d apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Libéria, Níger, Guiné, Costa de Marfim, Gana, Togo, Benin, Burquina Faso, RD do Congo, Tanzânia, Sudão, Sudão do Sul, Etiópia, Somália, Uganda, Ruanda, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16f apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o leste de África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Republica Centro Africana, oeste do Sudão, Togo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16h apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Nigéria, Zâmbia, Moçambique, norte da Namíbia, Zimbábue, leste da Tanzânia, Camarões, Chade, Níger, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.9. Temporada JJA do DTR**

A Figura 16i apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Camarões, R do Congo, Gabão, Suazilândia, Somália, oeste do DR do Congo, norte da África do Sul, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16k apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Nigéria, Botswana, Quênia, Moçambique, Namíbia, Angola, Zâmbia, Zimbábue, Camarões, Republica Centro Africana, Chade, Níger, África do Sul, R do Congo, Lesoto, Suazilândia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16m apresenta a correlação do índice climático extremo CDTR e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Lesoto, Suazilândia, Republica Centro Africana, Sudão, leste e oeste da África do Sul, norte de RD do Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16o apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Costa de Marfim, Gana, Burquina Faso, Togo, Benin, leste do RD do Congo, Sudão, Etiópia, Somália, oeste da Nigéria, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.10. Temporada SON do DTR**

A Figura 16j apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Botswana, norte da África do Sul, R do Congo,

Gabão, Camarões, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16l apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Botswana, Moçambique, Camarões, República Centro Africana, norte da África do Sul, Lesoto, Suazilândia, leste da Nigéria, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

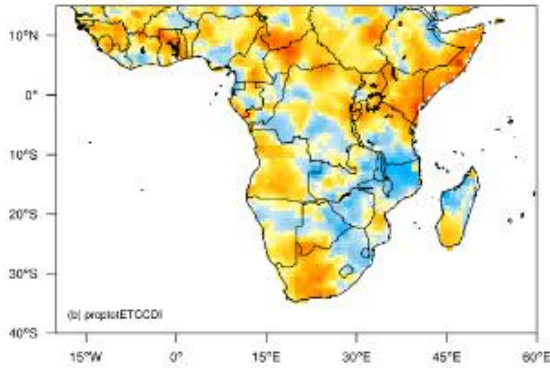
A Figura 16n apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, República Centro Africana, Botswana, sul de Angola, norte e sul da RD do Congo, oeste do Sudão, oeste da África do Sul, norte de RD do Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 16p apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Nigéria, Camarões, leste RD do Congo, Somália, Etiópia, Costa de Marfim, Togo, Benin, Burquina Faso, Libéria, Guine, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.11. Temporada DJF do PRCPTOT**

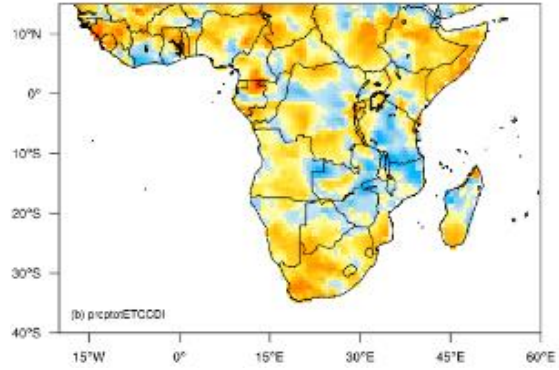
A Figura 17a apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a sul da Tanzânia, Botswana, sul da RD do Congo, oeste da África do Sul, sul de RD do Congo, Zimbábue, norte de Moçambique, norte da Namíbia, Lesoto, Suazilândia, norte da Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

**Corr - prcptotETCCDI dmiDJF - 1976-2005**



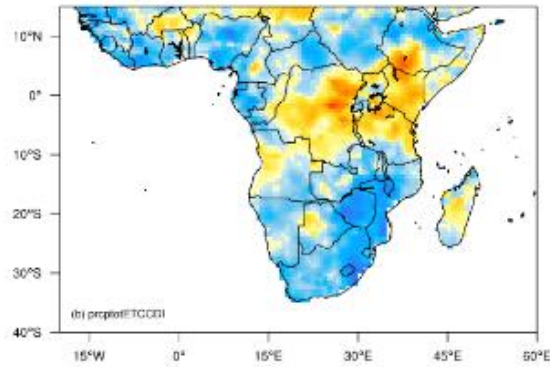
(a)

**Corr - prcptotETCCDI dmiMAM - 1976-2005**



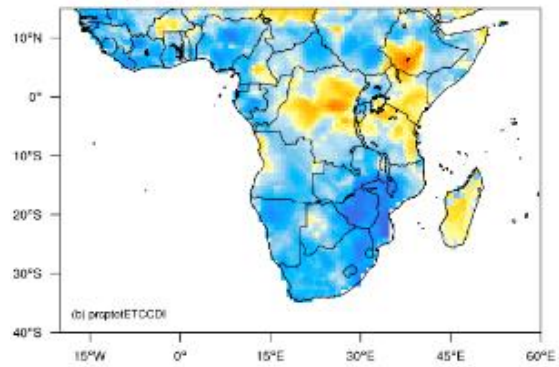
(b)

**Corr - prcptotETCCDI oniDJF - 1976-2005**



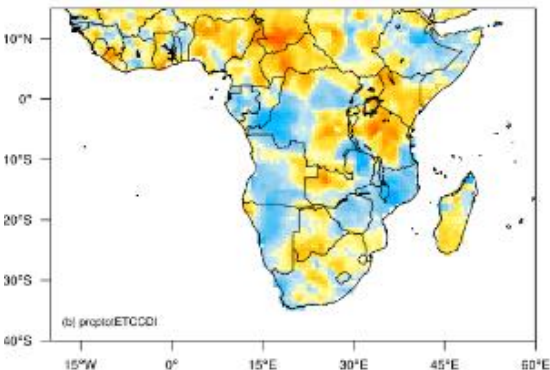
(c)

**Corr - prcptotETCCDI oniMAM - 1976-2005**



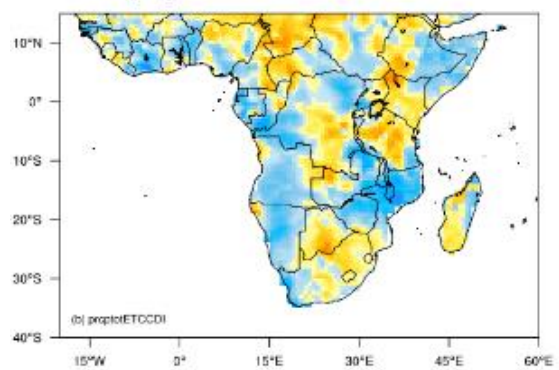
(d)

**Corr - prcptotETCCDI tnaDJF - 1976-2005**



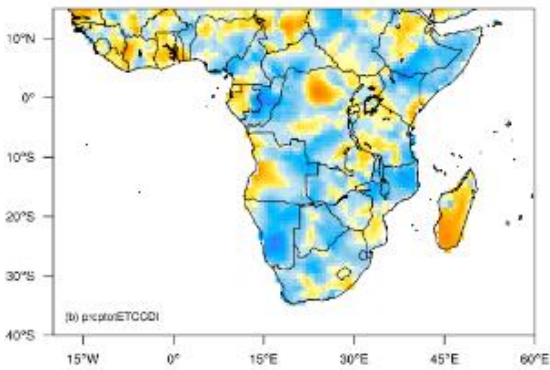
(e)

**Corr - prcptotETCCDI tnaMAM - 1976-2005**



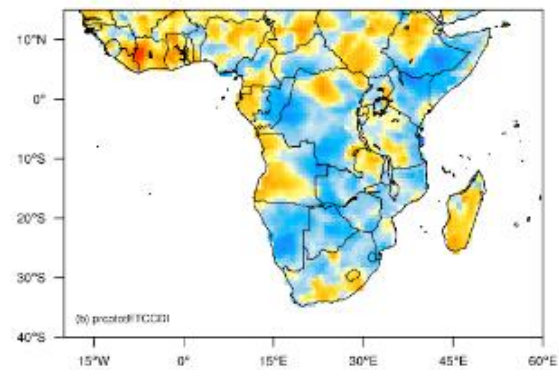
(f)

**Corr - prcptotETCCDI tsaDJF - 1976-2005**

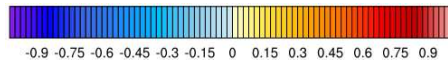


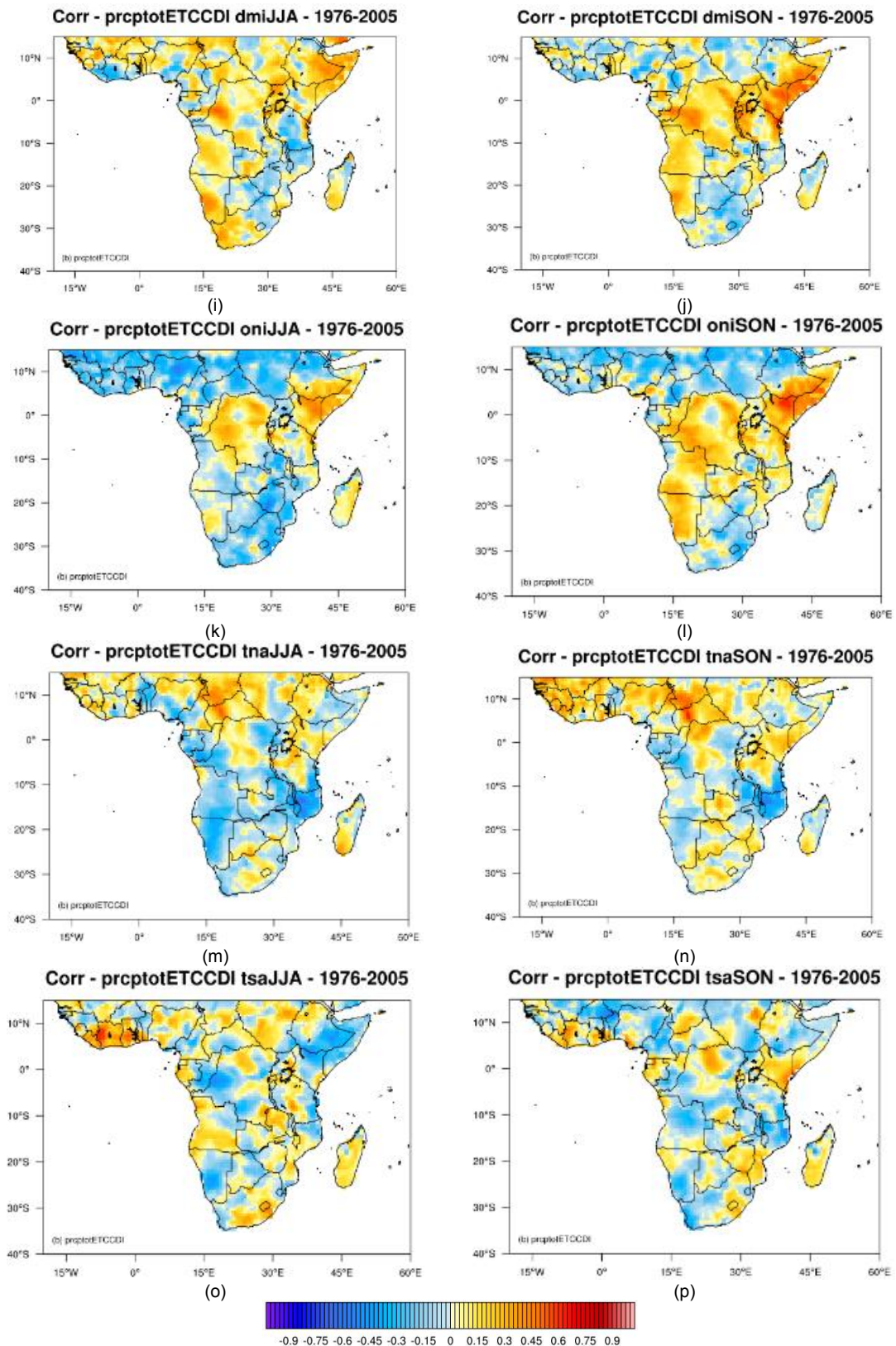
(g)

**Corr - prcptotETCCDI tsaMAM - 1976-2005**



(h)





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni- JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 17 – Correlações da precipitação total anual nos dias úmidos ( $\geq 1\text{mm}$ ) – prcptot (mm/ano) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 17c apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a RD do Congo, sul da Etiópia, Tanzânia, Quênia, Uganda, Ilha de Madagascar, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17e apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, centro e oeste da RD do Congo, R do Congo, Zimbábue, Moçambique, Namíbia, Somália, Gabão, leste da Zâmbia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17g apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Costa de Marfim, Gana, Togo, Libéria, Gabão, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.12. Temporada MAM do PRCPTOT**

A Figura 17b apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o centro da RD do Congo, Zimbábue, norte de Moçambique, Costa de Marfim, Tanzânia, leste da Zâmbia, Norte da Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17d apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Tanzânia, Quênia, sul da Etiópia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17f apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Costa de Marfim, Benin, Togo, Angola, centro e oeste da RD do Congo, R do

Congo, Zimbábue, Moçambique, Namíbia, Somália, Gabão, leste da Zâmbia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17h apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Costa de Marfim, Gana, Togo, Libéria, oeste da Angola, Gabão, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.13. Temporada JJA do PRCPTOT**

A Figura 17i apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Zimbábue, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Costa de Marfim, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17k apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Ilha de Madagascar, Costa de Marfim, RD do Congo, Quênia, Somália, Tanzânia, sul da Etiópia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17m apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Zimbábue, Angola, Namíbia, Moçambique, Zimbábue, Zâmbia, Somália, Gabão, R do Congo, Benin, Togo, norte da Nigéria, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17o apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a R Congo, Quênia, RD do Congo, Namíbia, Burquina Faso, Somália, sul da Etiópia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### 3.3.14. Temporada SON do PRCPTOT

A Figura 17j apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Zimbábue, Botswana, Lesoto, Suazilândia, Costa de Marfim, Nigéria, Sudão, África do Sul, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17l apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Quênia, Somália, Tanzânia, sul da Etiópia, Namíbia, Angola, norte e centro de Moçambique, RD do Congo, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17n apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Namíbia, Gabão, centro e norte de Moçambique, oeste da Zâmbia, R do Congo, leste da RD do Congo, sul da Tanzânia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 17p apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o Angola, Tanzânia, norte de Moçambique, sul da Etiópia, Camarões, Burquina Faso, Namíbia, Sudão, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

No geral, o PRCPTOT é influenciado pelos índices ONI e TSA pela diminuição da precipitação total em todas escalas sazonais sobre a maior parte das regiões do norte e sul da SSA (COOK; VIZY, 2013; SHIFERAW et al., 2018). Por outro lado, o índice DMI contribui bastante para a precipitação total anual na maior parte da SSA. Assim como, o índice TNA tem uma influência significativa sobre uma parte da SSA para a precipitação total anual (OTIENO; ANYAH, 2013). As escalas de tempo sazonais do ONI foram bem apresentadas conforme a sua característica de ação sobre a região da SSA.

Estudos recentes sugeriram que aumento da frequência de episódios de El Niño é mais provável devido a um clima mais quente (CAI et al., 2014; GIZAW

et al., 2017) e indicam que o recente aquecimento observado pode ter contribuído para o aumento das atividades da fase quente do ENSO (El Niño), que está principalmente associada à precipitação abaixo do normal para diferentes partes da África (MASO; GODDARD, 2001).

### **3.3.15. Temporada DJF do RX5DAY**

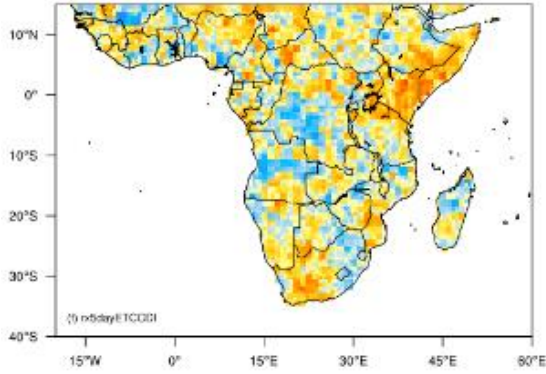
A Figura 18a apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como o centro da Angola, centro da RD do Congo, leste da África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Costa de Marfim, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18c apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Quênia, Tanzânia, Angola, norte de Moçambique, RD do Congo, Ilha de Madagascar, Chade, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18e apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, RD do Congo, Namíbia, norte de Moçambique, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

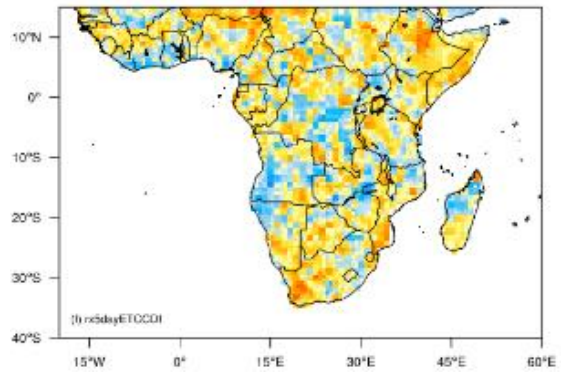
A Figura 18g apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Namíbia, Somália, R Congo, África do Sul, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

**Corr - rx5dayETCCDI dmiDJF - 1976-2005**



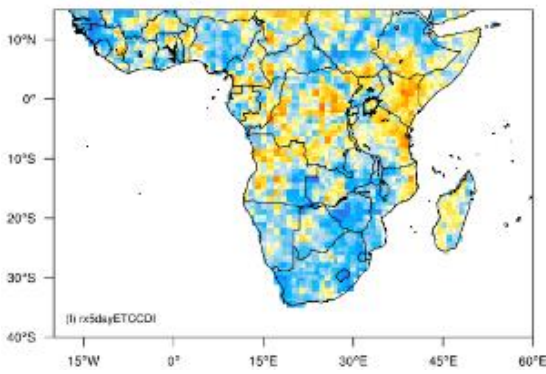
(a)

**Corr - rx5dayETCCDI dmiMAM - 1976-2005**



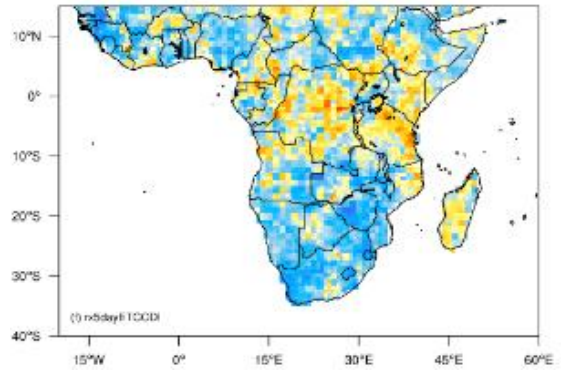
(b)

**Corr - rx5dayETCCDI oniDJF - 1976-2005**



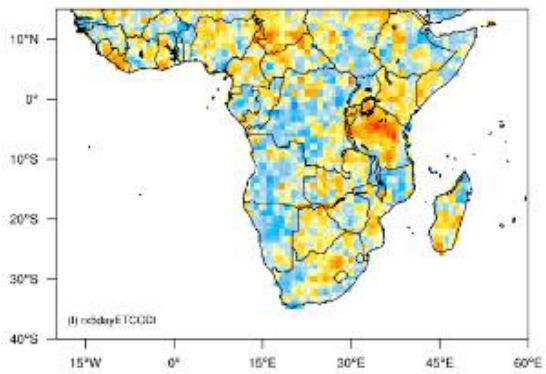
(c)

**Corr - rx5dayETCCDI oniMAM - 1976-2005**



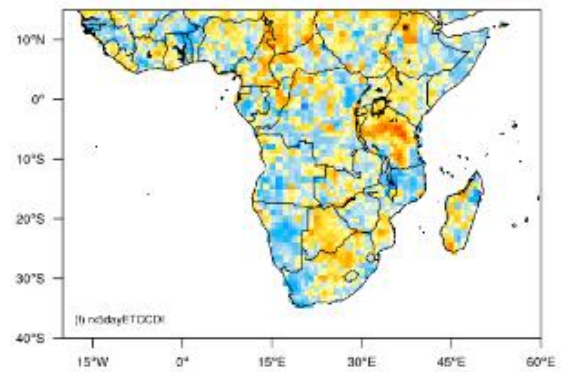
(d)

**Corr - rx5dayETCCDI tnaDJF - 1976-2005**



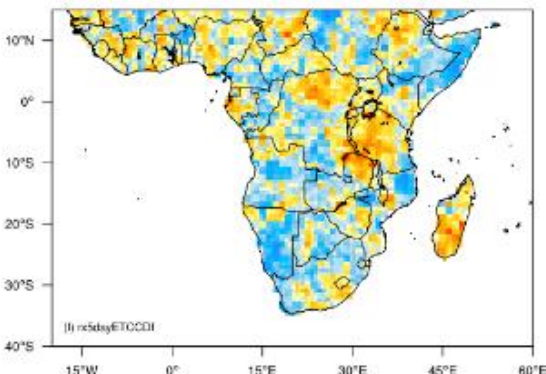
(e)

**Corr - rx5dayETCCDI tnaMAM - 1976-2005**



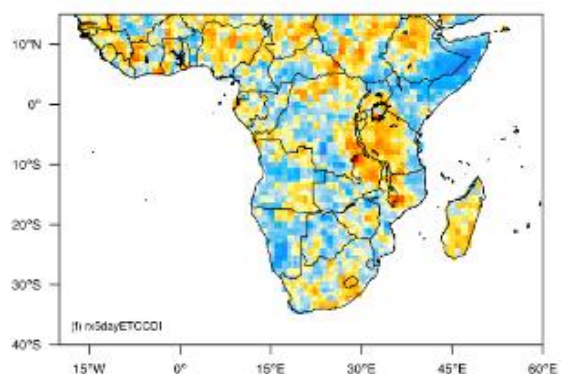
(f)

**Corr - rx5dayETCCDI tsaDJF - 1976-2005**

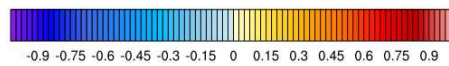


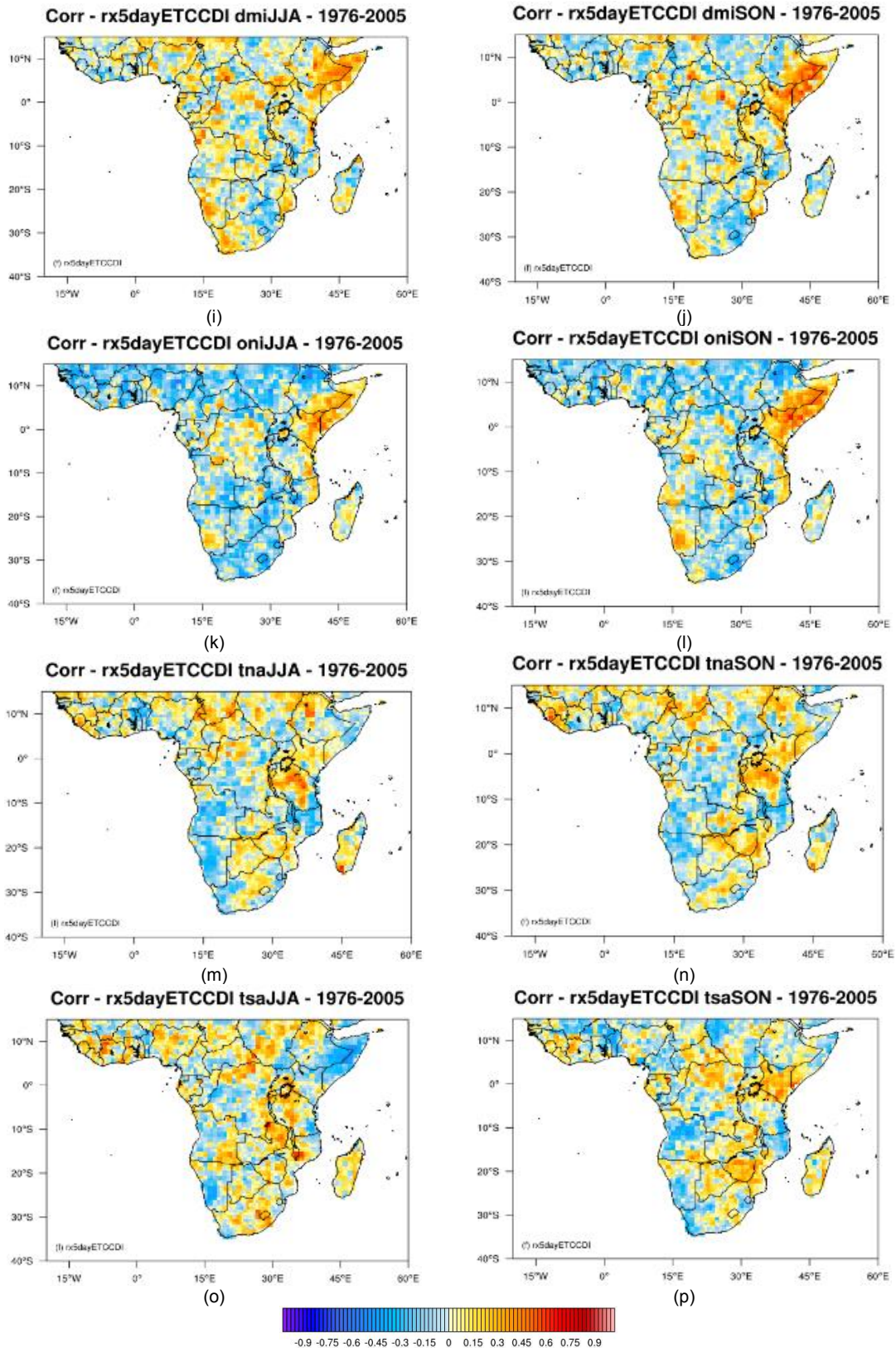
(g)

**Corr - rx5dayETCCDI tsaMAM - 1976-2005**



(h)





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni- JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 18 – Correlações da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day) no ano (mm/ano) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

### **3.3.16. Temporada MAM do RX5DAY**

A Figura 18b apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Costa de Marfim, Angola, centro da RD do Congo, norte da Namíbia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18d apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Tanzânia, Quênia, norte de Moçambique, RD do Congo, Burundi, Ilha de Madagascar, Chade, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18f apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, Angola, norte de Moçambique, Somália, Togo, Benin, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18h apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, Angola, Somália, Quênia, Botswana, sul da Etiópia, R do Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.17. Temporada JJA do RX5DAY**

A Figura 18i apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Somália, Namíbia, Camarões, Angola, leste da Etiópia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18k apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a leste e oeste da Tanzânia, norte de Moçambique, RD

do Congo, Quênia, Somália, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18m apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, Angola, Somália, leste e oeste da África do Sul, RD do Congo, Malawi, Togo, Benin, Gabão, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura18o apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, oeste da Angola, Somália, Quênia, Camarões, Benin, RD do Congo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.18. Temporada SON do RX5DAY**

A Figura 18j apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Quênia, Somália, leste da Etiópia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura18l apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a norte de Moçambique, centro e sul da Namíbia, Quênia, Somália, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18n apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a norte de Moçambique, Malawi, Camarões, RD do Congo, Gabão, Benin, Togo, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 18p apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, norte de

Moçambique, Angola, Camarões, Benin, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

No geral, o RX5DAY é influenciado com o DMI pela forte correlação positiva na maior parte da SSA, sendo para o ONI uma correlação negativa, atuando de forma isolada para a região centro da SSA, deixando de lado a parte norte e sul. Também os índices TNA e TSA contribuíram para o acúmulo crescente nos países do centro, norte e sul.

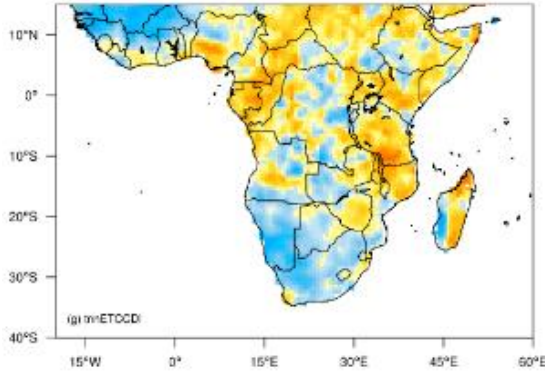
### **3.3.19. Temporada DJF do TNN**

A Figura 19a apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, Botswana, Mali, Burquina Faso, sul de Moçambique, oeste da Zâmbia, Gana, Guine, Libéria, Lesoto, Suazilândia, Senegal, Gambia, Guiné-Bissau, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19c apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a sul da Namíbia, África do Sul, Botswana, Zimbábue, centro e sul de Moçambique, Zâmbia, Gana, Togo, Benin, Guine, Serra Leoa, Libéria, Mali, Burquina Faso, sul da Nigéria, Sudão, republica Centro africana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

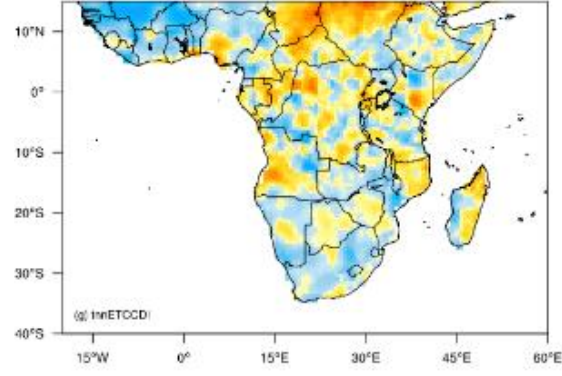
A Figura 19e apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, sul de Moçambique, sul da Ilha de Madagascar, Etiópia, leste da Quênia, leste da Nigéria, Costa de Marfim, Lesoto, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

**Corr - tnnETCCDI dmiDJF - 1976-2005**



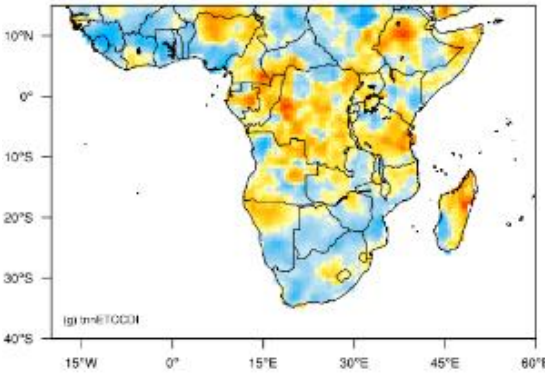
(a)

**Corr - tnnETCCDI dmiMAM - 1976-2005**



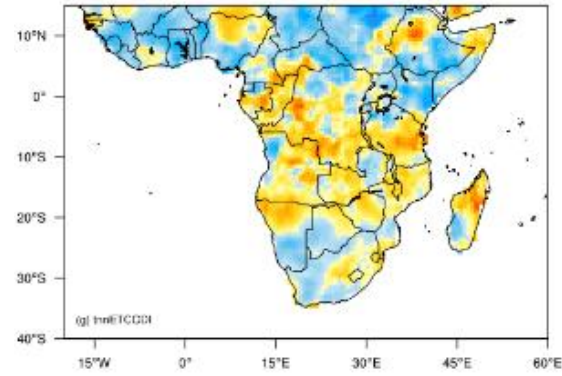
(b)

**Corr - tnnETCCDI oniDJF - 1976-2005**



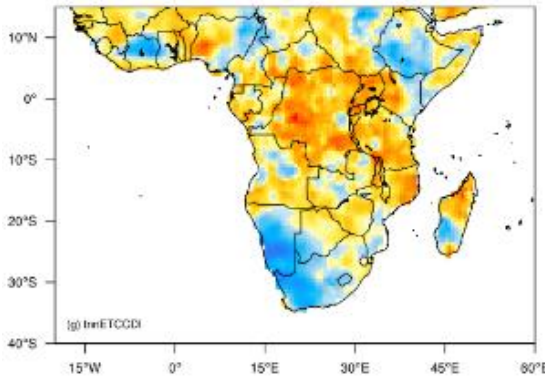
(c)

**Corr - tnnETCCDI oniMAM - 1976-2005**



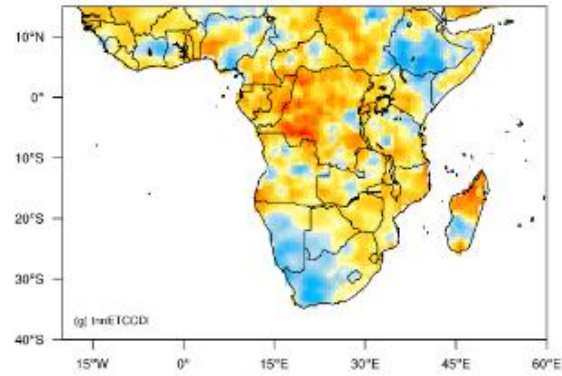
(d)

**Corr - tnnETCCDI tnaDJF - 1976-2005**



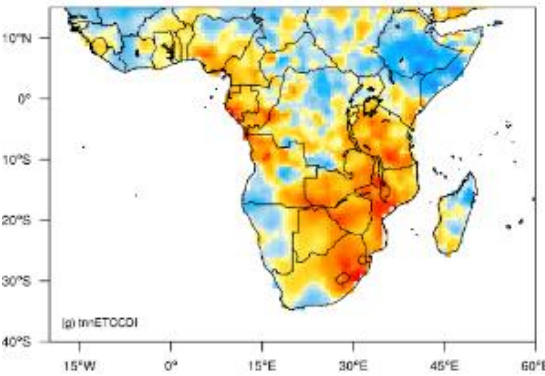
(e)

**Corr - tnnETCCDI tnaMAM - 1976-2005**



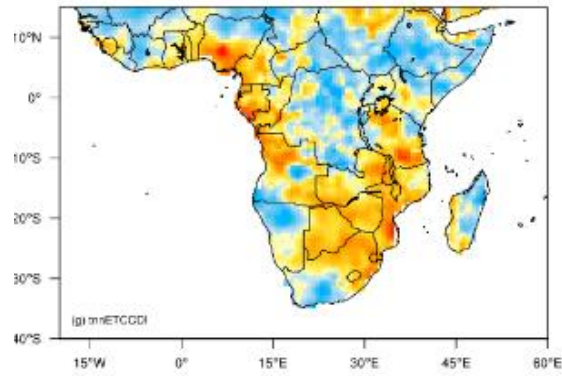
(f)

**Corr - tnnETCCDI tsaDJF - 1976-2005**

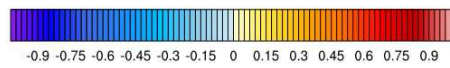


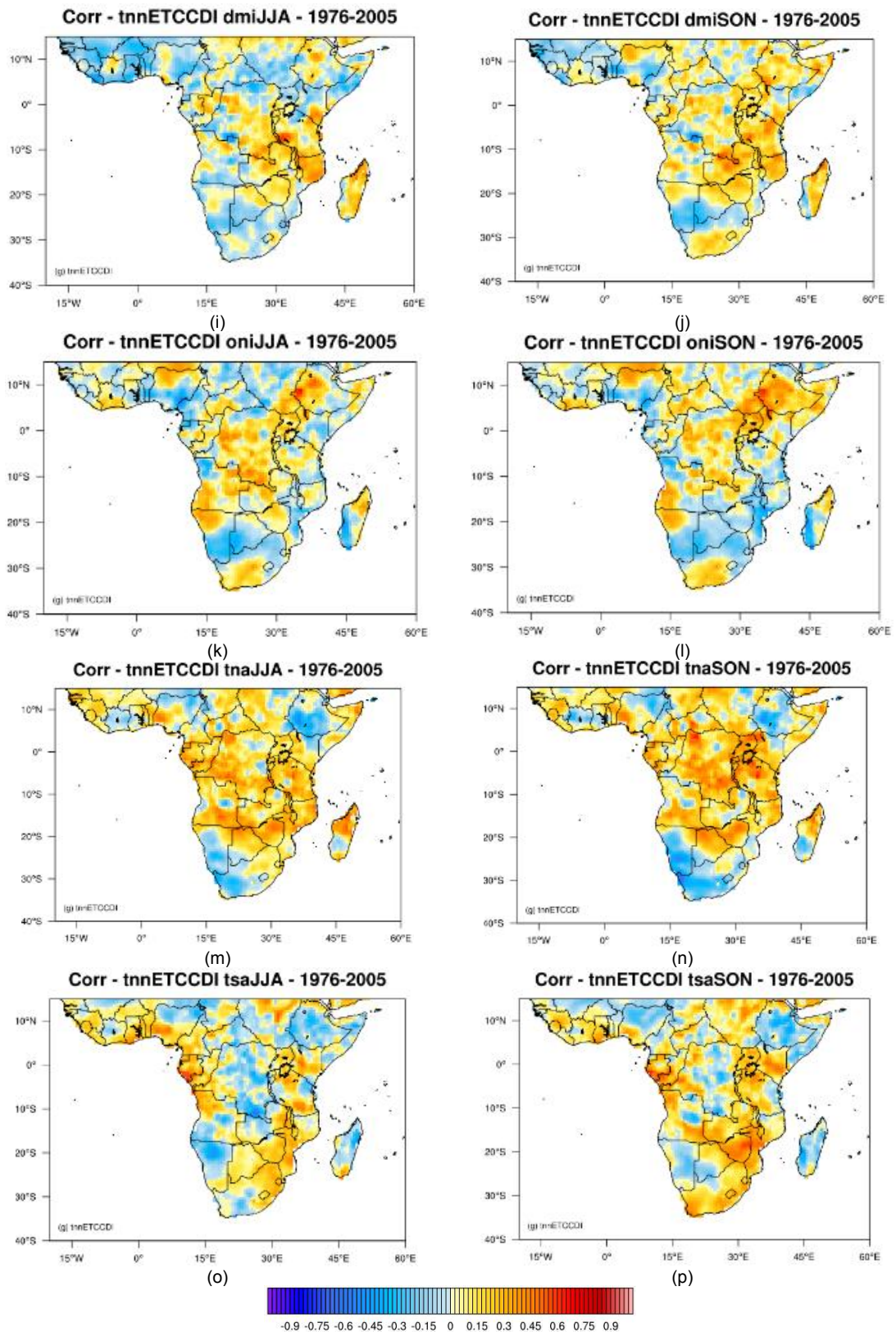
(g)

**Corr - tnnETCCDI tsaMAM - 1976-2005**



(h)





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni-JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 19 – Correlações do valor mínimo da temperatura mínima diária – tnn (°C) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 19g apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como o Moçambique, Botswana, Zimbábue, Tanzânia, Zâmbia, Angola, Gabão, R do Congo, Camarões, sul da Nigéria, Togo, Benin, Serra Leoa, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.20. Temporada MAM do TNN**

A Figura 19b apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, centro de Moçambique, Suazilândia, Zâmbia, Etiópia, Nigéria, Costa de Marfim, Lesoto, Tanzânia, Somália, Etiópia, Gana, Burquina Faso, Guine, Libéria, Togo, Benin, Mali, Níger, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19d apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a sul da Namíbia, oeste e norte da África do Sul, sul de Moçambique, Quênia, sul da Nigéria, Botswana, leste da Zâmbia, Sudão, Republica Centro Africana, Gana, Togo, Benin, Guine, Libéria, Serra Leoa, Mali, Burquina Faso, Camarões, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19f apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, sul da Ilha de Madagascar, Etiópia, leste da Quênia, leste da Nigéria, Costa de Marfim, Lesoto, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19h apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como o Moçambique, Botswana, Zimbábue, Tanzânia, Zâmbia, Angola, Gabão, R do Congo, Camarões, sul da Nigéria, Togo, Benin,

Serra Leoa, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.21. Temporada JJA do TNN**

A Figura 19i apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, Quênia, Nigéria, Costa de Marfim, sul de Moçambique, Botswana, Angola, Somália, Sudão, Togo, Benin, Burquina Faso, Mali, Guine, Senegal, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19k apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como RD do Congo, Angola, R do Congo, Uganda, Níger, Sul da Costa de Marfim, sul da África do Sul, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19m apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Etiópia, Namíbia, norte da Nigéria, Costa de Marfim, norte do Gana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19o apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Ilha de Madagascar, Namíbia, RD do Congo, Etiópia, Somália, norte da Nigéria, Mali, Costa de Marfim, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.22. Temporada SON do TNN**

A Figura 19j apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, norte da África do Sul, Nigéria, Botswana, sul da Somália, sul de Moçambique, Togo,

Benin, Burquina Faso, Mali, Guine, Senegal, norte da Etiópia, Gana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 19l apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como RD do Congo, Uganda, Níger, sul da Costa de Marfim, sul da África do Sul, Etiópia, Somália, Burundi, Republica Centro Africana, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

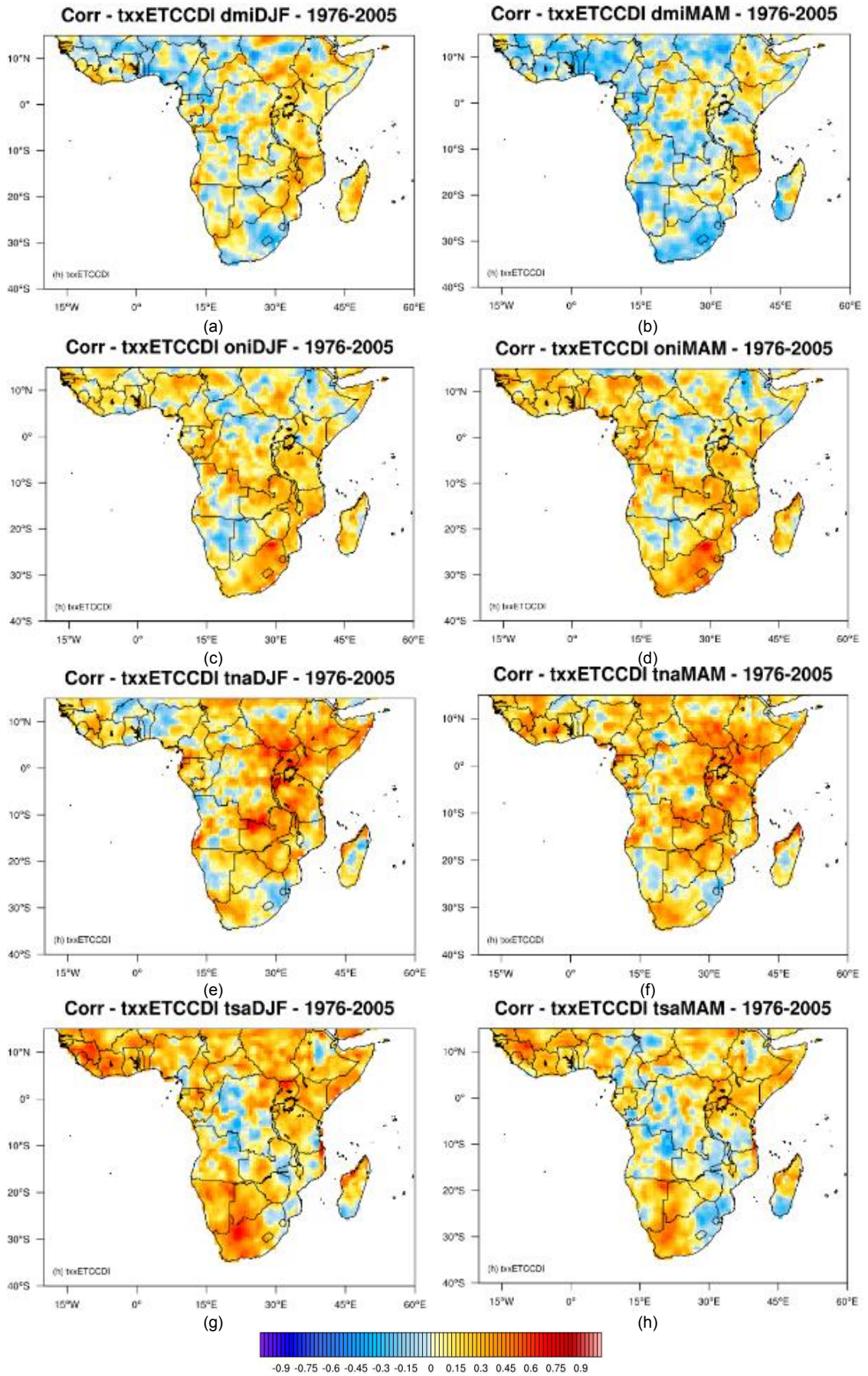
A Figura 19n apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, África do Sul, norte da Nigéria, Etiópia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

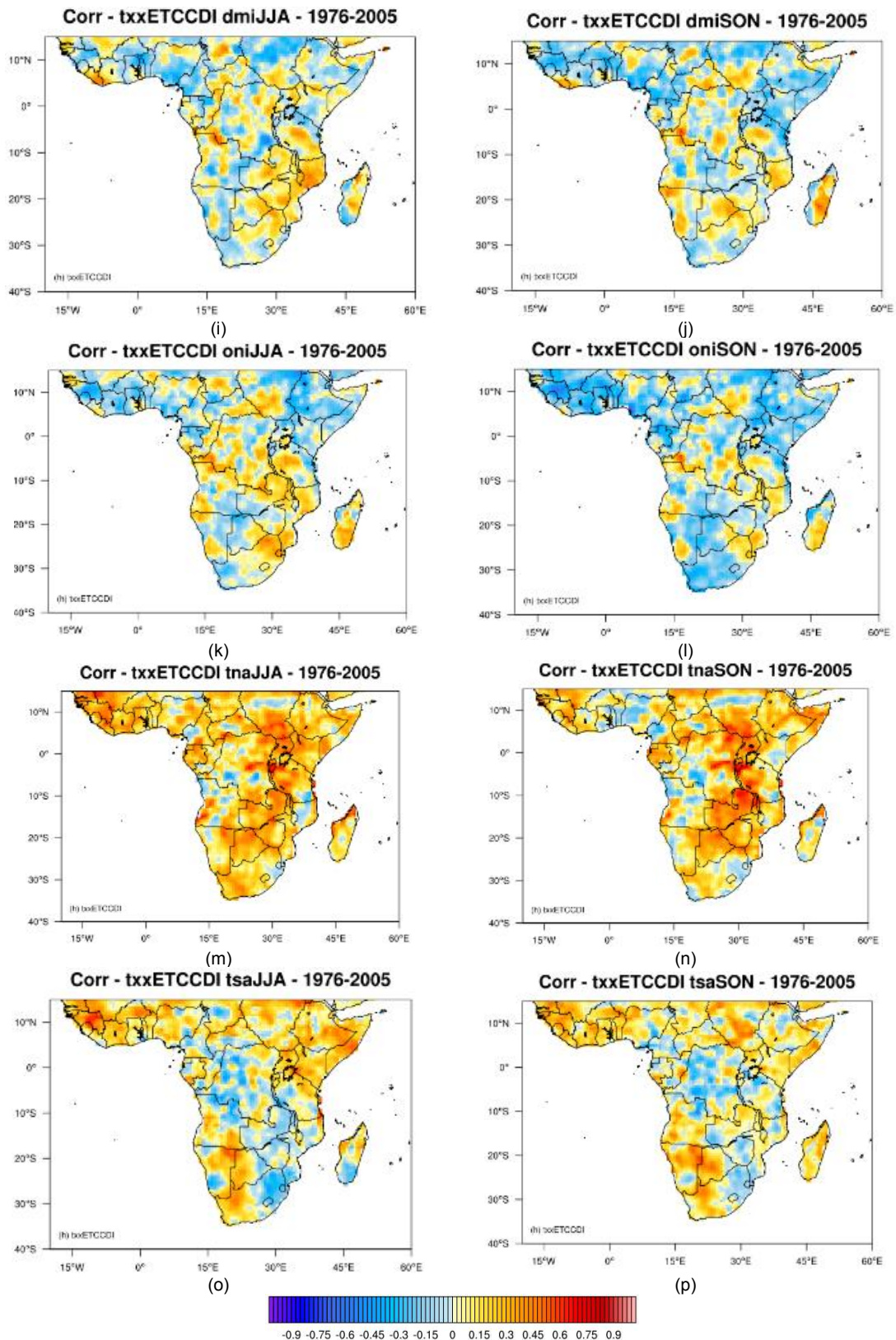
A Figura 19p apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, Somália, RD do Congo, Nigéria, Etiópia, Mali, Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.23. Temporada DJF do TXX**

A Figura 20a apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a norte da RD do Congo, Ilha da Madagascar, Moçambique, Tanzânia, Quênia, Zâmbia, Etiópia, Serra Leoa, Libéria, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20c apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, sudeste da Somália, norte da RD do Congo, Angola, Etiópia, Botswana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni-JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 20 – Correlações do valor Máximo da temperatura máxima diária - txx (°C) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 20e apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, Togo, Benin, leste da África do Sul, Lesoto, Suazilândia, oeste da Nigéria, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20g apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, norte da África do Sul, norte da Angola, norte da Etiópia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

#### **3.3.24. Temporada MAM do TXX**

A Figura 20b apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a norte da RD do Congo, Moçambique, Tanzânia, Zâmbia, Etiópia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20d apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, sudeste da Somália, Angola, Etiópia, Namíbia, Botswana, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20f apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Namíbia, leste da África do Sul, Lesoto, Suazilândia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20h apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, leste da África do Sul, norte da Angola, norte da Etiópia, sul da Tanzânia, centro de Moçambique, sul da Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.25. Temporada JJA do TXX**

A Figura 20i apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como o Moçambique, Zâmbia, Zimbábue, Malavi, Libéria, Mali, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20k apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como o Moçambique, norte da Zâmbia, Ilha da Madagascar, sul da Namíbia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20m apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a leste da África do Sul, centro e norte da Angola, norte de Moçambique, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20o apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, leste da África do Sul, Zimbábue, Tanzânia, Zâmbia, Camarões, Moçambique, Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.26. Temporada SON do TXX**

A Figura 20j apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a norte de Moçambique, Ilha de Madagascar, Botswana, oeste da Tanzânia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20l apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a sul e norte de Moçambique, Ilha da Madagascar, sul

da Namíbia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20n apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como Angola, oeste de Namíbia, Nigéria, Togo, Benin, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 20p apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, leste da África do Sul, Zimbábue, Tanzânia, Zâmbia, Camarões, Moçambique, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

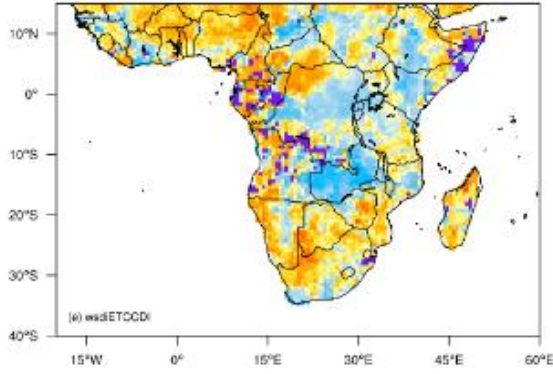
### **3.3.27. Temporada DJF do WSDI**

A Figura 21a apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, África do Sul, Tanzânia, Zâmbia, Sudão, Costa de Marfim, Angola, Quênia, Etiópia, Somália, Chade, Uganda, Malawi, Burundi, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21c apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Quênia, Etiópia, Sudão, Somália, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

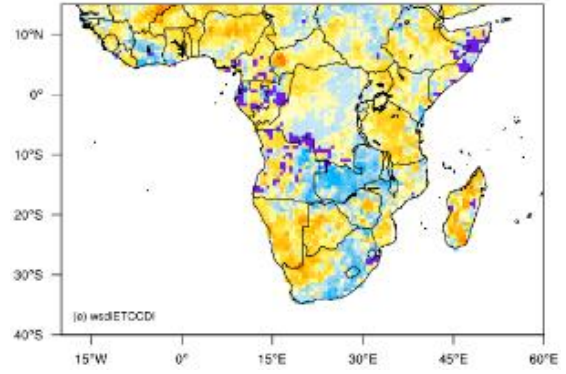
A Figura 21e apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Costa de Marfim, Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

**Corr - wsdietccdi dmiDJF - 1976-2005**



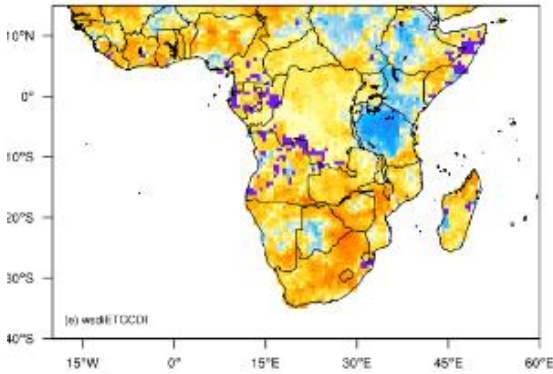
(a)

**Corr - wsdietccdi dmiMAM - 1976-2005**



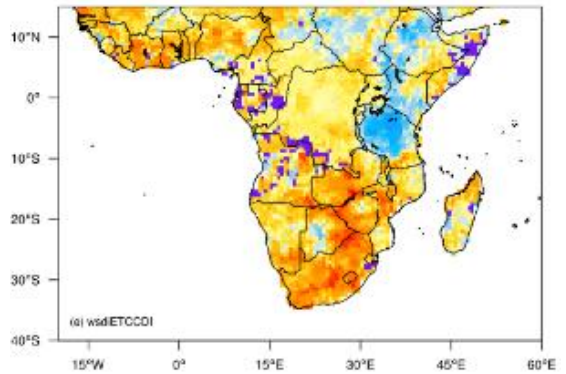
(b)

**Corr - wsdietccdi oniDJF - 1976-2005**



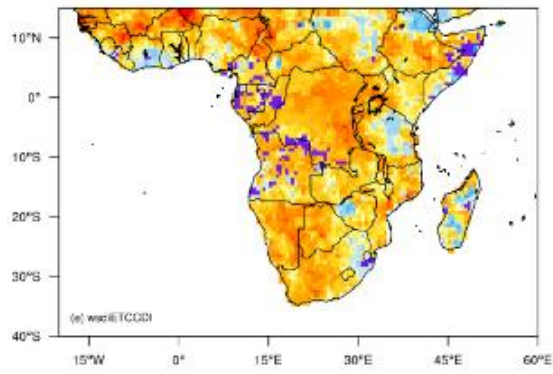
(c)

**Corr - wsdietccdi oniMAM - 1976-2005**



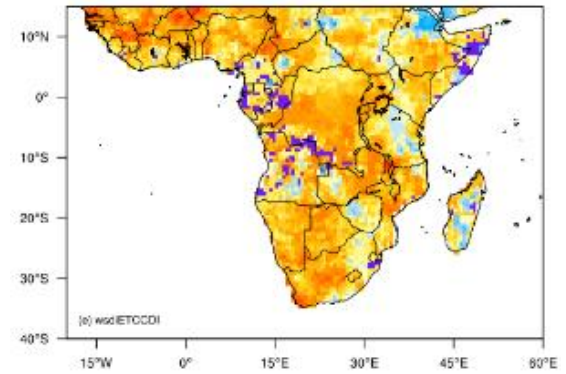
(d)

**Corr - wsdietccdi tnaDJF - 1976-2005**



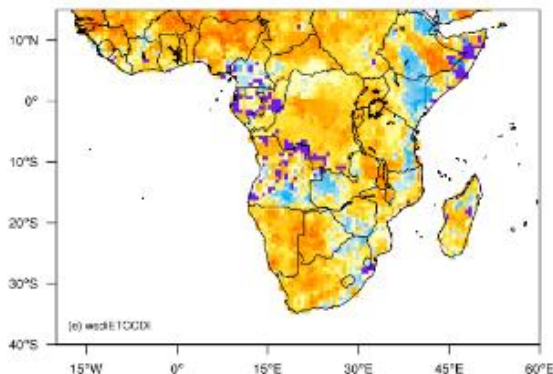
(e)

**Corr - wsdietccdi tnaMAM - 1976-2005**



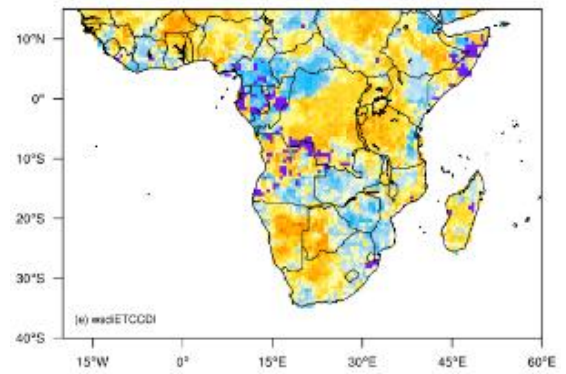
(f)

**Corr - wsdietccdi tsaDJF - 1976-2005**

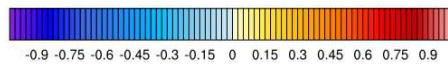


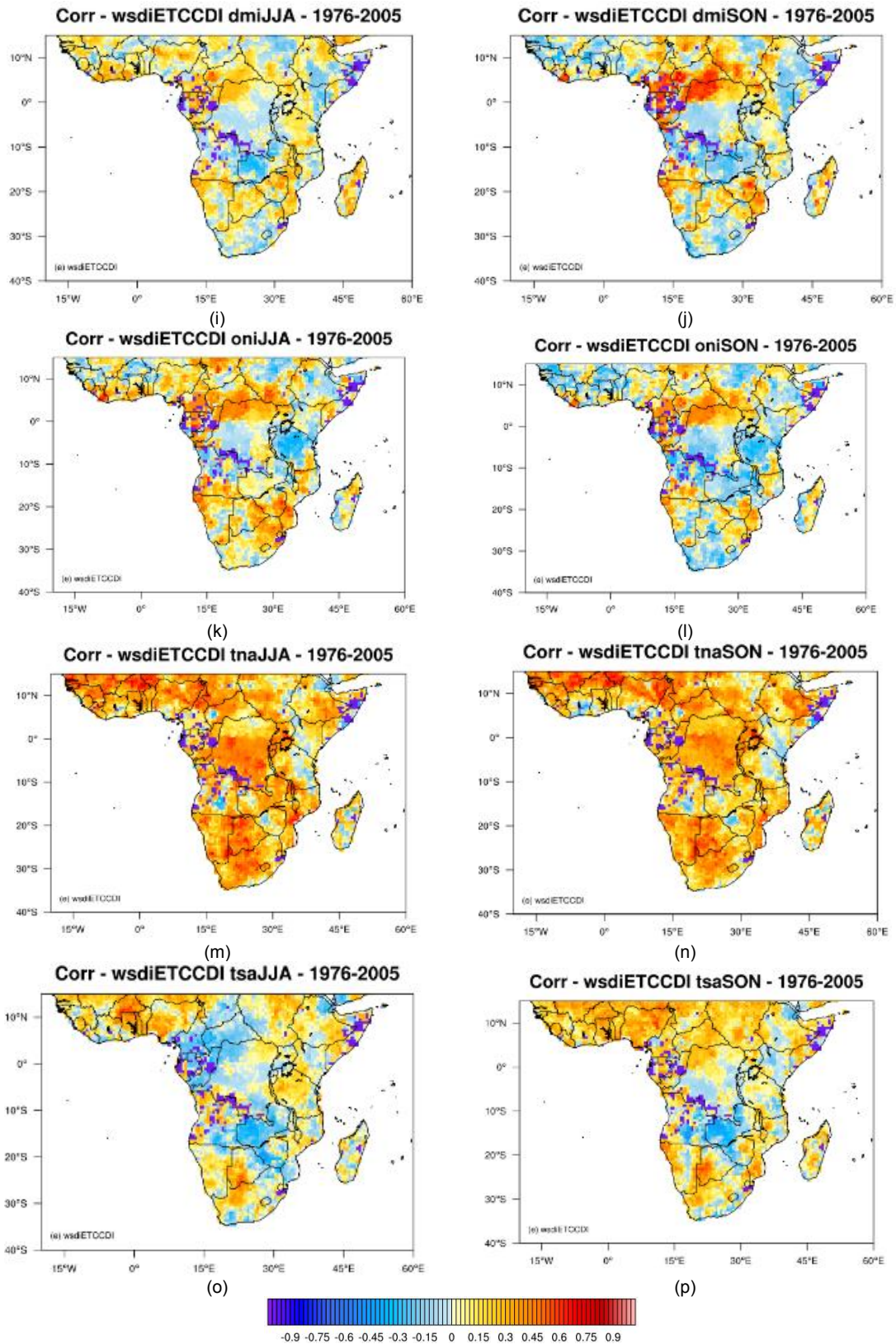
(g)

**Corr - wsdietccdi tsaMAM - 1976-2005**



(h)





LEGENDA: (a) dmi-DJF, (b) dmi-MAM, (c) oni-DJF, (d) oni-MAM, (e) tna-DJF, (f) tna-MAM, (g) tsa-DJF, (h) tsa-MAM, (i) dmi-JJA, (j) dmi-SON, (k) oni-JJA, (l) oni-SON, (m) tna-JJA, (n) tna-SON, (o) tsa-JJA e (p) tsa-SON.

Figura 21 – Correlações da duração do período quente – wsdI (dias) (1976-2005) de dados observados com os índices oceanos sazonais.

A Figura 21g apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Zimbábue, oeste da Zâmbia, Camarões, Quênia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.28. Temporada MAM do WSDI**

A Figura 21b apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a RD do Congo, África do Sul, Zâmbia, Sudão, Costa de Marfim, Angola, Somália, centro e norte de Chade, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21d apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Quênia, Etiópia, Somália, Sudão, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21f apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Ilha de Madagascar, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21h apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a R do Congo, Zimbábue, Zâmbia, Camarões, Moçambique, Angola, Republica Centro Africana, Gabão, Costa de Marfim, Chade, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.29. Temporada JJA do WSDI**

A Figura 21i apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a sul e centro de Moçambique, Ilha da Madagascar,

Namíbia, Botswana, Costa de Marfim, Zimbábue, Uganda, Malawi, Tanzânia, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21k apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a sul de Moçambique, Camarões, Costa de Marfim, Zimbábue, Nigéria, Libéria, Serra Leoa, Botswana, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21m apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Quênia, Tanzânia, Somália, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21o apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a R do Congo, Zimbábue, Zâmbia, Camarões, Moçambique, Angola, Republica Centro Africana, Gabão, Costa de Marfim, Chade, RD do Congo, Quênia, Ilha da Madagascar, Libéria, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.30. Temporada SON do WSDI**

A Figura 21j apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico DMI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a República Centro Africana, Camarões, Uganda, norte da RD do Congo, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21l apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico ONI, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a sul de Moçambique, Camarões, Nigéria, norte da RD do Congo, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21n apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TNA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Costa de Marfim,

Quênia, Tanzânia, Somália, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 21p apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o índice oceânico TSA, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Zâmbia, norte de Moçambique, Angola, RD do Congo, Quênia, Tanzânia, Etiópia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

No geral, as correlações entre os índices climáticos extremos e os índices oceânicos demonstraram a forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos na região da SSA.

### **3.4. Projeção futura próximo (2020-2050) das tendências dos índices extremos climáticos mediante os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5**

#### **3.4.1. Padrões de CDD para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)**

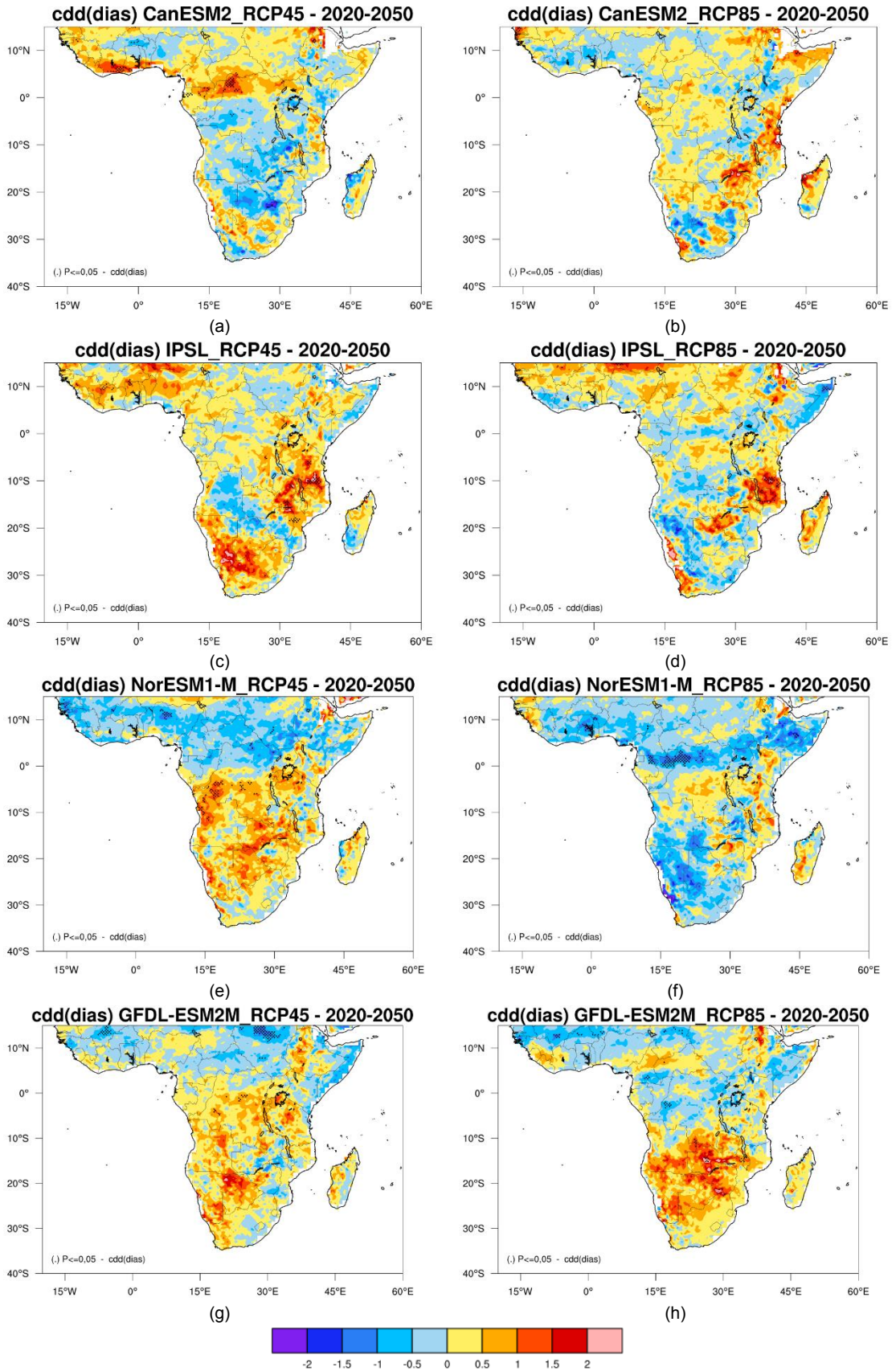
As tendências anuais e com significância ( $P \leq 0,05$ ) do indicador de número máximo de dias secos (CDD) nos cenários de alta emissão RCP8.5 e de média emissão RCP4.5 são apresentadas na Figura 22 (Tabela 12). Há um aumento projetado no CDD com o tempo sob os dois cenários. A tendência significativa é ainda maior no cenário de média emissão RCP4.5 quando comparada com o cenário de alta emissão RCP8.5. A tendência crescente de CDD em todo SSA pode ser explicada pelo aumento projetado na temperatura em comparação com a variabilidade de baixa temperatura nos trópicos.

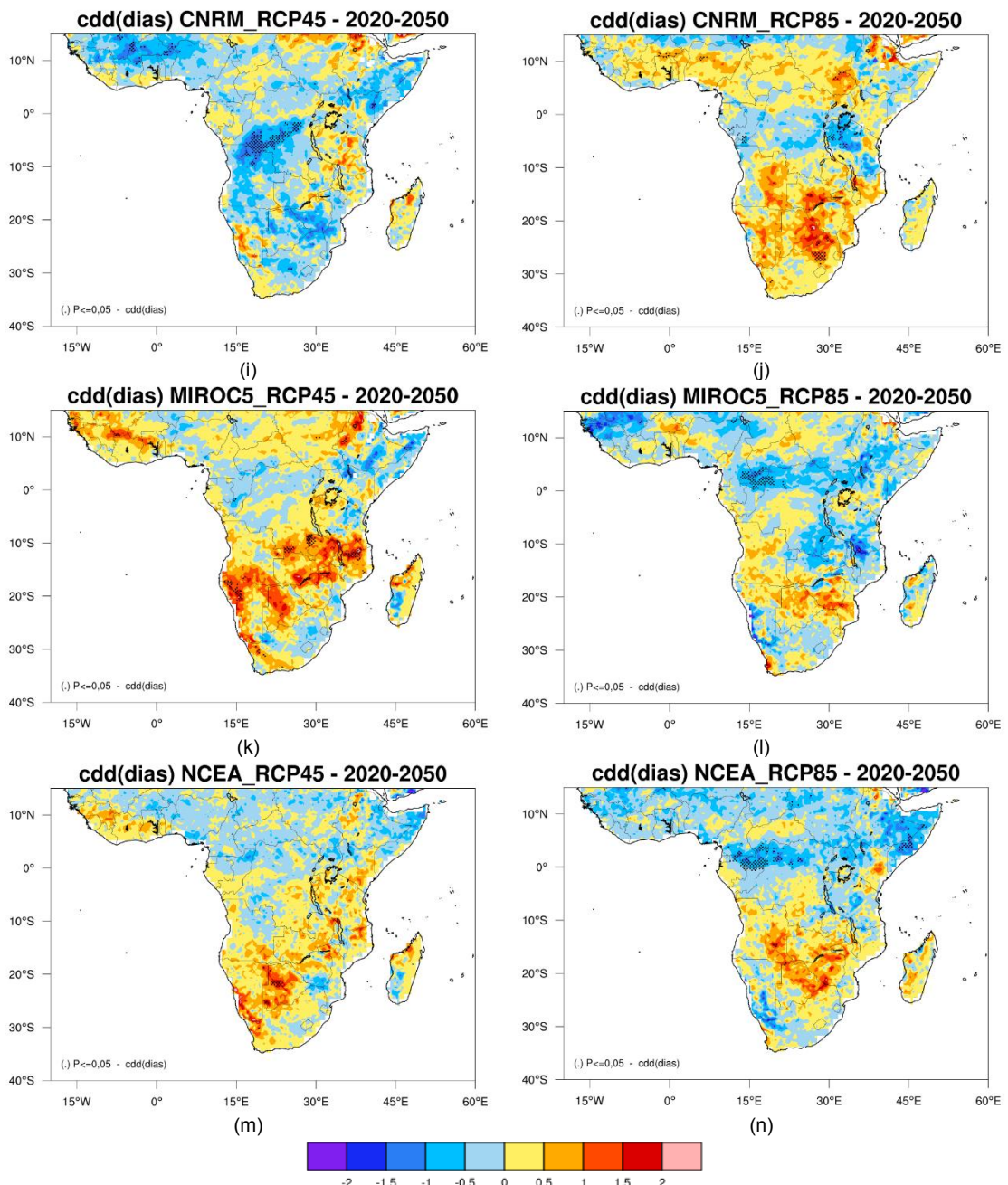
Em geral, prevê-se que o número máximo de CDD aumente em todo o subcontinente, com períodos de seca mais longos projetados para a Namíbia, o Botswana, o norte do Zimbabué, o centro e norte de Moçambique, o sul da Tanzânia e no sul da Zâmbia. Aumentos na CDD na África Austral também foram encontrados em Giorgi et al. (2014) para o período de 2071-2100 em comparação com 1976-2005.

Tabela 12 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decréscuentes) para o índice CDD no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de CDD (dias) ( $P \leq 0,05$ )			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	Oeste de R. D. do Congo, Leste de Botsuana, Burquina Faso, Zâmbia	Leste de Lesoto	Costa de Marfim, Norte de Gana, Gabão, Nigéria, Norte de R. D. do Congo, Norte do Congo	Norte de Tanzânia, Leste de Etiópia, Norte de Gabão, Senegal
CNRM-CM5	Angola, R. D. do Congo, Burkina Faso	Tanzânia, Congo, Burundi, Ruanda	-	África do Sul, Botsuana, Zâmbia, Sudão do Sul, Nigéria, Gana, Togo, Benin, Angola.
GFDL-ESM2M	Sudão, Mali	Mali, Burkina Faso, Sul de Camarões, Centro de Chade.	R. D. do Congo, Etiópia	Zâmbia, Zimbábue, Etiópia.
IPSL-CM5A-MR	-	Somália	Leste da Zâmbia, Norte de Zimbábue, Centro e Norte de Moçambique, Guine, Costa de Marfim	Norte de Moçambique, Sul da Tanzânia, Níger
MIROC5	Congo, Somália	Congo, Camarões	Namíbia, Sul de R. D. do Congo, Norte de Moçambique e Sul da Tanzânia, Norte da Etiópia,	-
NCEA	-	Congo, Somália, Norte da R. D. Congo	Botsuana	Angola
NorESM1-M	Nigéria, Sudão do Sul	Norte do Congo, R. D. do Congo e do Gabão, Sul da Etiópia, Gana	Angola, Sul da R. D. do Congo, Zâmbia.	-

Fonte: Autor (2018).





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

Figura 22 – Tendências de número máximo de dias consecutivos secos – CDD (dias) com RR <1 milímetro (2020-2050).

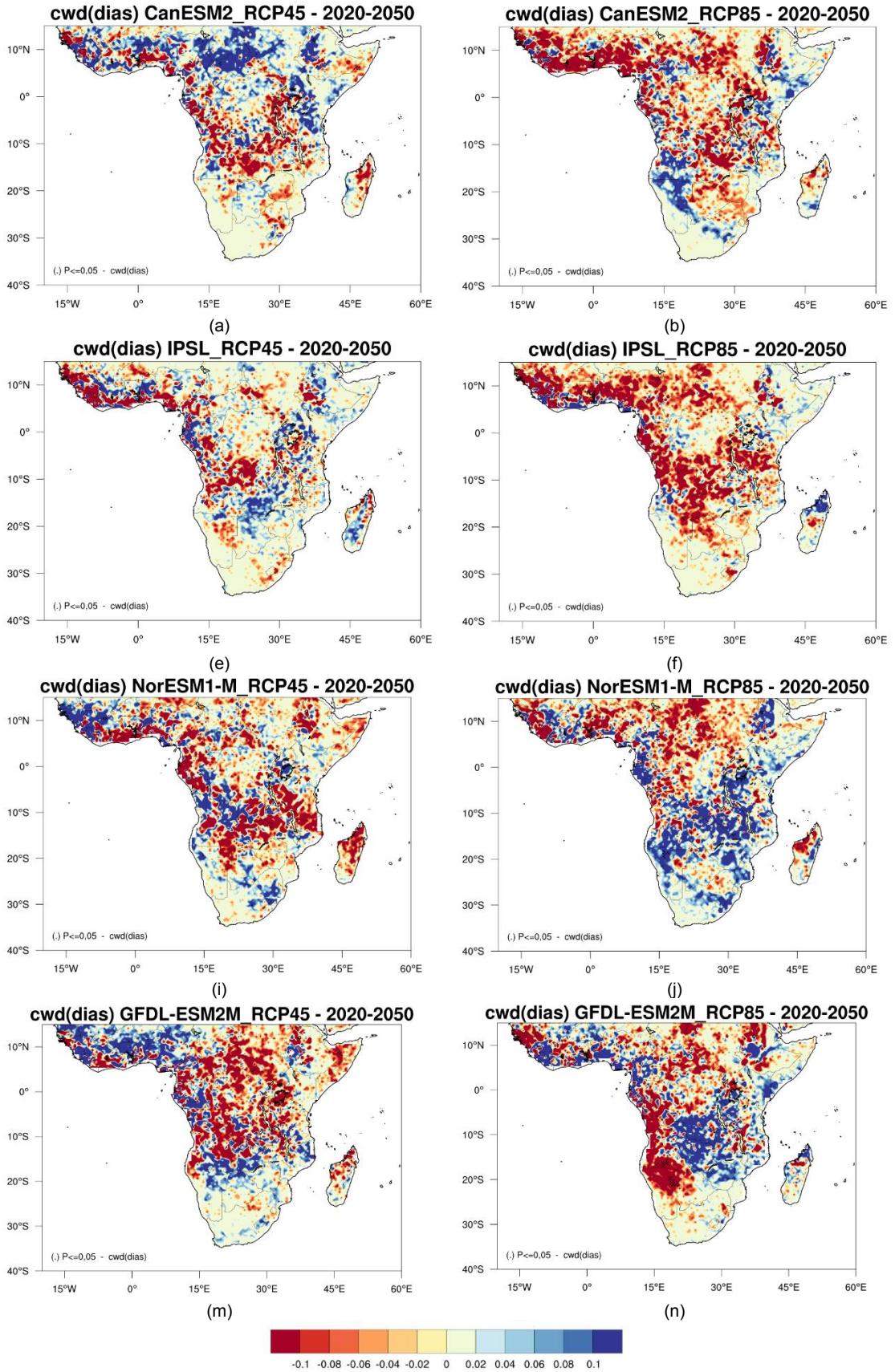
### 3.4.2. Padrões de CWD para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5

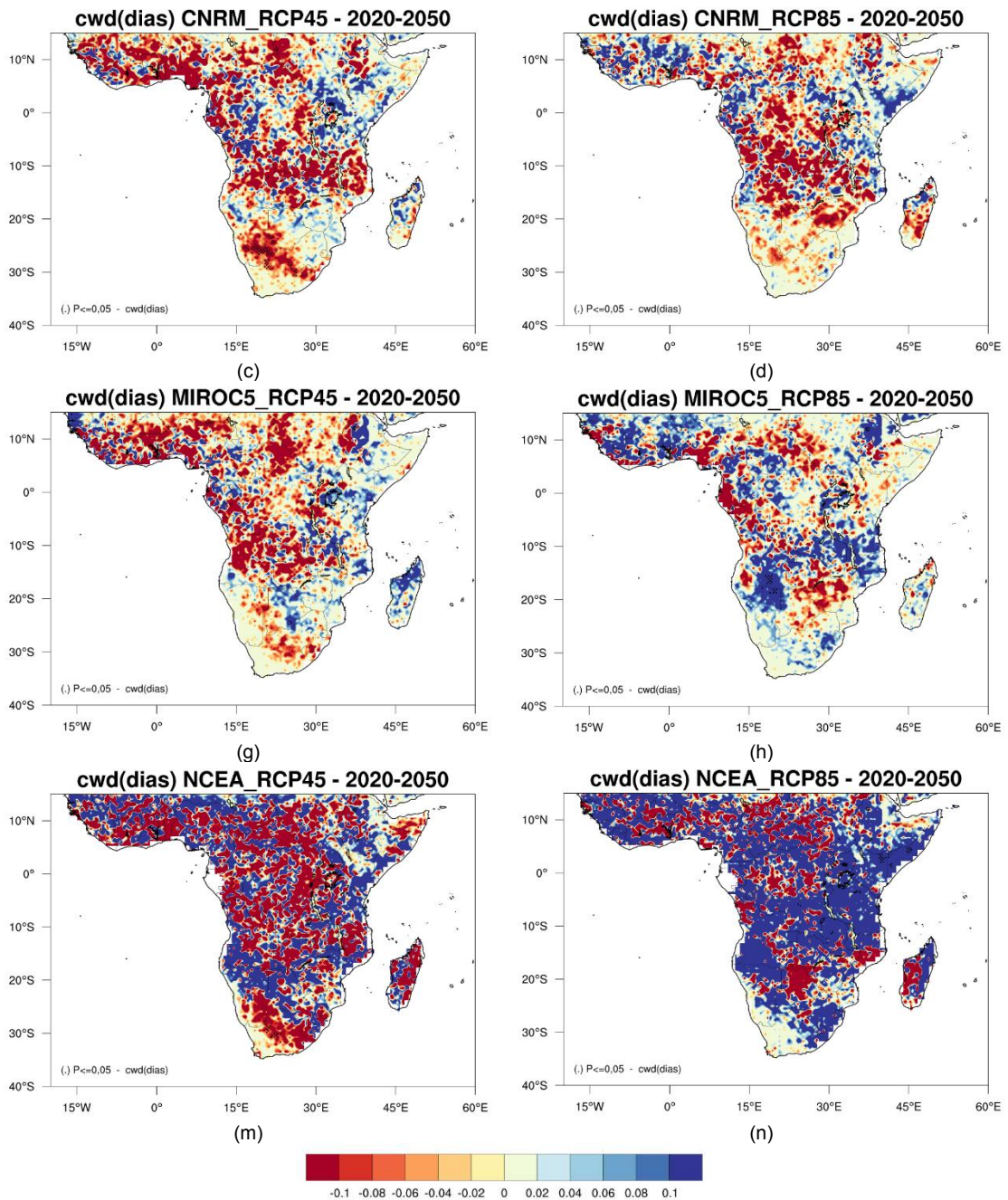
As tendências anuais do indicador de número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) nos cenários de alta emissão RCP8.5 e de média emissão RCP4.5 são apresentadas na Figura 23 (Tabela 13). Há um aumento projetado no CWD com o tempo sob os dois cenários. A tendência significativa é ainda menor no cenário de média emissão RCP4.5 quando comparada com o cenário de alta emissão RCP8.5.

Tabela 13 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice CWD no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de CWD (dias) ( $P \leq 0,05$ )			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	Somália	Costa de Marfim	R. C.-Africana	Namíbia
CNRM-CM5	Namíbia, Angola, Botsuana, África do Sul	Zimbábue	-	-
GFDL-ESM2M	Somália,	Namíbia, Angola	-	-
IPSL-CM5A-MR	-	Angola, R. D. do Congo, Nigéria	-	-
MIROC5	Nigéria	-	Botsuana	Namíbia, Angola
NCEA				
NorESM1-M	Gana	-	-	Namíbia

As Figuras 22 e 23 mostram a distribuição espacial do CDD e da CWD, respectivamente, a partir dos modelos climáticos e das observações. As fases opostas em magnitude são bem observadas entre os padrões CDD e CWD: áreas com CDD mínimo correspondem à CWD máxima (SONKOUÉ et al., 2019).





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

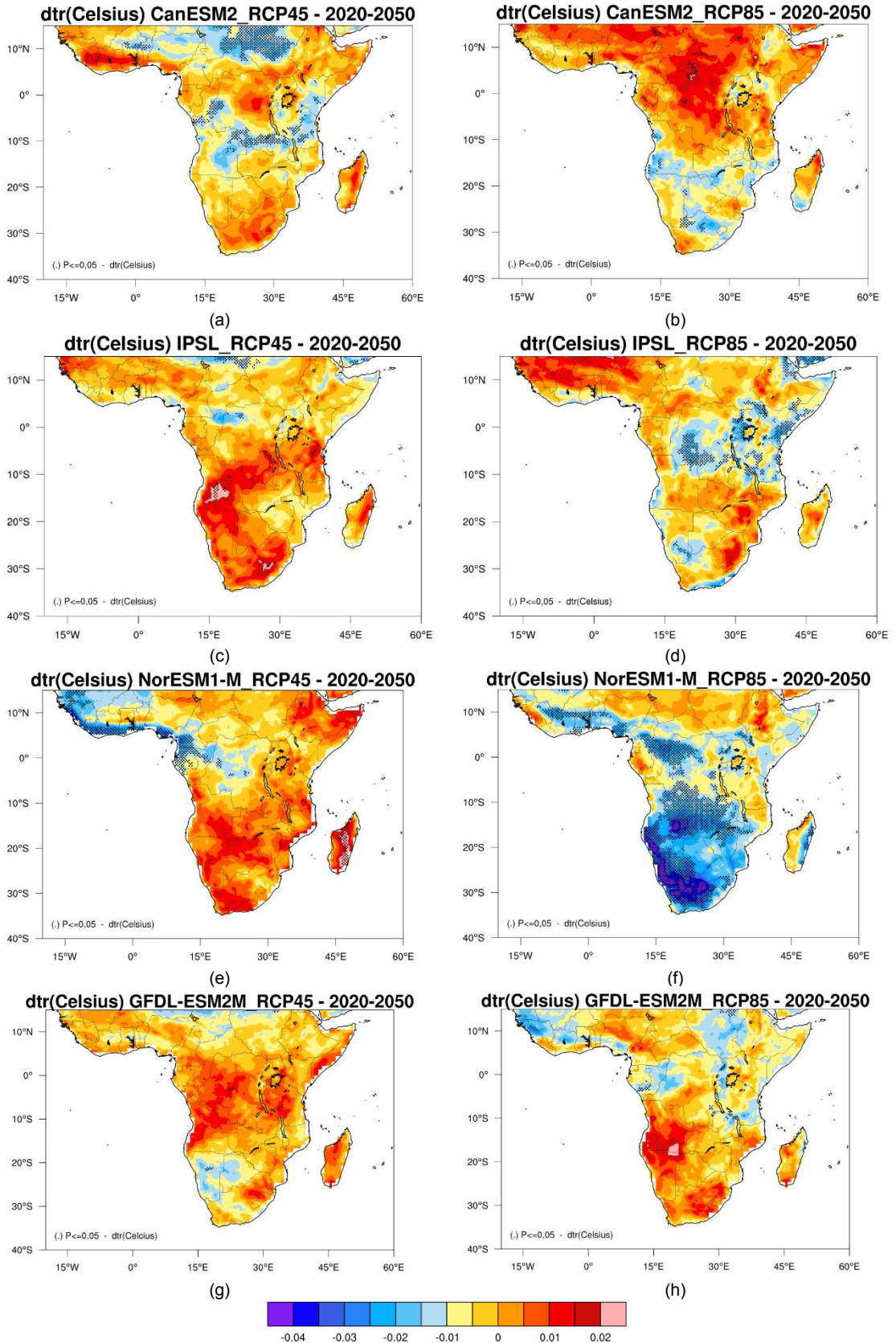
Figura 23 – Tendências de número máximo de dias consecutivos úmidos (CWD) com RR > = 1mm (2020-2050).

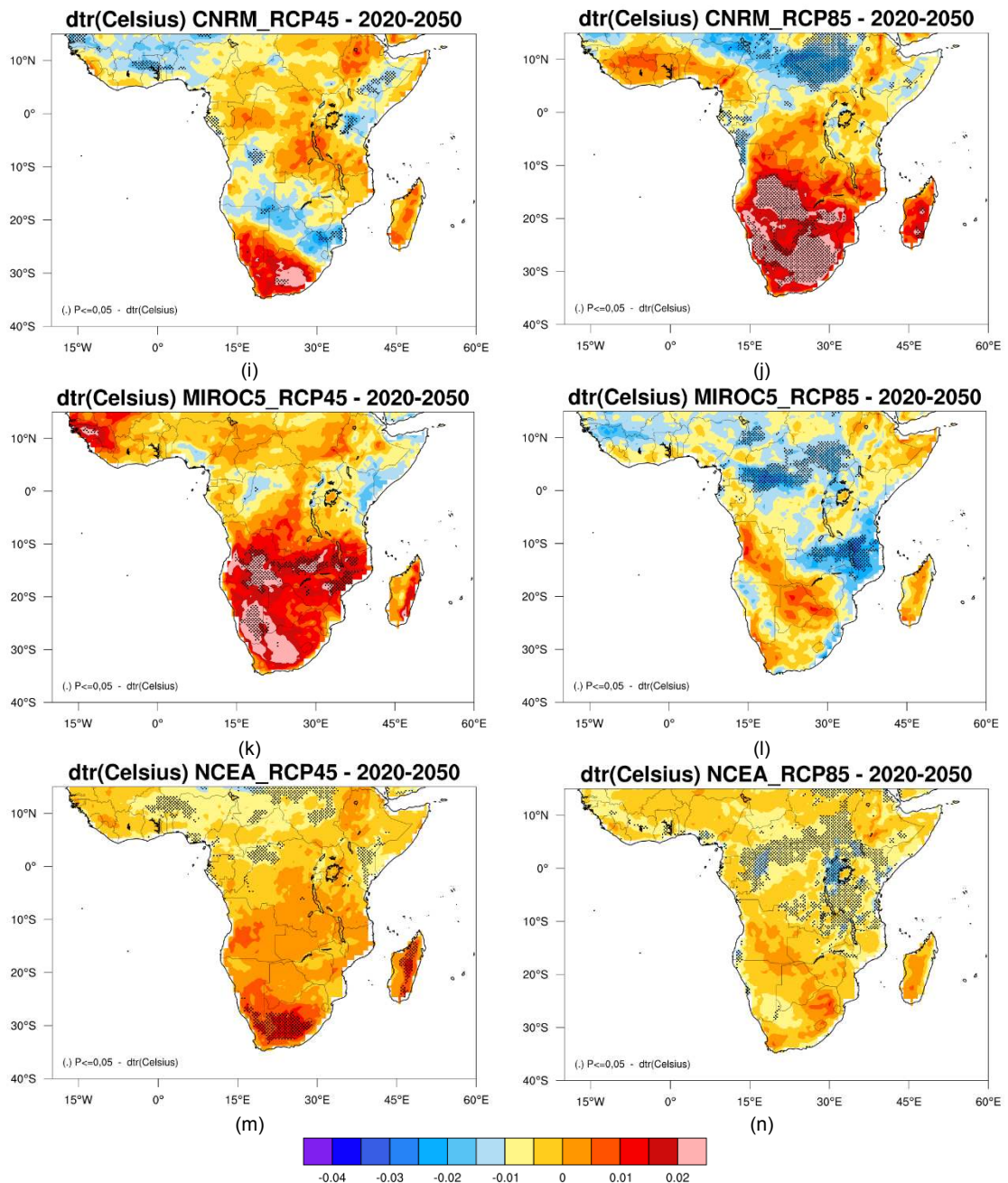
### **3.4.3. Padrões de DTR para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)**

As tendências anuais do indicador de amplitude térmica diária (DTR) nos cenários RCP8.5 e 4.5 são apresentadas na Figura 24 (Tabela 14). Há um aumento projetado no DTR com o tempo sob os dois cenários. A tendência é ainda menor no RCP4.5 quando comparada com o cenário RCP8.5. A tendência crescente de DTR na parte da SSA.

Tabela 14 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice DTR no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de DTR (°C) (P≤0,05)			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	Tanzânia, Sudão, Angola, Sul da R. D, Congo	Botsuana, Angola, África do Sul,	-	Sudão, R. D. do Congo, Gabão
CNRM-CM5	Norte da África do Sul, Sul de Moçambique, Quênia, Sul de Etiópia, Angola, Burquina Faso, Nigéria, Senegal	Sudão, Sudão do Sul, Congo, R. C.-Africana.	Centro e Sul da África do Sul	África do Sul, Angola, Botsuana, Zimbábue, Zâmbia, Madagascar, Moçambique, Lesoto, Suazilândia
GFDL-ESM2M	Namíbia, Botsuana	Congo, Sudão, Sul de Tanzânia, Leste da Zâmbia, Guine, Guiné-Bissau, Gambia, Senegal	R. D. do Congo, Tanzânia	-
IPSL-CM5A-MR	Norte de R. D. do Congo	Quênia, Tanzânia, R. D. do Congo, Uganda, Sul da Namíbia	Angola, Tanzânia, R. D. do Congo.	-
MIROC5	Oeste da R. D. do Congo, Leste de Congo	Zâmbia, Centro e Norte de Moçambique, Malawi, Sul de Tanzânia, Norte de R. D. de Congo, Sudão do Sul, R. C.-Africana	África do Sul, Namíbia, Angola, Botsuana, Zimbábue, Lesoto, Suazilândia, Malawi, Moçambique, Guine, Madagascar.	-
NCEA	-	Uganda, Ruanda,	África do Sul, Quênia, Madagascar, Sudão, Togo, Benin, Burkina Faso.	Tanzânia, Sudão do Sul, Norte da Zâmbia, Sul e Norte de R. D. do Congo
NorESM1-M	Camarões, Norte do Congo, Gabão, Guiné-Equatorial, Sul de Nigéria, Togo, Benin, Costa de Marfim, Libéria, Serra Leoa, Guine, Guiné-Bissau, Gambia Senegal.	África do Sul, Namíbia, Botsuana, Zimbábue, Angola, R. D. do Congo, Zâmbia, Quênia, Sul de Nigéria, Congo, Togo, Benin, Costa de Marfim, Guine, Madagascar.	Madagascar	-





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

Figura 24 – Tendências de amplitude térmica diária – DTR (2020-2050).

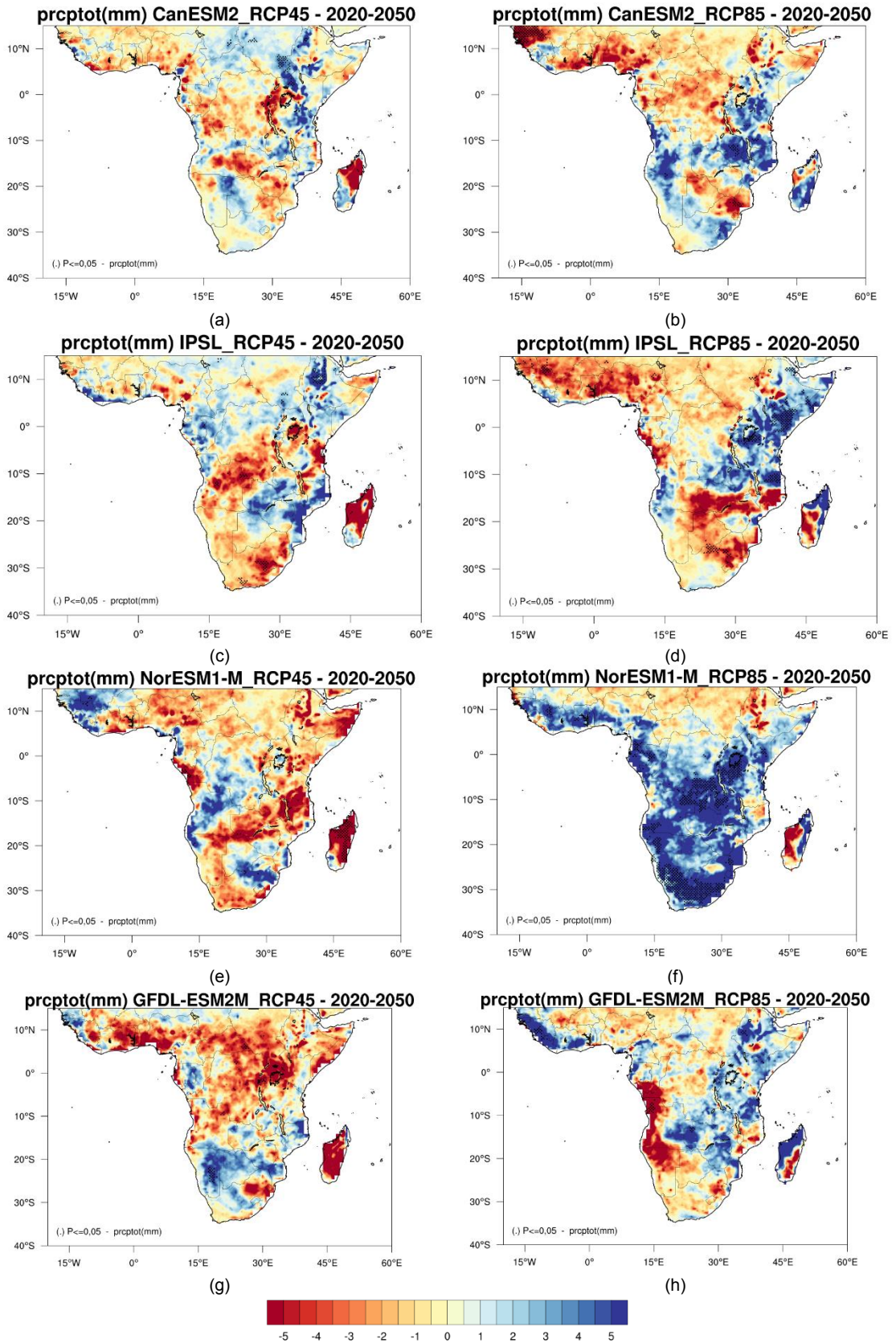
#### **3.4.4. Padrões de PRCPTOT para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)**

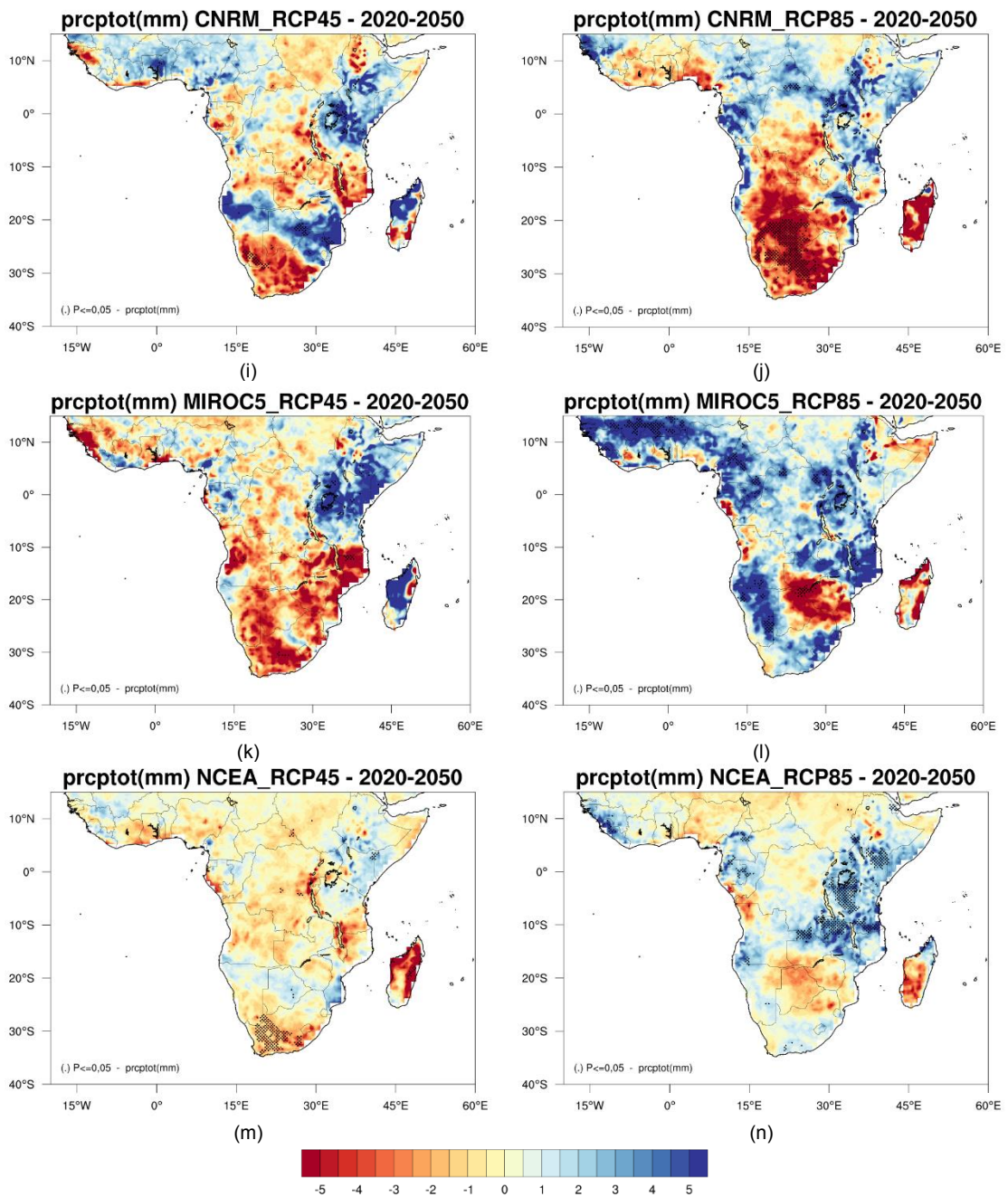
As tendências anuais do indicador da precipitação total anual (PRCPTOT) nos cenários RCP8.5 e 4.5 são apresentadas na Figura 25 (Tabela 15). Há um aumento projetado no PRCPTOT com o tempo sob os dois cenários. A tendência é ainda menor no RCP4.5 quando comparada com o cenário RCP8.5.

As reduções na PRCPTOT juntamente com o aumento da CDD têm implicações para o início da precipitação sazonal na África Austral (por exemplo, TADROSS et al., 2005) e é provável que tenha impactos negativos na agricultura, particularmente nas áreas de agricultura tradicional e recursos hídricos.

Tabela 15 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice PRCPTOT no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de PRCPTOT (mm) (P≤0,05)			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	Norte de Madagascar	Sul de Moçambique, Norte de África do Sul, Guiné-Bissau, Gambia, Senegal	Sudão do Sul, Uganda	Angola, Zâmbia, Tanzânia, Madagascar, Centro e Norte de Moçambique
CNRM-CM5	Sul de Namíbia, Sul de África do Sul	Namíbia, Angola, África do Sul, Botsuana,	Norte de Botsuana, Norte de África do Sul, Sul de Moçambique, Uganda, Norte de Tanzânia, Quênia, Sul de Etiópia	Centro de Moçambique, Gabão, Guiné-Equatorial, R. C.-Africana, Uganda, Sul da Etiópia, Gambia, Senegal
GFDL-ESM2M	R. C.-Africana, Sudão do Sul, R. D. do Congo, Uganda, Angola.	Oeste de Angola	Namíbia	Quênia, Zâmbia, Libéria, Serra Leoa, Guine, Etiópia, Norte de Madagascar.
IPSL-CM5A-MR	África do Sul, Angola, Madagascar, Lesoto, Suazilândia	África do Sul, Nigéria, Guine, Senegal, Gambia	Etiópia, Sudão do Sul.	Tanzânia, Quênia, Somália, Etiópia, Uganda, Burundi
MIROC5	Moçambique, África do Sul, Angola.	Botsuana, Zimbábue	Uganda, Quênia, Etiópia, Somália, Tanzânia	Namíbia, Norte de Moçambique, Congo, Camarões, Sul de Angola, Norte de R. D. do Congo, Burkina Faso, Mali, Serra Leoa,
NCEA	Madagascar, África do Sul	-	Botsuana, Quênia	Zâmbia, Tanzânia, Quênia, Uganda, Ruanda, Burundi, Malawi, Gabão, Libéria, Serra Leoa.
NorESM1-M	Madagascar	Madagascar	Guine, Mali, Norte de África do Sul	África do Sul, Angola, Lesoto, Suazilândia, Centro e Sul de Moçambique, Zâmbia, Tanzânia, R. D. do Congo, Zimbábue, Botsuana, Quênia, Congo, Gabão, Guiné-Equatorial, Gana, Costa de Marfim, Guine.





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

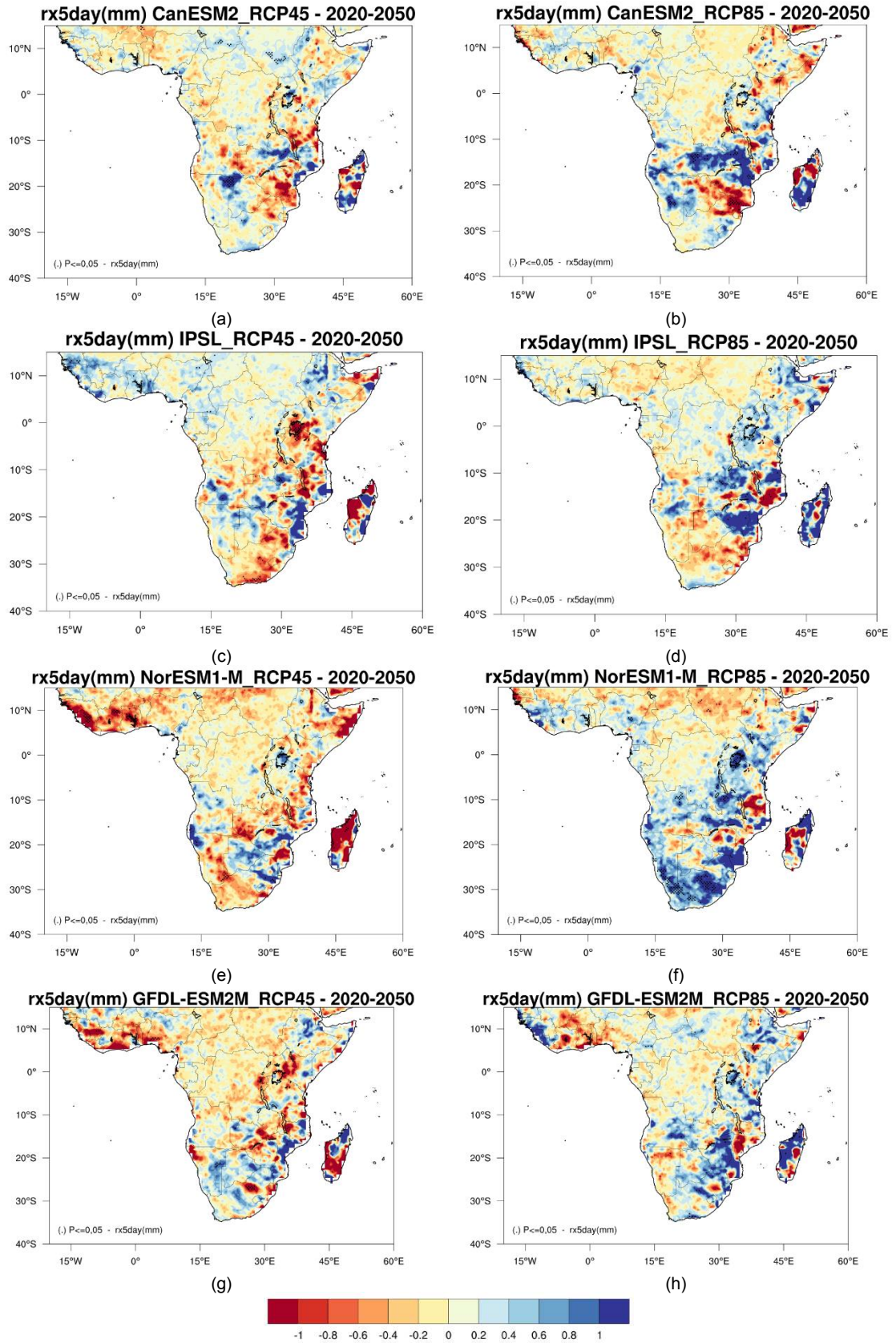
Figura 25 – Tendências da precipitação total anual nos dias úmidos ( $\geq 1$ mm) – prcptot (2020-2050).

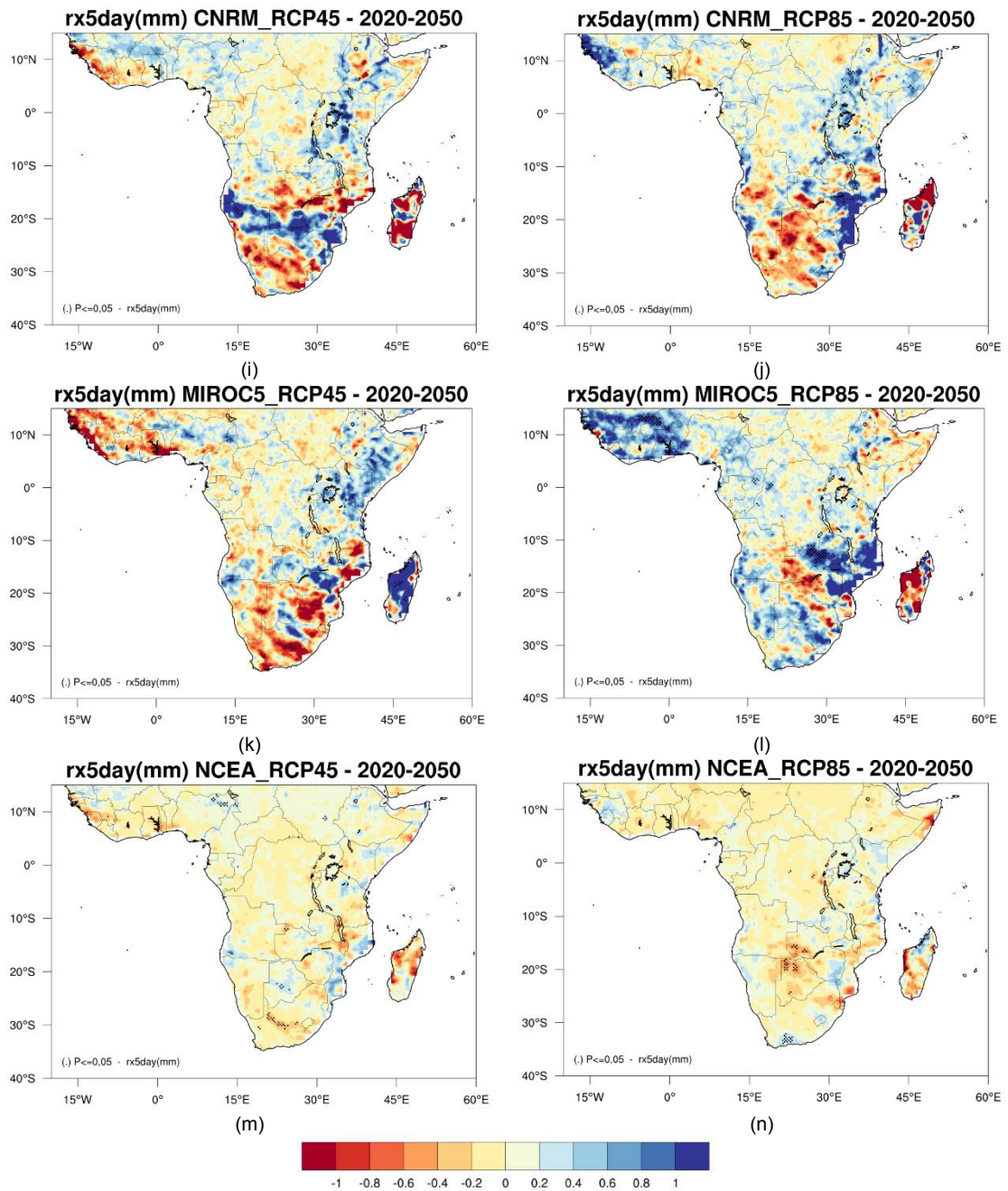
### 3.4.5. Padrões de RX5DAY para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)

A quantidade máxima anual de 5 dias – RX5DAY para diferentes cronogramas sob os cenários de média emissão RCP 4,5 e de alta emissão RCP8,5 é apresentada na Figura 26 e na Tabela 16. Em todos os casos, é claro que a mudança na quantidade de chuva aumenta com o aumento da força radiativa, bem como com o tempo (ONGOMA et al., 2018; SHONGWE et al., 2011; YANG et al., 2014).

Tabela 16 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice RX5DAY no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de RX5DAY (dias) ( $P \leq 0,05$ )			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	Norte de Níger	Sul de Moçambique, Norte de África do Sul.	Sudão do Sul, Nordeste da Namíbia, Norte da Zâmbia, Chade.	Centro de Moçambique, Sul de Madagascar, Zâmbia, Namíbia, Sul de Angola
CNRM-CM5	África do Sul, Centro de Moçambique, Sul de Namíbia, Norte de Zâmbia.	Botsuana, Sul de Namíbia.	Botsuana, Norte de Namíbia	Centro e Sul de Moçambique, Sul de Sudão do Sul, Tanzânia, Uganda.
GFDL-ESM2M	Nigéria, Guine, Centro da África do Sul.	Sul da Etiópia	Leste de Namíbia, Centro de Moçambique.	Madagascar, Zimbábue, Camarões, Libéria.
IPSL-CM5A-MR	Uganda, Tanzânia, África do Sul	Norte de Moçambique	Senegal, Sul de Angola, Etiópia.	Zimbábue, Norte de Zâmbia, Norte da Tanzânia.
MIROC5	África do Sul	Madagascar	Madagascar, Quênia, Etiópia, Uganda.	Gana, Centro e Norte de Zâmbia, Centro e Norte de Moçambique, Burkina Faso, Mali.
NCEA	África do Sul	Botsuana, Sul de Zâmbia.	Botsuana, Nordeste de Nigéria	Sul de África do Sul.
NorESM1-M	Namíbia, Madagascar, Libéria, Serra Leoa, Costa de Marfim, Gana, Togo	Sudão	Norte de África do Sul, Sudoeste da Namíbia.	África do Sul, Namíbia, Angola, Zâmbia, Quênia, Lesoto.





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

Figura 26 – Tendências da quantidade máxima de precipitação em cinco dias (Rx5day) no ano (mm/ano) (2020-2050).

Em geral, observa-se que as magnitudes dos extremos de precipitação aumentam com um aumento nos cenários de forçamento radiativo, com tendências lineares quase duplicando no cenário RCP8.5 em comparação com os respectivos casos sob o RCP4.5 (ONGOMA et al., 2018). Em um estudo recente realizado na China (KHARIN et al., 2013; GUO et al., 2016) relataram que as tendências lineares de precipitações extremas para o cenário RCP8.5 são cerca de 2 a 3 vezes maiores do que aquelas no cenário RCP4.5. E que a magnitude dos extremos de precipitação especialmente sobre a terra aumenta notavelmente com o aquecimento global. É evidente a partir da variabilidade de índices que a temperatura provavelmente continuará aumentando até o final do século XXI. Sabe-se que o aquecimento global aumenta o depósito de umidade na atmosfera, levando ao aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de chuvas (ONGOMA et al., 2018).

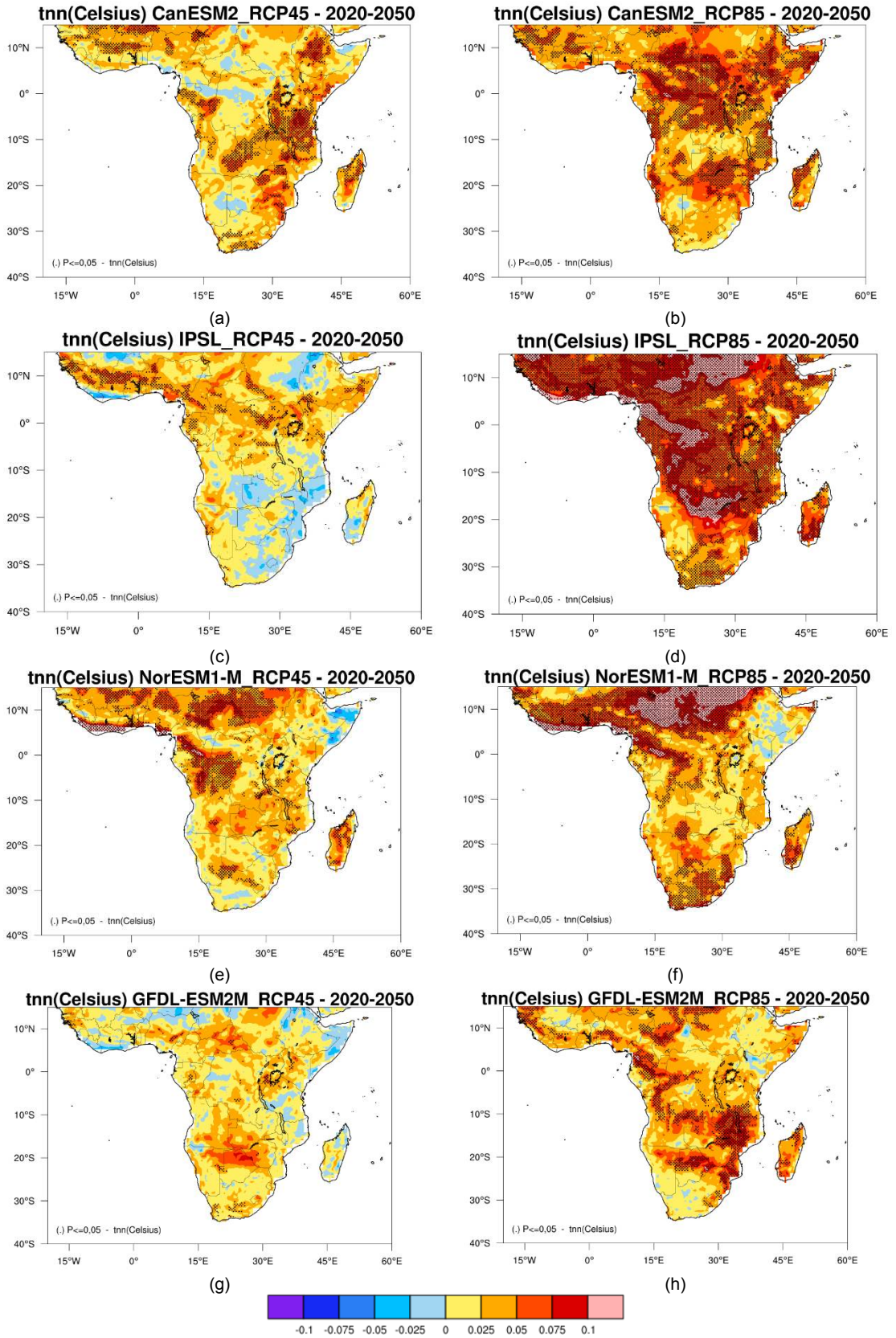
O índice RX5day geralmente aumentam na região norte do domínio, mas diminuem nas partes sul-ocidentais da África do Sul

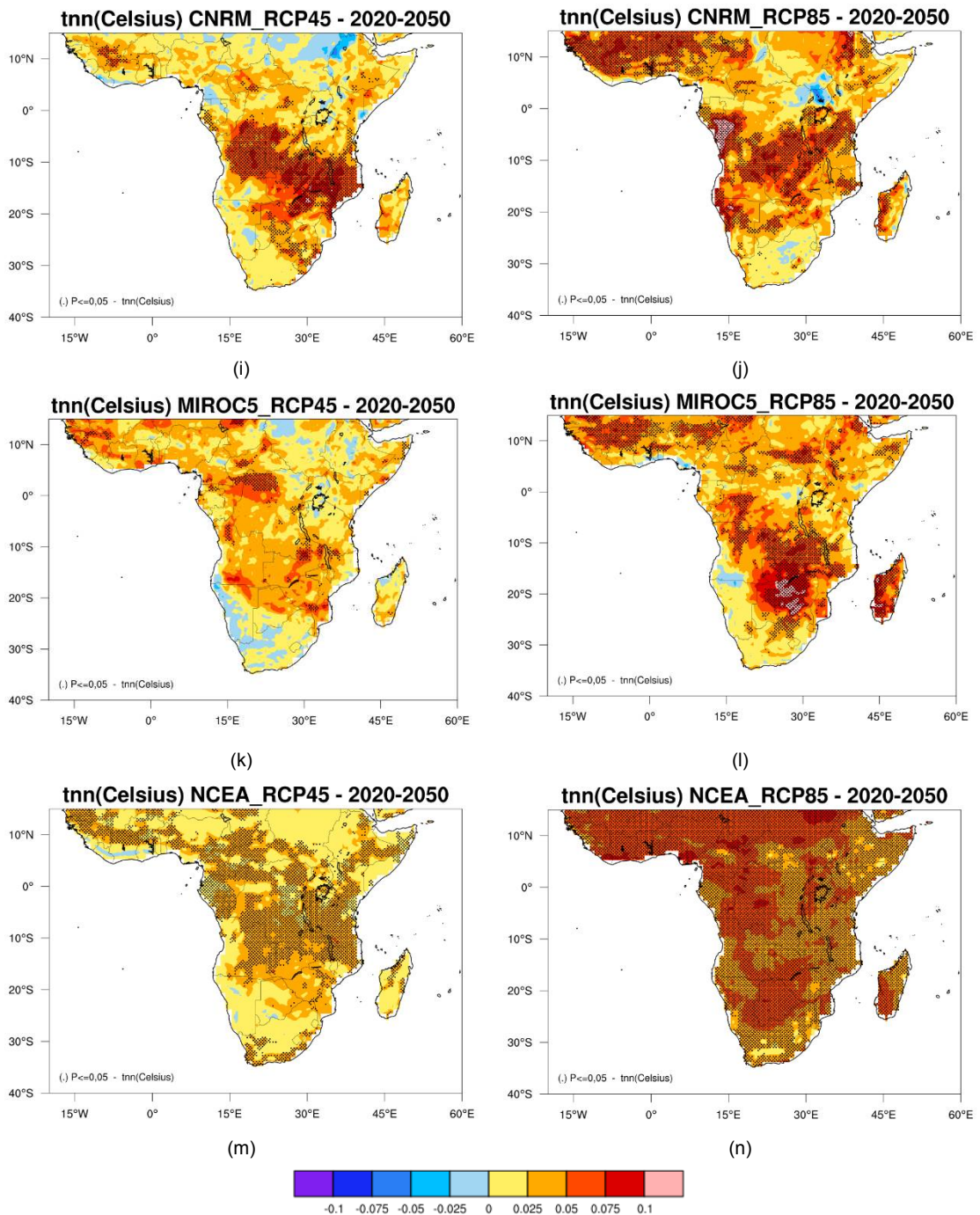
#### **3.4.6. Padrões de TNN para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)**

Uma exibição das variações médias no mínimo anual da temperatura mínima diária (TNN) é dada na Figura 27 (Tabela 17).

Tabela 17 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrecentes) para o índice TNN no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de TNN (°C) (P≤0,05)			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	-	-	As duas emissões apresentam tendências positivas significativas e uma pequena divergência na região do equador (RCP4.5< RCP8.5)	
CNRM-CM5	-	-	As duas emissões apresentam tendências positivas significativas e uma grande divergência na região norte, de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
GFDL-ESM2M	-	-	O RCP8.5 apresenta mais tendências positivas significativas em relação a RCP4.5 e também as emissões são menos convergentes em que RCP4.5< RCP8.5	
IPSL-CM5A-MR	-	-	As duas emissões apresentam tendências positivas significativas e uma grande divergência em que RCP4.5< RCP8.5	
MIROC5	-	-	As duas emissões apresentam convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
NCEA	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
NorESM1-M	-	-	As duas emissões apresentam tendências positivas significativas e uma grande convergência em que RCP4.5< RCP8.5	





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

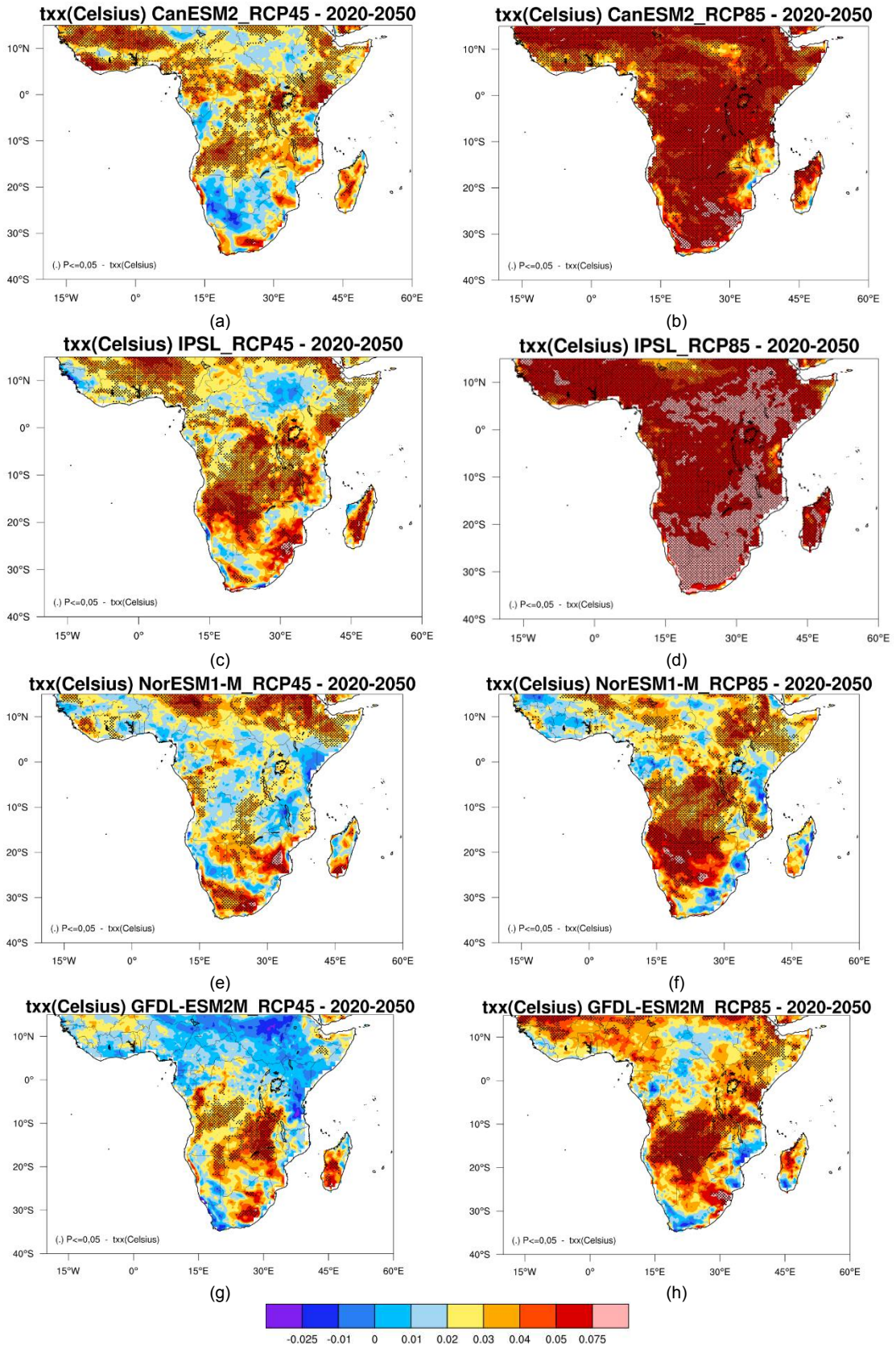
Figura 27 – Tendências do valor mínimo da temperatura mínima diária – tnn (2020-2050).

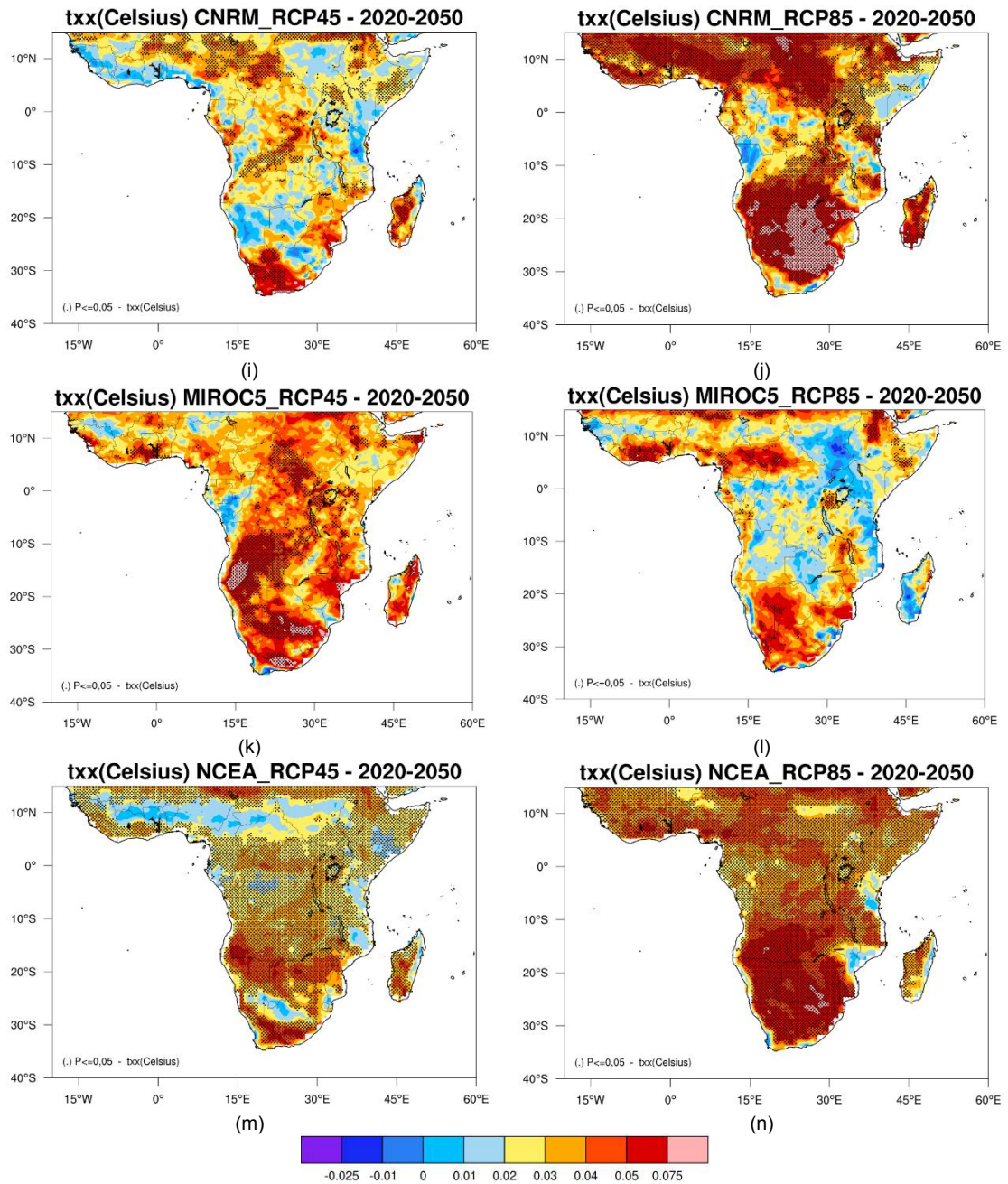
### 3.4.7. Padrões de TXX para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)

Uma exibição das variações médias na máxima anual da temperatura máxima diária (TXX) é dada na Figura 28 (Tabela 18).

Tabela 18 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrescentes) para o índice TXX no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de TXX (°C) (P≤0,05)			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	-	-	As duas emissões apresentam uma grande divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
CNRM-CM5	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena diferença na convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5.	
GFDL-ESM2M	-	-	As duas emissões apresentam uma grande divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
IPSL-CM5A-MR	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
MIROC5	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5> RCP8.5	
NCEA	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena diferença na convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	
NorESM1-M	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5< RCP8.5	





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

Figura 28 – Tendências do valor máximo da temperatura máxima diária - txx (2020-2050).

Os dois (TNN e TXX) estão a aumentar uniformemente em toda a região da SSA. As alterações dos índices com as mudanças mais altas evidentes no cenário RCP8.5 do que no RCP4.5. O mesmo padrão foi observado na China por Zhou et al. (2014) e em África por Ongoma et al. (2018).

O aquecimento das principais massas de água e áreas costeiras é projetado para ser menor do que as áreas do interior. De acordo com observações anteriores, Sillmann et al. (2013a), observando as mudanças no TNx e no TXx em todo o mundo, relataram mudanças significativas nas áreas terrestres.

Ongoma et al. (2018) relatam que embora as mudanças na temperatura pareçam relativamente pequenas, uma leve mudança na temperatura pode resultar em impactos devastadores em um determinado ecossistema. Quênia e o Monte Kilimanjaro no Quênia e na Tanzânia, respectivamente. Segundo Prinz et al. (2016), as perdas de geleiras observadas no Monte. O Quênia é resultado do aumento do degelo desencadeado pelos ganhos de energia radiativa.

Medidas de mitigação: o aumento projetado em um período quente e o aquecimento global de duas estações futuro sob RCP4.5 e RCP8.5 é uma indicação de que a temperatura normal futura pode se tornar mais severa do que no passado se as medidas de mitigação não forem no lugar para diminuir o aquecimento.

A duração do período quente, são contagens anuais de pelo menos seis dias consecutivos com temperatura máxima maior que o valor do percentil 90, (Figura 29) apresenta nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 que não haverá virtualmente nenhum período de frio esperado na série temporal do estudo. Estudos anteriores sobre o impacto das mudanças climáticas em temperaturas extremas também constataram que os índices observados e/ou projetados aumentaram ou diminuíram nos índices extremos de temperatura quentes/frias, como Alexander et al. (2006), Omondi et al. (2014), Sillmann (2013a, b) e Kharin et al. (2013). De forma geral, esse aumento de período quente é verificado ano norte e uma parte central da SSA.

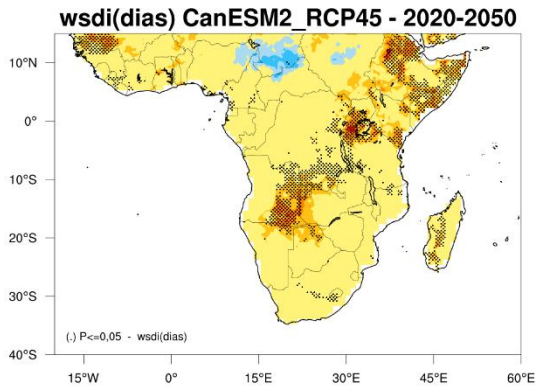
### 3.4.8. Padrões de WSDI para cenários de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 (2020-2050)

As tendências anuais do indicador de duração do período quente (WSDI) nos cenários de alta emissão RCP8.5 e de média emissão RCP4.5 são apresentadas na Figura 29 (Tabela 19).

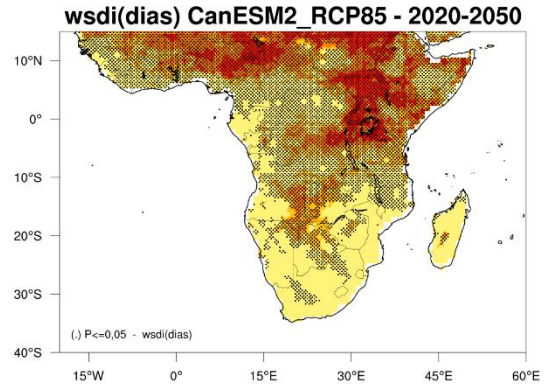
Tabela 19 – Locais das tendências significativas positivas (crescentes) e negativas (decrecentes) para o índice WSDI no período 2020-2050

Modelos	Tendências significativas de WSDI (dias) ( $P \leq 0,05$ )			
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
	Negativa	Negativa	Positiva	Positiva
CanESM2	-	-	As duas emissões apresentam uma grande divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 < RCP8.5	
CNRM-CM5	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 < RCP8.5	
GFDL-ESM2M	-	-	As duas emissões apresentam uma ótima convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 < RCP8.5	
IPSL-CM5A-MR	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena diferença na convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 < RCP8.5	
MIROC5	-	-	As duas emissões apresentam uma grande divergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 > RCP8.5	
NCEA	-	-	As duas emissões apresentam uma ótima convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 > RCP8.5	
NorESM1-M	-	-	As duas emissões apresentam uma pequena diferença na convergência das tendências positivas significativas e de forma geral RCP4.5 > RCP8.5	

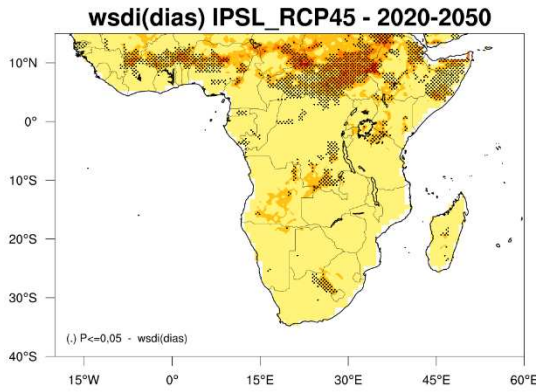
Sillmann et al. (2013b) descobriram como neste estudo que a duração do período quente é projetada para aumentar em todos cenários climáticos.



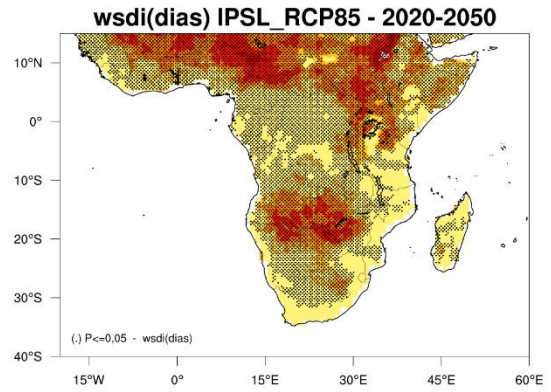
(a)



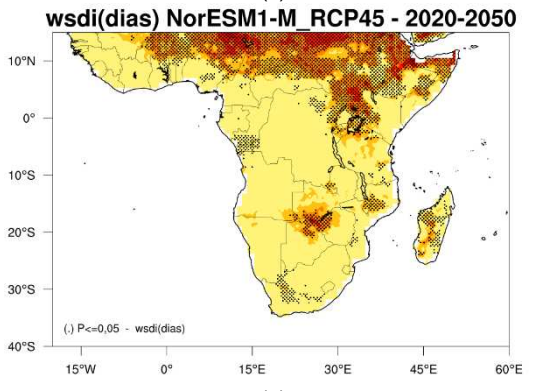
(b)



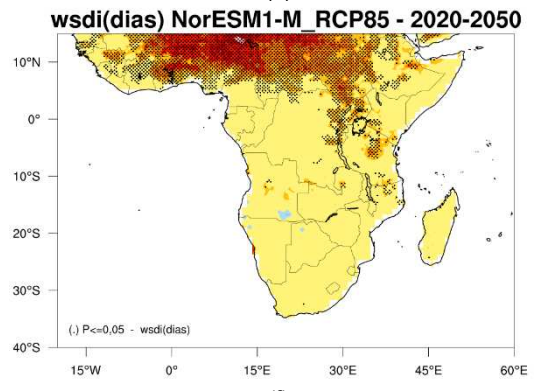
(c)



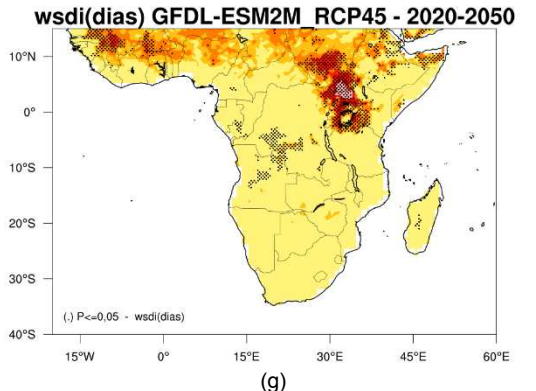
(d)



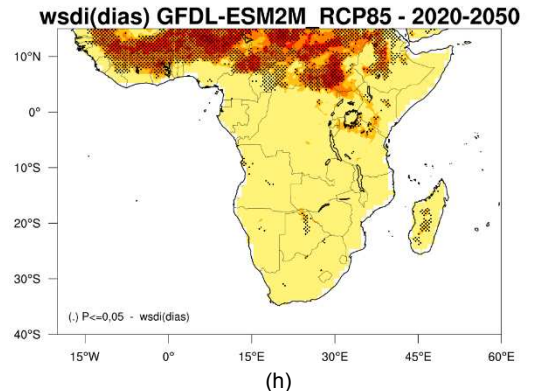
(e)



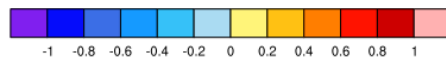
(f)

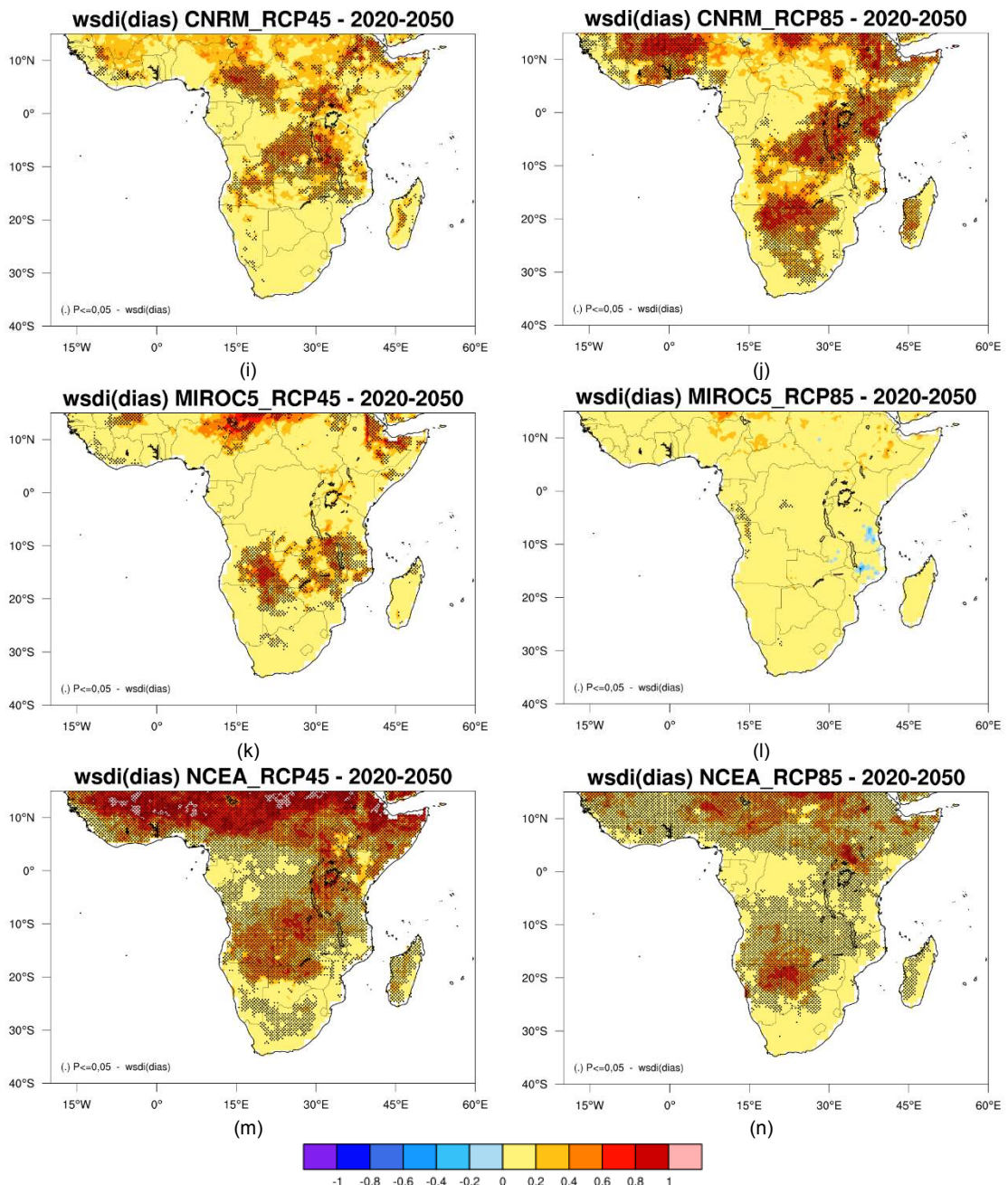


(g)



(h)





LEGENDA: (a) CanESM2-RCP4.5, (b) CanESM2-RCP8.5, (c) IPSL-CM5A-MR-RCP4.5, (d) IPSL-CM5A-MR-RCP8.5, (e) NorESM1-M-RCP4.5, (f) NorESM1-M-RCP8.5, (g) GFDL-ESM2M-RCP4.5, (h) GFDL-ESM2M-RCP8.5, (i) CNRM-CM5-RCP4.5, (j) CNRM-CM5-RCP8.5, (k) MIROC5-RCP4.5, (l) MIROC5-RCP8.5, (m) NCEA-RCP4.5 e (n) NCEA-RCP8.5.

Figura 29 – Tendências da duração do período quente - wsd (2020-2050).

Há um aumento projetado no WSDI com o tempo sob os dois cenários. A tendência é ainda menor no RCP4.5 quando comparada com o cenário RCP8.5. O WSDI é sensível à variabilidade de temperatura predominante. A tendência crescente de WSDI em todo o EA pode ser explicada pelo aumento projetado na temperatura em comparação com a variabilidade de baixa temperatura nos trópicos. Isso suporta o forte gradiente de IDSMS na região costeira que experimenta a baixa variabilidade de temperatura a curto prazo na região. O aquecimento global em curso como resultado da emissão de GEE provavelmente aumentará a temperatura, tanto em média quanto extremos. Mudanças na temperatura, especialmente em eventos extremos, podem ter efeitos deletérios. Como apontado em Sarofim et al. (2016), eventos extremos de temperatura comprometem o funcionamento normal do corpo em relação à regulação da temperatura interna, levando a complicações de saúde. Além de causar doenças, a temperatura extrema, especialmente a alta temperatura, é conhecida por retardar a produtividade do trabalho humano. Embora a temperatura varie de maneira diferente de região para região, usando projeções do Modelo de Sistema Terrestre (ESM2 M), Dunne et al. (2013) projetaram uma redução na capacidade de trabalho para 80% globalmente em meados do século XXI. Por outro lado, um aumento nos eventos extremos de temperatura contribuirá para o aumento da temperatura média. O aumento da temperatura média sobre EA é conhecido por aumentar as doenças transmitidas por vetores, como a malária, favorecendo o melhoramento e crescimento de mosquitos do gênero *Anopheles* na EA (OMUMBO et al., 2011). Da mesma forma, Adhikari et al. (2015) projetaram uma diminuição significativa na principal cultura produzida na África oriental como resultado do estresse térmico.

## 4. CONCLUSÃO

O impacto potencial da mudança climática no futuro é sustentado pela precipitação anual extrema e temperatura extrema no período de 2020-2050 que foi investigado usando os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 de sete modelos climáticos tendo como referência o clima histórico (1976-2005). De modo geral, os resultados dos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 dos modelos aqui apresentados, indicam um clima mais quente, eventos de precipitação extremos e temperaturas extremas, ocorrendo com maior frequência no cenário RCP 8.5.

Os melhores modelos de precipitação extrema (1976-2005) foram CanESM2M, MIROC5, NCEA e de temperatura extrema (1976-2005) foram NorESM1-M, NCEA, CanESM2M. Mas a média deles foi um resultado plausível. Pelo que podem ser usados em estudos de mudança e impactos climáticos.

Nota-se dos resultados do período histórico (1976-2005), para o CDD uma boa concordância entre os modelos e o observado em que projetam aumento de dias consecutivos secos. Para o CWD uma concordância entre as médias dos modelos e o observado em que projetam o aumento os dias consecutivos úmidos, apesar de três modelos projetarem diminuição. Para o RX5DAY uma concordância entre as médias dos modelos e o observado em que projetam o aumento de máximo de 5 dias de chuva, apesar de três modelos divergirem. Para o PRCPTOT uma concordância entre as médias dos modelos e o observado em que projetam o aumento da precipitação total anual em dias úmidos, apesar de um modelo divergir. Para o DTR uma divergência entre a média dos modelos e o observado, apesar de dois modelos serem concordantes e 4 divergentes em relação ao observado, é de referir que o observado projeta um aumento da amplitude térmica diária neste período. Para o TNN uma boa concordância entre os modelos e o observado, em que projetam um aumento do valor mínimo da temperatura mínima diária. Para o TXX uma boa concordância entre os modelos e o observado, em que projetam um aumento no valor máximo da temperatura máxima diária. Para o WSDI uma boa concordância entre os modelos e observado, em representa um aumento de duração do período quente.

Nota-se dos resultados do período futuro próximo (2020-2050), para o CDD sob cenário de média emissão RCP4.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam aumento de dias consecutivos secos, apesar de um modelo divergir com os demais modelos e sob cenário de alta emissão RCP8.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição de dias consecutivos secos, apesar de dois modelos projetarem aumento. Para o CWD uma concordância entre as médias dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam a diminuição dos dias consecutivos úmidos, apesar de um modelo projetar aumento do CWD e sob de alta emissão RCP8.5 uma concordância da média dos modelos e a maioria dos modelos em que projetam aumento dos dias consecutivos úmidos, apesar de dois modelos projetarem diminuição do CWD. Para o RX5DAY sob RCP4.5 uma concordância entre as médias dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam o aumento de máximo de 5 dias de chuva, apesar de três modelos divergirem e sob RCP 8.5 uma divergência entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que a maioria dos modelos projetam aumento do RX5DAY e a média dos modelos representa diminuição do RX5DAY. Para o PRCPTOT sob RCP4.5 uma concordância entre as médias dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição da precipitação total anual em dias úmidos, apesar de dois modelos representarem um aumento de PRCPTOT e sob RCP 8.5 uma boa concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam um aumento do PRCPTOT. Para o DTR sob 4.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição da amplitude térmica diária, apesar de dois modelos representarem um aumento de DTR e sob RCP 8.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que representam uma diminuição da amplitude térmica diária, apesar de dois modelos representarem um aumento de DTR. Para o TNN, TXX, WSDI sob cenário de média emissão RCP4.5 e de alta emissão RCP8.5 uma boa concordância entre a média dos modelos e os modelos, em que projetam um aumento do valor mínimo da temperatura mínima diária, valor máximo da temperatura máxima diária, duração do período quente.

Com base nos cálculos das tendências e das correlações com os índices oceânicos foi possível determinar as regiões correlacionadas e afetadas com os

índices. Em suma, as correlações entre as tendências dos índices extremos e os índices oceânicos demonstraram uma forte influência das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar sobre a região estudada, fortalecendo assim, estudos que mostram a atuação dos índices oceânicos como de grande influência sobre o clima na SSA.

## **CAPÍTULO 2 – POTENCIAL IMPACTO DO CLIMA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA**

### **1. INTRODUÇÃO**

A África, possui uma vasta área terrestre, que abrange 3 bilhões de hectares, tem 1,3 bilhão de hectares de terras agrícolas, dos quais apenas 252 milhões de ha (19,36%) são cultiváveis (FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO, 2011). A agricultura é o "motor para o crescimento" na África. Evidentemente a agricultura de subsistência é praticada pela maioria dos pequenos agricultores, onde estes possuem restrições que dificultam a agricultura e os rendimentos sustentáveis. Certamente cereais como Sorgo, Trigo, Milho e Arroz são os principais alimentos básicos da maioria da população (MACAULEY; RAMADJITA, 2015).

Assim, o percentual de terras agrícolas (cultivadas e utilizadas como pastagens) varia consideravelmente por toda a África, de 54,7% na África Meridional e 46,6% nas ilhas do Oceano Índico Ocidental para 20% no Norte da África e 19,3% na África Central. A falta de tecnologias agrícolas adequadas às condições africanas, escassez de alimentos, devido ou a quebras de produção ou a interrupções na distribuição associadas a conflitos civis também vem contribuindo para que não se alcance o potencial de produção (FAO, 2000). A dependência da agricultura sem irrigação artificial aumenta o risco de insegurança alimentar e econômica, principalmente em áreas de elevada variabilidade climática. Por outro lado, a produção de alimentos nos países da SSA vem aumentando na maior parte, à medida que mais e mais terras florestais são liberadas para a agricultura.

Isso mostra que a produção total de alimentos (culturas primárias e carnes) na SSA tem crescido, mas a uma taxa muito baixa de menos de um por cento por ano. Isso é bastante alarmante considerando o fato de que a taxa de crescimento da produção de alimentos não é estatisticamente diferente da taxa de crescimento da população, o que suscita preocupações sobre a capacidade de SSA. Sem as importações de alimentos e os esforços sérios para impulsionar

a produção de alimentos, a SSA não seria capaz de garantir o abastecimento adequado de alimentos para a população.

O SSA tem a terra fértil necessária e o trabalho para ser autônomo dos alimentos. No entanto, há duas produções alimentares que enfrentam a escassez de insumos, como água e fertilizantes adequados. A agricultura na SSA é principalmente dependente da chuva, e essa dependência torna vulnerável a situações de precipitação tardia e impede que obtenha a melhor saída possível. Dispositivos de armazenamento de água de pequena escala são uma possível solução para reduzir a vulnerabilidade da agricultura SSA à variação da chuva. Além de reduzir a vulnerabilidade das culturas, esses dispositivos poderiam encorajar os agricultores a adotar práticas agrícolas de alto risco/alto retorno que já eram muito arriscadas devido à incerteza da água. Além disso, como os alimentos na África do Sul são produzidos principalmente por pequenos agricultores, os insumos, como os fertilizantes, na sua maioria não estão disponíveis. Felizmente, os governos e os parceiros de desenvolvimento em todo o continente criaram vários programas de desenvolvimento rural que buscam subsidiar os custos de fertilizantes, a fim de torná-los amplamente disponíveis.

A África possui 60% das terras potencialmente cultiváveis do planeta, no entanto o terreno é sólido e a FAO diz que 79% dos campos que poderiam ser cultivados no continente estão sem trabalhar. Porém, o continente africano, e em particular a SSA, é uma zona de amplos contrastes. Enquanto a seca extrema e a fome atingem países como a Namíbia, também é destacada que dos 15 países do planeta onde a produção agrícola mais cresceu entre 2000 e 2008 sete são africanos: Angola (13,6%), Guiné (9,9%), Eritreia (9,3%), Moçambique (7,8%), Nigéria (7%), Etiópia (6,8%) e Burquina Fasso (6,2%).

As mudanças climáticas estão alterando as condições ambientais e reduzindo a produtividade agrícola, com países em desenvolvimento demonstrando maior vulnerabilidade, segundo a USAID. Perdas de produção estão previstas para o Sul da Ásia, a SSA, o Oriente Médio e o Norte da África em até 35% até 2050 para as principais culturas de cereais, criando perdas econômicas significativas e incertezas para as pessoas que dependem da produção básica para sua segurança alimentar. Vinte e cinco milhões de hectares da produção de cereais já se encontra afetada negativamente pela seca

anualmente, e estima-se que pelo menos 20% das terras agrícolas irrigadas mundialmente são afetadas pela salinidade (USAID, 2013).

A África enfrenta uma ampla gama de desafios na produção dos principais cereais (arroz, milho, sorgo e trigo), pois a agricultura global está enfrentando o provável impacto do aquecimento global. Dadas as atuais tendências de aquecimento na África subsaariana, a produção de cereais de grande porte possa cair em 20% até meados do século XX (SCHLENKER; LOBELL, 2010). Com a ameaça iminente de temperaturas mais altas e secas mais viciosas (decorrentes das alterações climáticas), também apresentam preocupações a alta incidência de doenças, insetos-pragas e plantas parasitas e nitrogênio sub-ótimo do solo na prática da produção de cereais.

Assim, a produção agrícola já está sendo afetada negativamente pelo aumento das temperaturas, aumento da variabilidade da temperatura, mudanças nos níveis e frequência de precipitação, maior frequência de eventos secos e secas, aumento da intensidade de eventos climáticos extremos, aumento do nível do mar e salinização de terras aráveis e de água doce. À medida que os impactos das mudanças climáticas na agricultura se intensifiquem, será cada vez mais difícil cultivar, criar animais, gerenciar florestas e pegar peixes da mesma maneira e nos mesmos lugares que fizemos no passado.

Uma maior frequência de eventos extremos, especialmente inundações e secas, também prejudica as culturas e reduz os rendimentos. Um estudo da FAO estimou que, entre 2003 e 2013, cerca de 25% do impacto econômico total das catástrofes climáticas nos países em desenvolvimento era sentida na agricultura. Quando apenas a seca é considerada, a proporção aumenta para 84% (FAO, 2015). Os tipos de perigo variam amplamente por região.

Como a frequência de anos extremamente secos e úmidos estão a aumentarem, os eventos climáticos extremos são de grande importância para a agricultura. Pois, são extremamente difíceis de prever e os seus impactos também variam fortemente entre culturas e regiões. A mudança climática afeta a disponibilidade de alimentos através de seus impactos cada vez mais adversos sobre o rendimento das culturas, especialmente na África subsaariana são mais vulneráveis aos impactos de tais catástrofes como a severas secas ou inundações.

Finalmente, estimava-se que, em 2050, cerca de 50 milhões de pessoas mais poderiam estar em risco de sofrer desnutrição por causa de das Alterações Climáticas. Todas as evidências disponíveis confirmam que o clima está mudando e que é improvável que as mudanças sejam interrompidas ou revertidas no futuro imediato. Também não há dúvida de que as mudanças climáticas afetarão os setores agrícolas e a segurança alimentar e que seu impacto negativo se tornará mais grave à medida que ele se acelere. Em alguns lugares particularmente vulneráveis, como pequenas ilhas ou em áreas afetadas por eventos climáticos e climáticos extremos em larga escala, o impacto pode ser catastrófico.

Os índices climáticos ajudam a descrever o clima passado, presente e futuro. Eles geralmente estão mais relacionados a possíveis impactos e, portanto, são mais ilustrativos para os usuários do que simples meios climáticos. Os índices geralmente são baseados em séries de dados e limites diários (MAHLSTEIN et al., 2015).

Com base em uma abordagem perfeita de modelo, é mostrado que uma abordagem apropriada pode melhorar substancialmente as estimativas de climatologias diárias de limites baseados em percentis sobre áreas terrestres, bem como a média e a variabilidade. Essas melhorias são relevantes para a remoção de preconceitos em previsões de longo alcance ou previsões de índices climáticos baseados em limites percentuais. Mas também para estudos de mudança climática, o método mostra potencial para uso.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo elaborar o zoneamento agroclimático e determinar as causas potenciais dos índices extremos climáticos nas produtividades das culturas de milho e feijão na SSA.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área do estudo foi SSA, o qual está situado entre os paralelos 15° N e 35° S e os meridianos de 18°W e 50° E.

### 2.2. Dados

#### 2.2.1. Zoneamento agroclimático mensal da África Sub-Sahariana

Para entender melhor a influência do clima na produção do milho e feijão foram utilizados dados mensais de temperatura (°C) e precipitação (mm/dia) do período de 1970-2000 do modelo climático WorldClim com resolução espacial de 2,5 minutos. Porém, o estudo levou em consideração o período acima mencionado devido a confiabilidade dos intervalos de aptidão encontrados em literatura. Porém, foi feito o download dos arquivos raster em que a posterior foi recortada sobre a delimitação do continente Africano e reclassificados segundo revisão de literatura dos intervalos de aptidão de temperatura e precipitação para o milho e feijão. Após a reclassificação foi utilizado o *Combine* do Sistemas de Informações Geográficas ArcGIS 10.2 para sobrepor os mapas de temperatura e precipitação para determinação do Zoneamento Climático. Assim sendo, no presente estudo foi utilizado a nomenclatura de apto, restrito e inapto.

#### 2.2.2. Meteorológicos

Os dados usados neste estudo consistem nos elementos climáticos de precipitação diária (mm/dia), temperatura máxima (°C) e mínima (°C) diária (0.5°×0.5°) do Grupo de Pesquisa de Hidrologia Terrestre da Universidade de Princeton – PTHRG (SHEFFIELD et al., 2006), que é uma fusão de vários conjuntos de dados, incluindo a Missão de Monitoramento de Precipitação Tropical (TRMM), o Projeto de Climatologia Global por Precipitação (GPCP), a reanálise do Centro Nacional de Previsão Ambiental/Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (NCEP/NCAR) e o conjunto de dados baseado em

estações da Unidade de Pesquisa Climática (CRU), para o período compreendido entre 1976-2005.

### **2.2.3. Dados de rendimento de produção (feijão e milho)**

Foram utilizados dados do rendimento de produção de milho e feijão da região de África, provenientes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>), no período de 1976-2005 para correlacionarem com os índices climáticos extremos de precipitação (CDD, CWD, PRCPTO e RX5DAY) e temperatura (DTR, TNN, TXX, WSDI) provenientes dos dados da Universidade de Princeton.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Zoneamento climático para a cultura do milho

O continente reclassificado segundo Monterroso Rivas et al. (2011) da FAO (1978) para a cultura do milho (*Zea mays*), na qual metade do intervalo com suscetibilidade moderada foi adicionada à classe susceptível e renomeada de apto, a outra metade da classe com suscetibilidade moderada foi adicionada na classe de suscetibilidade limitada e renomeado de restrito e os intervalos de sem suscetibilidade foi renomeada de inapto.

No presente estudo foi utilizado a nomenclatura de apto, restrito e inapto segundo a Tabela 6.

Tabela 19 – Reclassificação da cultura de milho

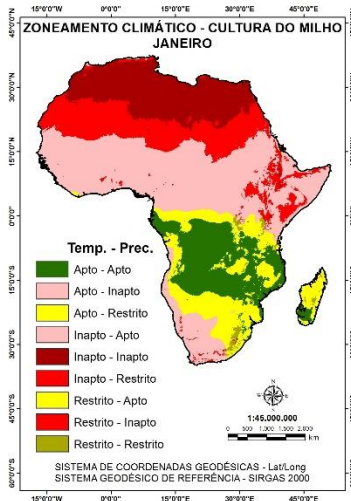
Variável	Classe				
	Inapto	Restrito	Apto	Restrito	Inapto
Temperatura	<14°C	14-19,99°C	20-27,99°C	28-39,99°C	>40°C
Precipitação	<70 mm	70-139,99 mm	140-254,99 mm	255-474,99 mm	>475 mm

Fonte: Monterroso Rivas et al. (2011) da FAO (1978).

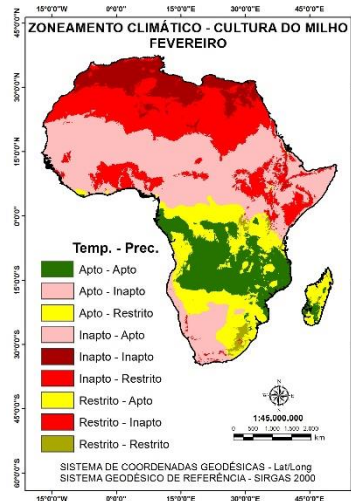
Após reclassificação foi utilizado o *Combine* do Sistemas de Informações Geográficas ArcGIS 10.2 para sobrepor os mapas de temperatura e precipitação para determinação do zoneamento climático para a cultura do milho (*Zea mays*).

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, depois do trigo e do arroz. Deste modo, na África, o milho constitui a base do regime alimentar humano, consumido como milho verde cozido, assado ou na forma de produtos derivados dos grãos secos como farinha para pão, bolos, massas, bebidas tradicionais, óleos, canjica ou acompanhante de outros alimentos (TOMÁS, 2012).

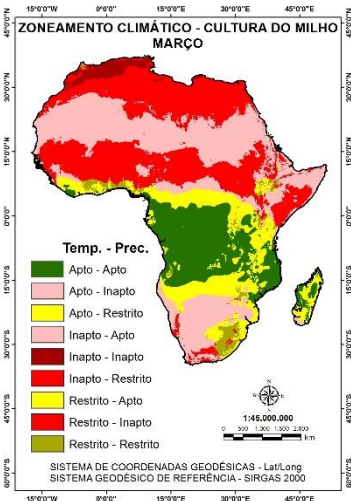
A partir dos resultados da Figura 30 são feitas as seguintes considerações mediante as porcentagens das classes de zoneamento climático em cada mês.



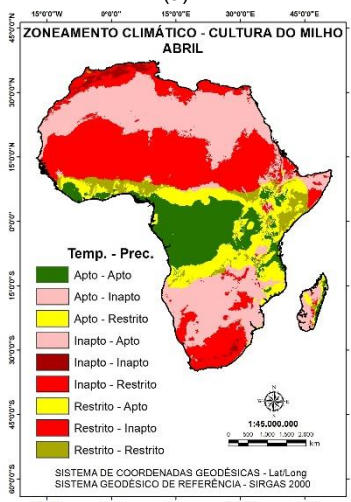
(a)



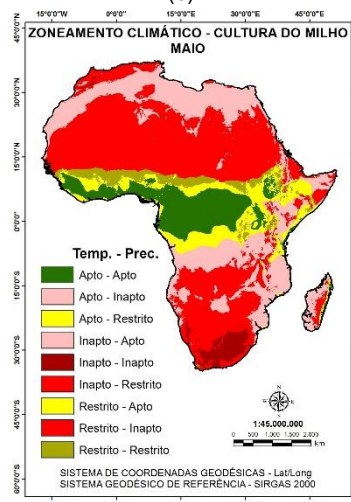
(b)



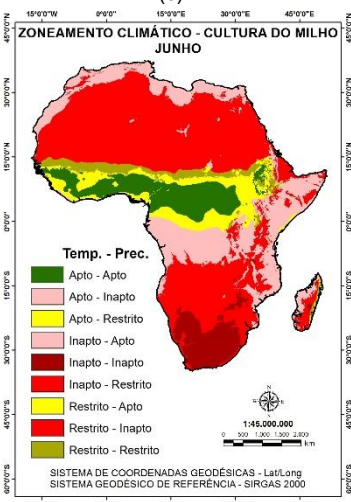
(c)



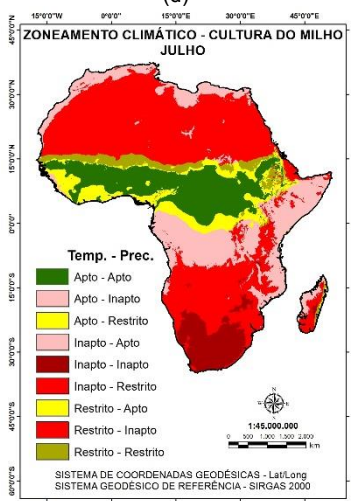
(d)



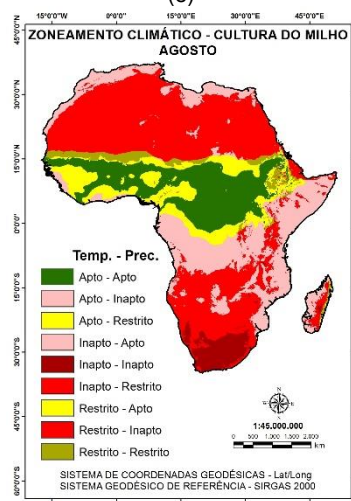
(e)



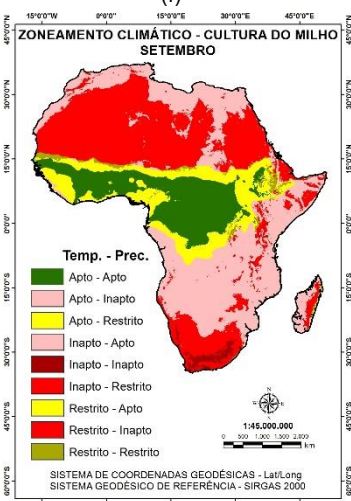
(f)



(g)



(h)



(i)

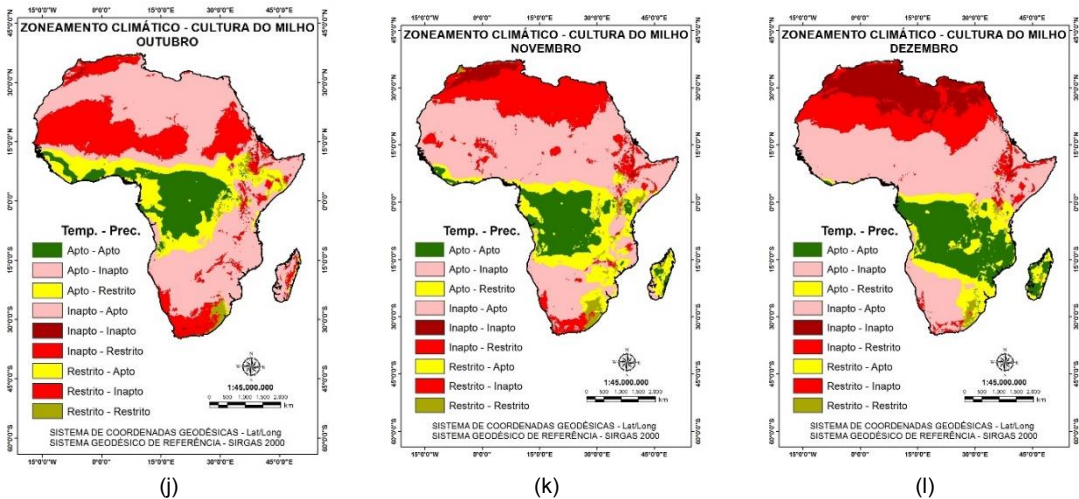


Figura 30 – Zoneamento climático da cultura do milho no período de 1970-2000.

No mês de janeiro as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (37,7%), restrito-inapto (17,5%), inapto-inapto (16,5%), apto-apto (13,9%) e apto-restrito (12,2%). Quanto a posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante a presença da ZCIT.

Para o mês de fevereiro as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (37,8%), restrito-inapto (24,0%), inapto-inapto (8,8%), apto-apto (13,4%) e apto-restrito (13,9%). Também, a posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante a presença da ZCIT.

Para o mês de março as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (32,5%), restrito-inapto (32,0%), inapto-inapto (2,2%), apto-apto (16,4%) e apto-restrito (13,1%). Sendo o mês com maior porcentagem do ano para o apto-apto e sua posição é verificada mediante a presença da ZCIT.

Para o mês de abril as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (34,0%), restrito-inapto (34,2%), inapto-inapto (1,3%), apto-apto (13,5%) e apto-restrito (11,7%). Também, a posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante o deslocamento da ZCIT.

Para o mês de maio as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (34,0%), restrito-inapto (34,2%), inapto-inapto (1,3%), apto-apto (13,5%) e apto-restrito (11,8%). A posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante a deslocação com a presença da ZCIT.

Para o mês de junho as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (21,8,8%), restrito-inapto (49,9%), inapto-inapto (5,9%), apto-apto (9,5%) e apto-restrito (7,9%). A porcentagem do apto-apto atinge o menor valor mensal e a sua posição é verificada mediante o deslocamento da ZCIT para Hemisfério Norte. .

Para o mês de julho as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (20,4%), restrito-inapto (46,6%), inapto-inapto (6,4%), apto-apto (14,4%) e apto-restrito (6,9%). A posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante o deslocamento da ZCIT.

Para o mês de agosto as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (23,5%), restrito-inapto (43,4%), inapto-inapto (3,8%), apto-apto (15,4%) e apto-restrito (9,7%). A posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante o deslocamento da ZCIT para Hemisfério Sul (HS).

Para o mês de setembro as maiores porcentagens destacam-se nas reclassificações apto-inapto (34,8%), restrito-inapto (36,1%), inapto-inapto (1,1%), apto-apto (14,4%) e apto-restrito (11,2%). A posição da porcentagem do apto-apto é verificada mediante a presença da ZCIT no HS.

Para os meses de outubro, novembro e dezembro as maiores porcentagens das reclassificações apto-apto são (10,9%), (11,3%) e (15,9%) respectivamente. As posições das porcentagens do apto-apto são verificadas mediante a presença da ZCIT no HS. Por outro lado, se verifica que o elemento climático mais relevante que afeta a cultura do milho é a precipitação.

### **3.2. Zoneamento climático para a cultura do feijão comum**

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das mais importantes fontes de alimentação, na SSA. Também é considerada uma da mais importante fonte de proteínas na dieta humana e da mais importante fonte de calorias de todos produtos agrícolas. Feijão comum pode ser classificado em feijão de grãos grandes (tipo andino) e feijão de grãos pequenos (tipos meso americanos), dependendo do centro de origem genética a que pertencem. Na maior parte da SSA, existe duas épocas distintas de produção: a época de fevereiro a junho, para usar a humidade residual do solo e tirar proveito de temperaturas

relativamente baixas. O segundo período de produção é de agosto para setembro (Projecto MOREP, 2015).

Os dados foram baseados no Sistemas de Produção da Embrapa Feijão e pelo projecto MOREP (2015) sedado em Moçambique.

Tabela 20 – Reclassificação de dados anuais da cultura de feijão

Variável	Classe				
	Inapto	Restrito	Apto	Restrito	Inapto
Temperatura	<10°C	10-18,99°C	18-30,99°C	30-35,99°C	>35°C
Precipitação	<300 mm	300-420,99 mm	420-1020,99 mm	1020-1200,99 mm	>1200 mm

Fonte: Sistemas de Produção da Embrapa Feijão e pelo projecto MOREP (2015).

Tabela 21 – Reclassificação de dados mensais da cultura de feijão

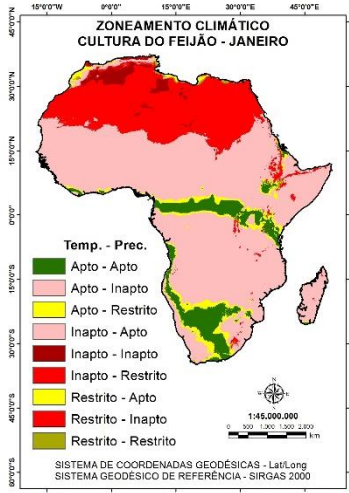
Variável	Classe				
	Inapto	Restrito	Apto	Restrito	Inapto
Temperatura	<10°C	10-18,99°C	18-30,99°C	30-35,99°C	>35°C
Precipitação	< 25mm	25-35,99 mm	35 -85,99 mm	85-100,99 mm	>100 mm

Fonte: Sistemas de Produção da Embrapa Feijão e pelo projecto MOREP (2015).

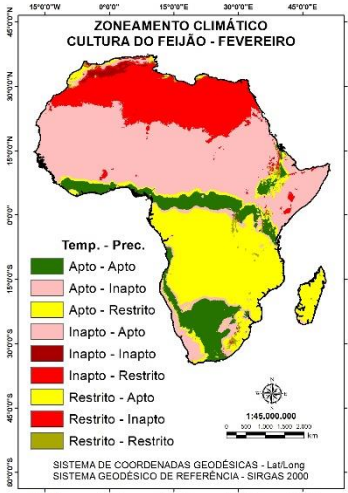
Após reclassificação foi utilizado o *Combine* do Sistemas de Informações Geográficas ArcGIS 10.2 para sobrepor os mapas de temperatura e precipitação para determinação do Zoneamento Climático para a cultura do feijão vulgar.

De forma geral, o zoneamento agroclimático para a cultura de feijão no continente, é afetado bastante pelo elemento climático da precipitação. Tendo porcentagens baixas de apto- apto nos meses junho (4,8%), julho (4,7%) e agosto (5,8%), atingindo porcentagens altas de apto- apto nos meses de fevereiro (10,6%), março (14,1%), abril (11,2%), outubro (14,6%) e novembro (16,3%).

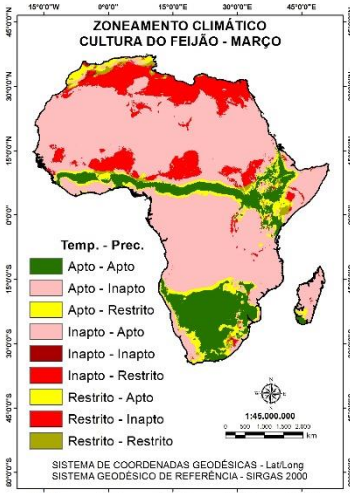
Quanto à posição da mudança da porcentagem apto- apto é verificada que a ZCIT tem influência durante o ano, pelo seu deslocamento de um hemisfério para outro.



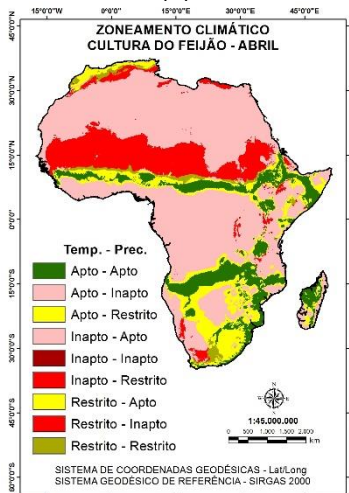
(a)



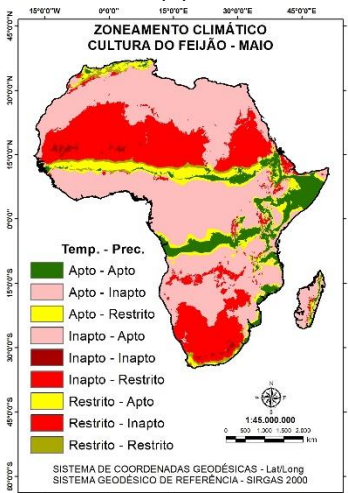
(b)



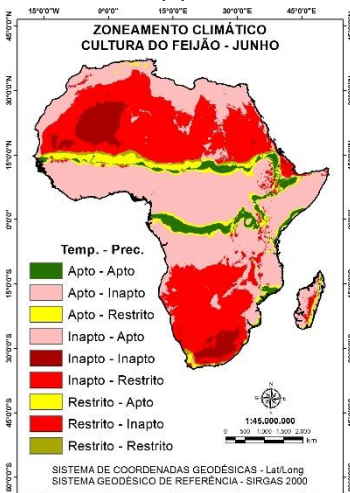
(c)



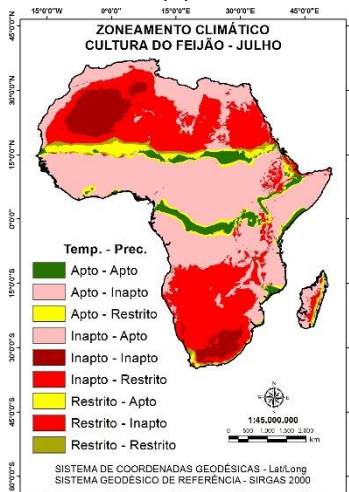
(d)



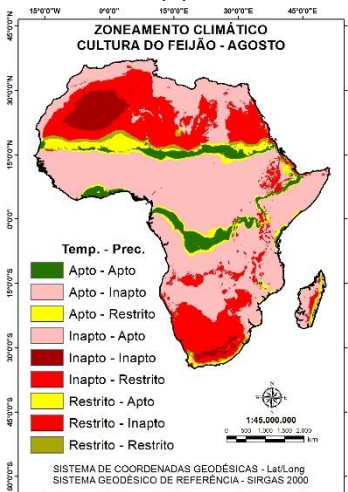
(e)



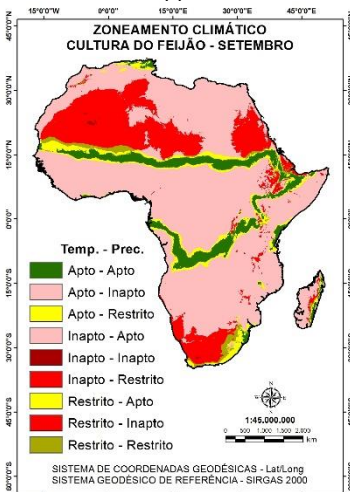
(f)



(g)



(h)



(i)

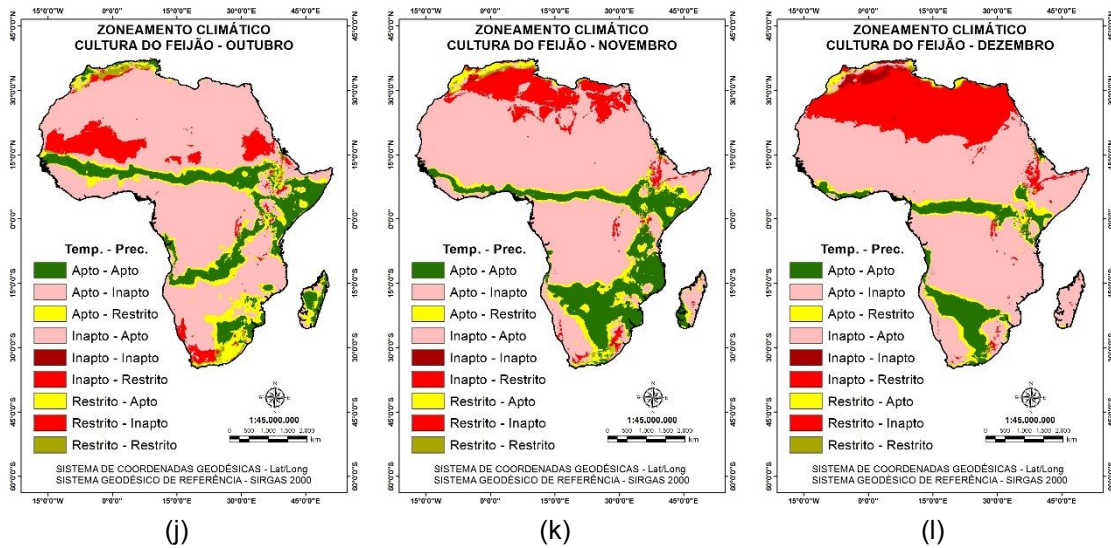
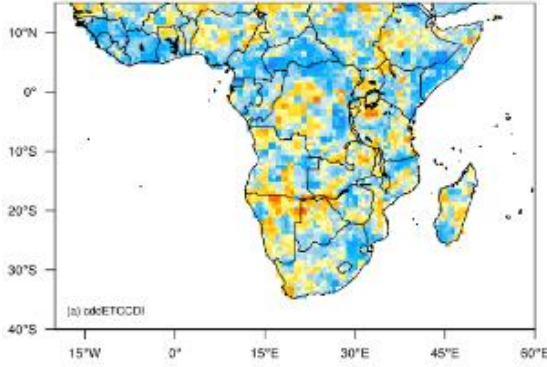


Figura 31 – Zoneamento climático da cultura do feijão comum no período de 1970-2000.

### 3.3. Correlação dos índices atmosféricos com os rendimentos de produção do milho e o feijão no período de 1976-2005

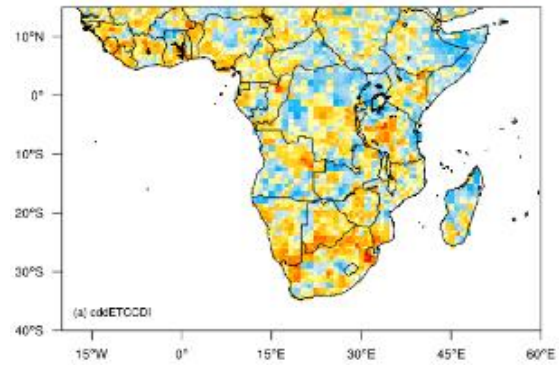
Os padrões espaciais e temporais em relação a correlação dos rendimentos de produtividade de milho e feijão podem ser facilmente encontrados observando a Figura 32.

**Corr - cddETCCDI Milho - 1976-2005**



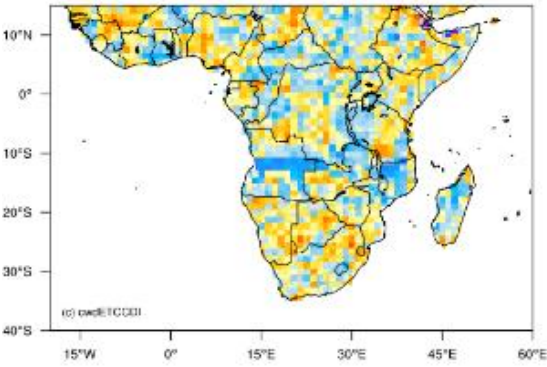
(a)

**Corr - cddETCCDI Feijao - 1976-2005**



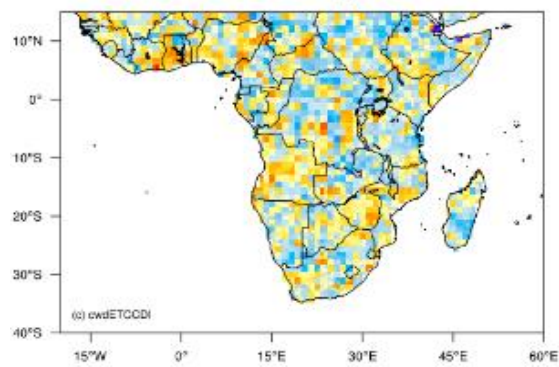
(b)

**Corr - cwdETCCDI Milho - 1976-2005**



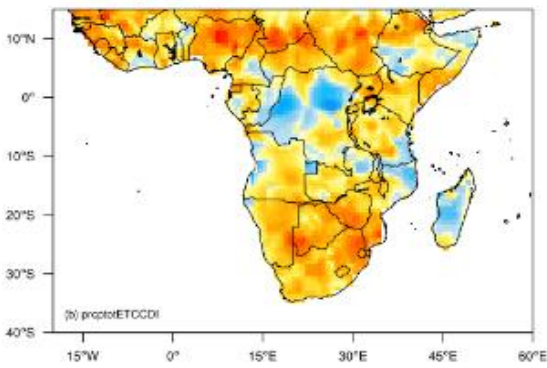
(c)

**Corr - cwdETCCDI Feijao - 1976-2005**



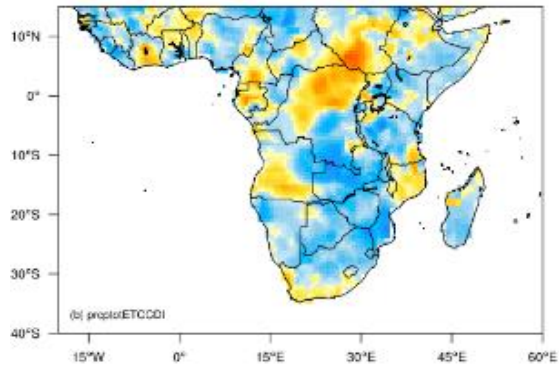
(d)

**Corr - prcptotETCCDI Milho - 1976-2005**



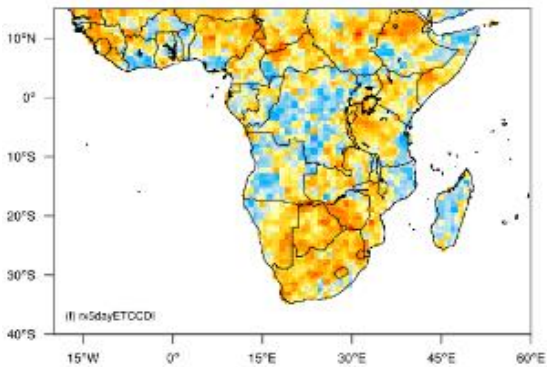
(e)

**Corr - prcptotETCCDI Feijao - 1976-2005**



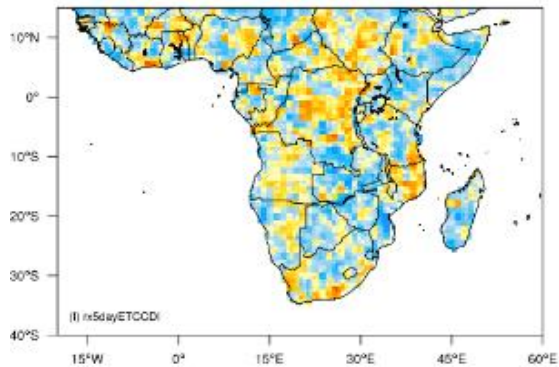
(f)

**Corr - rx5dayETCCDI Milho - 1976-2005**

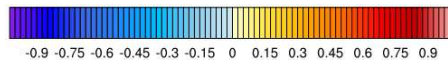


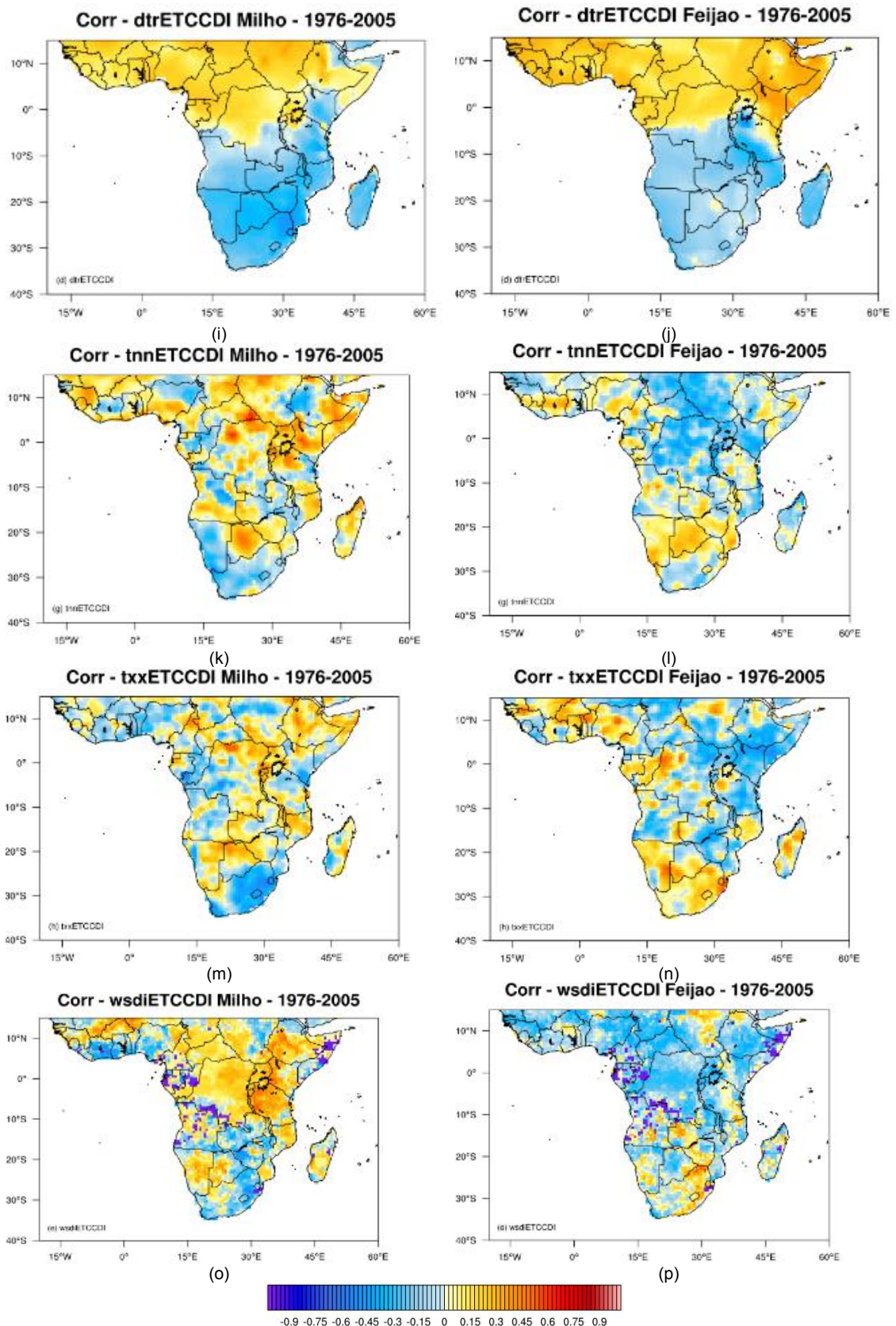
(g)

**Corr - rx5dayETCCDI Feijao - 1976-2005**



(h)





LEGENDA: (a) cdd-Milho, (b) cdd-Feijão, (c) cwd-Milho, (d) cwd-Feijão, (e) prcptot-Milho, (f) prcptot-Feijão, (g) rx5day-Milho, (h) rx5day-Feijão, (i) dtr-Milho, (j) dtr-Feijão, (k) tnn-Milho, (l) tnn-Feijão, (m) txx-Milho, (n) txx-Feijão, (o) wsdI-Milho e (p) wsdI-Feijão.

Figura 32 – Correlações dos índices de dados observado e rendimento de produtividade das culturas de milho e feijão (1976-2005).

### **3.3.1. CCD-milho e feijão**

A Figura 32a apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como a Namíbia, Botswana, Uganda, Ruanda, Etiópia, Nigéria, Ilha de Madagascar, Guine, Tanzânia, RD de Congo, Sudão do Norte, Moçambique, enquanto os restantes territórios se observa que a maior parte apresentam correlações negativas.

A Figura 32b apresenta a correlação do índice climático extremo CDD e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte do território da SSA apresenta correlações positivas, enquanto os territórios de Somália e Uganda se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.2. CWD-milho e feijão**

A Figura 32c apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, norte de Zâmbia e Norte e Centro de Moçambique, centro da Ilha de Madagascar se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32d apresenta a correlação do índice climático extremo CWD e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Tanzânia, Norte da Zâmbia, Norte de Moçambique, Sul da Ilha de Madagascar se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.3. PRCPTOT-milho e feijão**

A Figura 32e apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como RD de Congo, norte de Zâmbia, norte de Moçambique, Ilha de Madagascar se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32f apresenta a correlação do índice climático extremo PRCPTOT e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como no norte de RD Congo, Sudão do Sul, norte de Moçambique, Costa de Marfim, Gabão, sul de Angola, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

#### **3.3.4. RX5DAY -milho e feijão**

A Figura 32g apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, RD de Congo, norte de Moçambique, norte da Somália, centro da Ilha de Madagascar se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32h apresenta a correlação do índice climático extremo RX5DAY e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como RD de Congo, Norte de Moçambique, Sul da África do Sul, centro de Angola, centro de Sudão, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

#### **3.3.5. DTR-milho e feijão**

A Figura 32i apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, sul de RD de Congo, Moçambique, Ilha de Madagascar, Namíbia, Zâmbia, Botswana, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Burundi, Tanzânia, Quênia, Malawi, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32j apresenta a correlação do índice climático extremo DTR e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, sul de RD de Congo, Moçambique, Ilha de Madagascar, Namíbia,

Zâmbia, Botswana, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, Burundi, Tanzânia, Malavi, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.6. TNN-milho e feijão**

A Figura 32k apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como norte de Nigeria, Gabão, Republica de Congo, centro de Moçambique, Namíbia, Zâmbia, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, centro de Tanzânia, oeste de Etiopia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32l apresenta a correlação do índice climático extremo TNN e o rendimento da produtividade do feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como Botswana, centro e sul de Moçambique, Namíbia, Zimbábue, norte da Zâmbia, Costa de Marfim, Nigéria, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

### **3.3.7. TXX-milho e feijão**

A Figura 32m apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Costa de Marfim, Burquina Faso, Gana, Togo, Benin, Nigéria, R de Congo, centro de RD de Congo, Quênia, Tanzânia, centro e sul de Moçambique, Angola, centro de Sudão, África do Sul, Lesoto, Suazilândia, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32n apresenta a correlação do índice climático extremo TXX e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Zimbábue, Etiópia, Quênia, RD de Congo, Zâmbia, Somália, Uganda, Republica Centro Africana, Chade, Libéria, Serra Leoa, Guine, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

### 3.3.8. WSDI-milho e feijão

A Figura 32o apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o rendimento da produtividade do Milho, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território da SSA, enquanto os territórios como a Angola, Serra Leoa, Libéria, Costa de Marfim, Gana, Togo, Benin, Nigéria, Guine Equatorial, Gabão, Zimbábue, África de Sul, Lesoto, Suazilândia, centro de Moçambique, Zâmbia, Somália, se observa que a maior parte apresenta correlações negativas.

A Figura 32p apresenta a correlação do índice climático extremo WSDI e o rendimento da produtividade do Feijão, onde se observa que a maior parte apresenta correlação positiva do território como leste da África de Sul, Lesoto, Suazilândia, Zimbábue, oeste da Zâmbia, leste de Sudão do Norte, enquanto os restantes territórios se observam que a maior parte apresenta correlações negativas.

No geral, a cultura do milho, CDD apresenta correlações mista com tendências negativas na maior parte da região da SSA (Figura 32a), perfazendo correlações positivas em dias úmidos consecutivos (CWD) (Figura 32c), que também é o caso da correlação positiva do PRCPTOT (Figura 32e) e correlação positivas do RX5DAY (Figura 32g). Esse resultado da Figura 10 dita que o milho é bem correlacionado com os índices de precipitação extremos pela sua fraca correlação com CDD.

No geral, a cultura do feijão, o CDD apresenta correlações positivas (Figura 32b), perfazendo correlações positivas em dias úmidos consecutivos (CWD) (Figura 32d), já para a precipitação total é verificado uma diminuição na parte norte e sul da SSA, o mesmo pode-se verificar com o RX5DAY, a cultura de feijão foi bem afetada com o aumento do CDD e com as reduções do CWD e RX5DAY na maior parte da SSA que também é o caso da maioria dos casos (PINTO et al., 2016). Mundialmente as regiões de cultivo de feijão indicam que a precipitação está se agrupando mais fortemente nos períodos úmido e seco, evidenciada por um aumento na variabilidade da precipitação intra-sazonal, o que pode ter implicações para a agricultura de sequeiro, uma vez que afetará a umidade do solo.

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo procurou detalhar da melhor forma com os conceitos ligados ao Zoneamento Agroclimático para as duas culturas de milho e feijão bem como de suas aplicabilidades para a região da SSA, de forma sucinta, sintetizou os principais conceitos teóricos existentes da necessidade das culturas em relação a dados de temperatura e precipitação para a posterior reclassificá-las. Também foi feita as correlações entre as tendências dos índices com os rendimentos da produtividade das duas culturas. Com base nos cálculos das tendências e das correlações foi possível determinar as regiões correlacionadas e afetadas pelos os índices. Os resultados na cultura de feijão demonstram uma forte correlação com os dias consecutivos secos e baixa com a precipitação total anual. Futuramente esta correlação pode influenciar negativamente na produtividade do feijão, porque a maioria de estudos indicam que há fortes tendências do aumento de dias secos e diminuição da precipitação total.

Assim, o diagnóstico das tendências espaciais e temporais dos índices e correlações com mais produtividades de culturas é necessário, principalmente para a tomada de decisão na mitigação dos eventos extremos. De modo geral, os extremos climáticos podem afetar negativamente a produção agrícola, pelo aumento dos dias consecutivos secos e diminuição da precipitação total anual, assim como aumento de dias quentes e frios.

## CONCLUSÃO GERAL

Este estudo analisa como índices climáticos extremos do clima histórico e futuro são representados sobre a região da SSA. A análise foi baseada em um conjunto de dados observados e seis modelos climáticos regionais forçados (também foi acrescentada um conjunto de dados da média dos seis modelos).

Os melhores modelos de precipitação extrema foram CanESM2M, MIROC5, NCEA e de temperatura extrema foram NorESM1-M, NCEA, CanESM2M. Mas média deles foi um resultado plausível. Pelo que podem ser usados em estudos de mudança e impactos climáticos.

As tendências climáticas de extremos de precipitação e temperatura para um período climatológico futuro (2020-2050) sob os cenários de emissão RCP4.5 e RCP 8.5 são comparadas com as condições climáticas históricas (1976-2005). Os extremos climáticos podem afetar negativamente a produção agrícola, pelo aumento dos dias consecutivos secos e diminuição da precipitação total anual, assim como aumento de dias quentes e frios. As simulações baseadas no modelo climáticos CORDEX foram capazes de capturar razoavelmente os padrões climatológicos observados nos índices de precipitação extremas e temperatura extremas durante o período de avaliação de 1976-2005. Vários outros estudos encontraram resultados semelhantes, por exemplo (PINTO et al., 2016; NIKULIN et al., 2012; SILLMANN et al., 2013; ALEXANDER et al., 2017; SHIFERAW et al., 2018).

Nota-se dos resultados do período histórico (1976-2005), para o CDD uma boa concordância entre os modelos e o observado em que projetam aumento de dias consecutivos secos. Para o CWD uma concordância entre as medias dos modelos e o observado em projetam o aumento os dias consecutivos úmidos, apesar de três modelos projetarem diminuição. Para o RX5DAY uma concordância entre as medias dos modelos e o observado em que projetam o aumento de máximo de cinco dias de chuva, apesar de três modelos divergirem. Para o PRCPTOT uma concordância entre as medias dos modelos e o observado em que projetam o aumento da precipitação total anual em dias úmidos, apesar de um modelo divergir. Para o DTR uma divergência entre a média dos modelos e o observado, apesar de dois modelos serem concordantes e quatro divergentes em relação ao observado, é de referir que o observado

projeta um aumento da amplitude térmica diária neste período. Para o TNN uma boa concordância entre os modelos e o observado, em que projetam um aumento do valor mínimo da temperatura mínima diária. Para o TXX uma boa concordância entre os modelos e o observado, em que projetam um aumento no valor máximo da temperatura máxima diária. Para o WSDI uma boa concordância entre os modelos e observado, em representa um aumento de duração do período quente.

Nota-se dos resultados do período futuro (2020-2050), para o CDD sob RCP 4.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam aumento de dias consecutivos secos, apesar de um modelo divergir com os demais modelos e sob RCP 8.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição de dias consecutivos secos, apesar de dois modelos projetarem aumento. Para o CWD uma concordância entre as medias dos modelos e a maioria dos modelos, em projetam a diminuição dos dias consecutivos úmidos, apesar de um modelo projetar aumento do CWD e sob RCP 8.5 uma concordância da média dos modelos e a maioria dos modelos em que projetam aumento dos dias consecutivos úmidos, apesar de dois modelos projetarem diminuição do CWD. Para o RX5DAY sob 4.5 uma concordância entre as medias dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam o aumento de máximo de cinco dias de chuva, apesar de três modelos divergirem e sob RCP 8.5 uma divergência entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que a maioria dos modelos projetam aumento do RX5DAY e a média dos modelos representa diminuição do RX5DAY. Para o PRCPTOT sob RCP 4.5 uma concordância entre as medias dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição da precipitação total anual em dias úmidos, apesar de dois modelos representarem um aumento de PRCPTOT e sob RCP 8.5 uma boa concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam um aumento do PRCPTOT. Para o DTR sob 4.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que projetam uma diminuição da amplitude térmica diária, apesar de dois modelos representarem um aumento de DTR e sob RCP 8.5 uma concordância entre a média dos modelos e a maioria dos modelos, em que representam uma diminuição da amplitude térmica diária, apesar de dois modelos representarem um aumento de DTR. Para o TNN, TXX, WSDI sob RCP

4.5 e RCP 8.5 uma boa concordância entre a média dos modelos e os modelos, em que projetam um aumento do valor mínimo da temperatura mínima diária, valor máximo da temperatura máxima diária, duração do período quente.

Prevê-se aumento dos dias consecutivos secos e diminuição da precipitação total anual, assim como aumento de dias quentes e frios, sob o RCP8.5. No entanto, comparações de índices climáticos extremos projetados até 2020-2050 com um período de referência de 1976-2005 sob o RCP8.5, os índices extremos de precipitação (PRCPTOT, RX5DAY e CWD) e temperatura (TNN, TXX, WSDI) devem aumentar na parte leste, sul, central e oeste da SSA e mudar apenas ligeiramente sobre o resto da região.

## REFERÊNCIAS

- ABEBE, M. A. Climate change, gender inequality and migration in East Africa. **Wash. J. Env'tl. L. & Pol'y**, 4, 104, 2014.
- ADZAWLA, W., SAWANEHANDA, M., YUSUF, M. Greenhouse gasses emission and economic growth nexus of sub-Saharan Africa. **Scientific African**, 3, e00065, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00065>
- ALEMSEGED, T.H.; TOM, R. Avaliação de simulações de modelos climáticos regionais de precipitação sobre a bacia do Alto Nilo Azul. **Atmos. Res.**, v. 161, p. 57-64, 2015.
- ALEXANDER, L.V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J. Geophys. Res.**, v. 111, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
- ALEXANDER, L.V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 4-16, 2016.
- AWOJOBI, O. The impacts of climate change in Africa: a review of the scientific literature. **JOURNAL OF INTERNATIONAL ACADEMIC RESEARCH FOR MULTIDISCIPLINARY**, (2017).
- BANCO MUNDIAL. **World development report 2008**: agriculture for development. Washington, DC, 2007.
- BHOWMIK, A.K.; COSTA, A.C. A geostatistical approach to the seasonal precipitation effect on boro rice production in Bangladesh. **Int. J. Geosci.**, v. 3, n. 3, p. 443-462, 2012. doi:10.4236/ijg.2012.33048.
- BHOWMIK, A.K.; CABRAL, P. Space-time variability of summer temperature field over Bangladesh during 1948-2007. In: MURGANTE, B.; MISRA, S.; CARLINI, M.; TORRE, C.M.; NGUYEN, H.; TANIAR, D.; APDUHAN, B.O.; GERVASI, O. Computational science and its applications – ICCSA 2013. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 120-135, 2013. doi:10.1007/978-3-642-39649-6\_9.
- BRONAUGH, D. 2015. climdex.pcic: PCIC Implementation of Climdex Routines. R package version 1.1-6. <https://CRAN.R-project.org/> package=climdex.pcic (accessed 22 July 2017)
- CAI, W.; BORLACE, S.; LENGAINNE, M.; RENSCH, P.; COLLINS, M.; VECCHI, G.; TIMMERMANN, A.; SANTOSO, A.; McPHADEN, M.J.; WU, L.; ENGLAND, M.H.; WANG, G.; GUILYARDI, E.; JIN, F.F. (2014) Increasing frequency of extreme El Nino events due to greenhouse warming. **Nature Climate Change Letters**, v. 4, p. 111-116, 2014. doi:10.1038/NCLIMATE2100.

CALZADILLA, A.; ZHU, T.; REHDANZ, K.; TOL, R.S.J.; RINGLER, C. Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa. **Ecological Economics**, v. 93, p. 150-165, 2013.

CATTANI, E.; MERINO, A.; GUIJARRO, J.A.; LEVIZZANI, V. East Africa rainfall trends and variability 1983-2015 using three long-term satellite products. **Remote Sens.**, v. 10, n. 6, p. 931, 2018. doi:10.3390/rs10060931.

CHEN, W.L.; JIANG, Z.H.; LI, L. Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B scenario using 28 AOGCMs. **J. Clim.**, v. 24, n. 17, p. 4741-4756, 2011.

CSIRO. The State of the Climate Report. Australian Government. **Bureau of Meteorology**, Australia (2014)

DANTAS, L.G.; SANTOS, C.A.C.S.; OLINDA, R.A. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 423-434, 2015.

DASH, S.K.; SHARMA, N.; PATTNAYAK, K.C.; GAO, X.J.; SHI, Y. Temperature and precipitation changes in the north-east India and their future projections. **Glob. Planet. Change**, v. 98, p. 31-44, 2012. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.07.006.

DEZFULI, U. Climate of western and central equatorial Africa. **Oxford Research Encyclopedia of Climate Science**, 2017. doi:10.1093/acrefore/9780190228620.013.511

DIETZ, T. Migration to and from dry areas in Kenya. Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie = **Journal of Economic and Social Geography** = Revue De Geographie Economique Et Humaine = Zeitschrift Fur Okonomische Und Soziale Geographie = Revista De Geografia Economica Y Social, 77(1), 18–26, 1986.

DIXON, J.; GULLIVER, A.; GIBBON, D. Farming systems and poverty. Rome, **Italy: Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Bank**, 2001.

EZRA, M., & KIROS, G.-E. Rural Out-Migration in the Drought Prone Areas of Ethiopia: A Multilevel Analysis. **The International Migration Review**, 35(3), 749–771, 2001.

FALCHETTA, G, GERNAAT, D. E. H. J., HUNT, J., STERL, S. Hydropower dependency and climate change in sub-Saharan Africa: A nexus framework and evidence-based review. **Journal of Cleaner Production**, ISSN: 0959-6526, Vol: 231, Page: 1399-1417, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.263>

FEDDEMA, J. J. Estimated impacts of soil degradation on the African water balance and climate. **Climate Research**, 10(2), 127–141, 1998.

FOLAMI, O. Climate Change and Inter-Ethnic Conflict in Nigeria. **Peace Review**, 25, 104–110, 2013. <https://doi.org/10.1080/10402659.2013.759783>

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Report of the agro-ecological zones project. Methodology and results for Africa.** Rome, 1978. 158 p. (World Soil Resources Report, 48).

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Fertilizer requirements in 2015 and 2030.** Rome, 2000. <<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/barfinal.pdf> [Geo-2-166]>.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **The state of food and agriculture: women in agriculture. Closing the Gender gap for Development.** Rome, 2011.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition.** Rome, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Right to food.** Rome, 2016. <<http://www.fao.org/human-right-to-food/en/>>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Online statistical database.** Rome, 2018.

GEMEDA, D. O., & SIMA, A. D. The impacts of climate change on African continent and the way forward. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, 7(10), 256–262, 2015.

GIORGI, F.; JONES, C.; ASRAR, G.R. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. **WMO Bulletin**, v. 3, n. 58, p. 175-183, 2009.

GIZAW M, GAN TY. Impact of climate change and El Niño Episodes on droughts in sub-Saharan Africa. **Clim Dyn** 49:665, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3366-2>

GIZAW, M.S.; BIFTU, G.F.; GAN, T.Y. et al. Potential impact of climate change on streamflow of major Ethiopian rivers. **Climatic Change**, v. 143, n. 3-4, p. 371-383, 2017. [doi.org/10.1007/s10584-017-2021-1](https://doi.org/10.1007/s10584-017-2021-1).

GUO X.; HUANG, J.; LUO, Y.; ZHAO, Z.; XU, Y. Projection of precipitation extremes for eight global warming targets by 17 CMIP5 models. **Nat. Hazards**, v. 84, p. 2299-2319, 2016. [doi.org/10.1007/s11069-016-2553-0](https://doi.org/10.1007/s11069-016-2553-0).

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

IPCC, 2012: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.(2012)

IPCC. Climate Change 2013: **The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2013)

IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Climate change 2014: **Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi YL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA. pp 1–32

JIANG, Z.; SONG, J.; LI, L.; CHEN, W.; WANG, Z.; WANG, J. Extreme climate events in China: IPCC-AR4 model evaluation and projection. **Clim. Change**, v. 110, n. 1-2, p. 385-401, 2012. doi:10.1007/s10584-011-0090-0.

JIANG, Z.; LI, W.; XU, J.; LI, L. Extreme precipitation indices over China in CMIP5 models. Part I: model evaluation. **J. Clim.**, v. 28, p. 8603-8619, 2015.

KHARIN, V.V.; ZWIERS, F.W.; ZHANG, X.; WEHNER, M. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. **Clim. Chang.**, v. 119, p. 345-357, 2013. doi.org/10.1007/s10584-013-0705-8.

KLING, H., STANZEL, P., PREISHUBER, M. Impact modelling of water resources development and climate scenarios on Zambezi river discharge. **J. Hydrol.: Reg. Stud.**, 1, pp. 17-43, 2014.

KURUKULASURIYA, P.; MENDELSON, R.; HASSAN, R.; BENHIN, J.; DERESSA, T.; DIOP, M.; EID, H.M.; FOSU, K.Y.; GBETIBOUO, G.; JAIN, S.; MAHAMADOU, A.; MANO, R.; KABUBO-MARIARA, J.; EL-MARSAFAWY, S.; MOLUA, E.; OUDA, S.; OUEDRAOGO, M.; SE'NE, I.; MADDISON, D.; SEO, S.N.; DINAR, A. Will African agriculture survive climate change? **The World Bank Economic Review**, v. 20, n. 3, p. 367-388, 2006.

LOBELL, D.B.; FIELD, C.B. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. **Environ. Res. Lett.**, v. 2, 2007.

MACAULEY, H.; RAMADJITA, T. Cereal crops: rice, maize, millet, sorghum and wheat. In: ABDOU DIOUF INTERNATIONAL, Dakar, Senegal, 2015. **Proceedings...** Dakar, Senegal, 2015.

MADDISON, D. **The perception of and adaptation to climate change in Africa**. Washington, DC: The World Bank, 2007. (Development Research Group. Sustainable Rural and Urban Development Team). <[http://papers.ssrn.com/sol3/Papers.cfm?abstract\\_id=1005547](http://papers.ssrn.com/sol3/Papers.cfm?abstract_id=1005547)>.

MAHLSTEIN, I.; SPIRIG, C.; LINIGER, M.A.; APPENZELLER, C. Estimating daily climatologies for climate indices derived from climate model data and observations. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 120, p. 2808-2818, 2015. doi:10.1002/2014JD022327.

MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C.; OBREGON, G.O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **Clim. Res.**, v. 57, p. 61-72, 2013. doi:10.3354/cr01160.

MASON, S.J.; GODDARD, L. Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. **AMS, BAMS**, v. 82, n. 4, p. 619-638, 2001.

MONTERROSO RIVAS, A.I.; CONDE ÁLVAREZ, C.; ROSALES DORANTES, G. Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. **Atmósfera**, v. 24, p. 53-67, 2011.

MTONGORI, H.I.; STORDAL, F.; BENESTAD, R.E.; MOURICE, S.K.; PEREIRA-FLORES, M.E.; JUSTINO, F. Impacts of climate and farming management on maize yield in southern Tanzania. **African Crop Science Journal**, v. 23, n. 4, p. 399-417, 2015.

NAVEENDRAKUMAR, G., VITHANAGE, M., KWON, H.H., CHANDRASEKARA, S.S.K., IQBAL, M.C.M., PATHMARAJAH, S., FERNANDO, W.C.D.K., OBEYSEKERA, J., 2019. South Asian perspective on temperature and rainfall extremes: a review. **Atmos.Res.** 225,110-20. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.021>.

NIANG I, RUPPEL O C, ABDRABO M A, ESSEL A, LENNARD C, PADGHAM J, URQUHART P (2014) Africa. In: Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge

NICHOLSON, S.E. The nature of rainfall variability in Africa South of the Equator. **Journal of Climatology**, v. 6, n. 5, p. 515-530, 1986.

OBEYSEKERA, J., PARK, J., IRIZARRY-ORTIZ, M., TRIMBLE, P., BARNES, J., VANARMAN, J., Said, W., Gadzinski, E. Past and Projected Trends in Climate and Sea Level for South Florida, South Florida Water Management District West Palm Beach, FL (2011)

OMONDI, P.A.; AWANGE, J.L.; FOROOTAN, E.; OGALLO, L.A.; BARAKIZA, R.; GIRMAW, G.B.; FESSEHA, I.; KULULETERA, V.; KILEMBE, C.; MBATI, M.M.; KILAVI, M.; KING'UYU, S.M.; OMENY, P.A.; NJOGU, A.; BADR, E.M.; MUSA, T.A.; MUCHIRI, P.; BAMANYA, D.; KOMUTUNGA, E. Changes in temperature and precipitation extremes over the Greater Horn of Africa region from 1961 to 2010. **Int. J. Climatol.**, v. 34, p. 1262-1277, 2014. doi.org/10.1002/joc.3763.

ONGOMA, V.; CHEN, H.; GAO, C. et al. Future changes in climate extremes over Equatorial East Africa based on CMIP5 multimodel ensemble. **Nat. Hazards**, v. 90, p. 901, 2018. doi.org/10.1007/s11069-017-3079-9.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Perspectivas do meio ambiente mundial**: passado, presente e futuro. New York, NY, 2004. (Desastres, 2).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Divisão de População do Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. **World population prospects: the 2010 revision**. New York, NY, 2011a.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Fundo de População das Nações Unidas. **Relatório sobre a situação da população mundial 2011: pessoas e possibilidades em um mundo de 7 bilhões**. New York, NY, 2011b.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA – OMM. **Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2012)**. 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Estado do meio ambiente e retrospectivas políticas: 1972-2002**. New York, NY, 2014.

PROJETO MOREP. **Feijão vulgar**: Benefícios para os agricultores envolvidos numa produção orientada para o mercado. 2015. <[http://oar.icrisat.org/9024/2/Flyer\\_Common%20Bean\\_Portuguese.pdf](http://oar.icrisat.org/9024/2/Flyer_Common%20Bean_Portuguese.pdf)>.

RAHMATO, D. Famine and survival strategies: a case study from Northeast Ethiopia. **Uppsala: Nordiska Afrikainstitutet**, 1991.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

SERDECZNY, O., ADAMS, S., BAARSCH, F. et al. Reg Environ Change (2017) 17: 1585. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0910-2>

SCHLENKER, W.; LOBELL, D.B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. **Environmental Research Letters**, v. 5, 2010.

SHONGWE, M.E.; VAN OLDENBORGH, G.J.; VAN DEN HURK, B.; VAN AALST, M. Projected changes in mean and extreme precipitation in Africa under global warming. Part II: East Africa. **J. Clim.**, v. 24, p. 3718-3733, 2011. [doi.org/10.1175/2010JCLI2883.1](https://doi.org/10.1175/2010JCLI2883.1).

SILLMANN, J.; KHARIN, V.V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: part 1. Model evaluation in the present climate. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 118, p. 1716-1733, 2013a. [doi.org/10.1002/jgrd.50203](https://doi.org/10.1002/jgrd.50203).

SILLMANN, J.; KHARIN, V.V.; ZWIERS, F.W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: part 2. Future climate projections. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 118, p. 2473-2493, 2013b. [doi.org/10.1002/jgrd.50188](https://doi.org/10.1002/jgrd.50188).

SONKOUÉ, D., MONKAM, D., FOTSO-NGUEMO, T.C. et al. **Theor Appl Climatol** (2019) 137: 2167. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2729-5>

STEFFEN, W., Hughes, L., Perkins, S. Heatwaves: Hotter, Longer, More often Climate Council of Australia Limited (2014)

TARIKU, T.B.; GAN, T.Y. Regional climate change impact on extreme precipitation and temperature of the Nile river basin. **Clim. Dyn.**, 2018. doi.org/10.1007/s00382-018-4092-8.

TIQUE, A.T. **Análise da climatologia dinâmica da variabilidade da precipitação na região Sudeste da África**. São Paulo, SP: USP, 2015.

TODD, M. Tropical-temperate links in southern African and Southwest Indian Ocean satellite-derived daily rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 19, n. 14, p. 1601-1616, 1999.

TOMÁS, D.F. **Caracterização dos sistemas informais de armazenamento de variedades locais de milho (*Zea mays* L.) das regiões do Huambo e Huíla de Angola e influência na conservação in situ on-farm**. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99350/302472.pdf?sequence=1>>.

TYSON, P.D.; PRESTON-WHYTE, R.A. **Weather and climate of Southern Africa**. Oxford University Press, 2000.

UN CLIMATE CHANGE LEARNING PARTNERSHIP - UN CC:Learn. Resource Guide for Advanced Learning on Predicting and Projecting Climate Change. UNITED NATIONS INSTITUTE FOR TRAINING AND RESEARCH - **UNITAR**, 2015. Disponível em: <[https://www.uncclearn.org/sites/default/files/guide\\_predicting\\_and\\_projecting.pdf](https://www.uncclearn.org/sites/default/files/guide_predicting_and_projecting.pdf)>. Acesso em: jan. 2018.

WASHINGTON, R.; PRESTON, A. Extreme wet years over southern Africa: role of Indian Ocean sea surface temperatures. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 111, n. D15, 2006.

WESTING, A. Population, Desertification, and Migration. **Environmental Conservation**, 21, 110–4, 1994. <https://doi.org/10.1017/S0376892900024528>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2013: The Physical Science Basis**. Disponível em: <[http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uu\\_S5z1dUVm](http://ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uu_S5z1dUVm)>. Acesso em: jan. 2014.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. **UNESCO**, Paris, 2012.

YANG, W.; SEAGER, R.; CANE, M.A.; LYON, B. The East African long rains in observations and models. **J. Clim.**, v. 27, p. 7185-7202, 2014. doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00447.1.

YOU, Q.; JIANG, Z.; WANG, D.; PEPIN, N.; KANG, S. Simulation of temperature extremes in the Tibetan Plateau from CMIP5 models and comparison with gridded observations. **Climate Dynamics**, 2017. doi:10.1007/s00382-017-3928-y.

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theor. Appl. Climatol.**, 2015. doi:10.1007/s00704-015-1391-4.

ZENDER, C. NCO User Guide. Departments of Earth System Science and Computer Science University of California, **Irvine**. USA. 2019.

ZENG, R., CAI, X., RINGLER, C., ZHU, T. Hydropower versus irrigation analysis of global patterns. **Environ. Res. Lett.**, 12 (2017)

ZHANG, X.; YANG, F. **RCLIMDEX (1.0) user guide**. Downsview, ON: Climate Research Branch Environment Canada, 2004.