

# Projeções Climáticas em Angola

*João Careto*



# Índice

<b>Índice de Tabelas e Figuras .....</b>	<b>4</b>
Tabelas .....	4
Figuras .....	4
<b>Introdução.....</b>	<b>7</b>
<b>Dados e Metodologia .....</b>	<b>11</b>
CORDEX-Africa .....	11
Índices climáticos .....	13
<b>Projeções Climáticas e Breve Discussão.....</b>	<b>17</b>
<b>Considerações finais.....</b>	<b>38</b>
<b>Referências .....</b>	<b>40</b>

# Índice de Tabelas e Figuras

## Tabelas

Tabela 1 Modelos regionais do CORDEX-Africa usados neste estudo. ....	12
Tabela 2 Classificação do Índice de Aridez. ....	15
Tabela 3 Sumário dos índices e extremos utilizados neste estudo. ....	16

## Figuras

Figura 1 (a) Temperatura máxima diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura máxima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	19
Figura 2 (a) Percentil 90 da temperatura máxima para o período histórico (1971-2000) e diferenças do percentil 90 da temperatura máxima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	20
Figura 3 (a) Temperatura média diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura média entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	21
Figura 4 (a) Temperatura mínima diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura mínima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	22
Figura 5 (a) Percentil 10 da temperatura mínima para o período histórico (1971-2000) e diferenças do percentil 10 da temperatura mínima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	23
Figura 6 (a) Número de dias com a temperatura máxima acima dos 35 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças número de dias com a temperatura máxima acima dos 35 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. ....	24



Figura 7 (a) Número máximo de dias consecutivos com a temperatura máxima acima dos 35 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número máximo de dias consecutivos com a temperatura máxima acima dos 35 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 25

Figura 8 (a) Número médio onda de calor por ano para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número médio onda de calor por ano entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. A escala de cores no topo corresponde à figura (a) e a escala de cores em baixo às figuras b-e. .... 26

Figura 9 (a) Número médio de dias consecutivos por ano em onda de calor para o período histórico (1971-2000) e diferenças número média de dias consecutivos por ano em onda de calor entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. A escala de cores no topo corresponde à figura (a) e a escala de cores em baixo às figuras b-e. .... 26

Figura 10 (a) Número de noites tropicais onde a temperatura mínima excede os 20 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças no Número de noites tropicais onde a temperatura mínima excede os 20 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 27

Figura 11 (a) Precipitação total acumulada média anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças na precipitação total acumulada média anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 28

Figura 12 (a) Percentil 95 da precipitação diária média anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças no percentil 95 da precipitação diária média anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 29

Figura 13 (a) Número de dias com precipitação superior a 1 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias com precipitação superior a 1 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 30

Figura 14 (a) Número de dias com precipitação forte superior a 20 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias com precipitação forte superior a 20 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 31

Figura 15 (a) Número de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como

as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 32

Figura 16 Diferenças no valor médio do índice SPI entre os períodos (a) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (b) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (d) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). As anomalias para os vários períodos futuros são calculadas tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses. .... 33

Figura 17 (a) Frequência dos eventos de seca por década para o período histórico (1971-2000) e diferenças na frequência dos eventos de seca por década entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses. .... 34

Figura 18 (a) Duração média dos eventos de seca para o período histórico (1971-2000) e diferenças na duração média dos eventos de seca entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses. .... 35

Figura 19 (a) Evapotranspiração acumulada anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças na Evapotranspiração acumulada anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. .... 36

Figura 20 (a) Índice de aridez para o período histórico (1971-2000) e diferenças no índice de aridez entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses. .... 37

## Introdução

De acordo com os dois últimos relatórios de avaliação do Painel Internacional para as Alterações Climáticas (International Panel for Climate Change, IPCC na sua sigla em inglês) e inúmeros estudos, o continente africano é um dos mais vulneráveis às alterações climáticas, apesar de historicamente ter contribuído pouco em termos de emissões de gases com efeito de estufa (Carabine et al., 2014; de Sherbinin, 2014; Stocker et al., 2014; Masson-Delmotte et al., 2021). Niang et al (2014) descreve no 5º relatório do IPCC que durante os últimos 100 anos a temperatura na maioria das regiões africanas aumentou 0.5 °C, enquanto as tendências de precipitação neste período não são significativas, principalmente devido à falta de observações. Cumulativamente, o continente africano possui a maior taxa de crescimento populacional (UN, 2022), o que constitui um desafio adicional ao longo do século XXI em termos de governação, gestão dos recursos naturais (por exemplo, segurança hídrica e alimentar, biodiversidade), energia e adaptação a eventos extremos, como secas, ondas de calor e inundações (Pelling e Wisner, 2009). No 6º relatório de avaliação do IPCC, os cientistas estabeleceram uma ligação clara entre as atividades humanas e o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, nomeadamente temperaturas extremas e secas, e alertaram para o facto de que a capacidade de adaptação do continente africano estar a ser levado ao seu limite, pressionando a urgência na implementação de estratégias de mitigação global e de adaptação regional a local.

Angola, na região sudoeste de África, é vista como um *hotspot* de alterações climáticas, enfrentando um grande desafio social devido à sua elevada vulnerabilidade e exposição às alterações climáticas. Isto deve-se cumulativamente às grandes alterações climáticas regionais e decorrentes impactos sectoriais esperados, aos elevados níveis de pobreza e às condições dos agregados familiares, ao baixo nível de preparação e resiliência a essas alterações e aos extremos climáticos, mas também ao número reduzido de estudos de avaliação das alterações climáticas centrados no seu território. Angola é caracterizada por climas regionais complexos, que são impulsionados por uma mistura de processos climáticos globais, tropicais, temperados e locais (Reason et al., 2006). As chuvas são cruciais para a economia regional, que apoia a agricultura e a produção de energia hidroelétrica (Bank, 2019). Em geral, Angola é caracterizada por verões quentes e húmidos e invernos amenos e secos (Munday e Washington, 2017); o seu clima é influenciado pela corrente de leste de Benguela (Eastern Boundary Current, EBC na sua sigla em inglês); o planalto central; e o movimento da Zona de Convergência Intertropical (Intertropical Convergence Zone, ITCZ na sua sigla em inglês). Em conjunto, estas características geram um forte gradiente climático norte-sul. O Nordeste é a região mais húmida, enquanto no Sul e Oeste prevalecem condições secas e áridas (Hirst e Hastenrath, 1983). As regiões costeiras são influenciadas por um jato persistente de vento de baixa altitude (Benguela Coastal Low-Level Jet, CLLJ na sua sigla em inglês), que ocorre nos primeiros 1000 m acima do nível do mar, e está associado ao sistema EBC de Benguela (Patricola e Chang, 2017; Lima et al., 2018; 2019a; 2019b; 2022). O seu desenvolvimento está associado à presença do sistema semipermanente de alta pressão de Santa Helena sobre o oceano e de uma baixa térmica no interior (Lima et al., 2019a). A presença deste jato costeiro, em que o vento é

predominantemente paralelo à linha de costa, limita a advecção do ar marítimo para o interior, contribuindo para a aridez ao longo da EBC de Benguela. O CLLJ de Benguela caracteriza-se por dois máximos locais de frequência de ocorrência, a 17.5 °S (sudoeste de Angola) e a 26 °S.

De acordo com o 5º e 6º relatórios de avaliação do IPCC, as taxas observadas e projetadas de alterações climáticas apontam para um aumento da frequência e severidade de eventos extremos húmidos e secos em todo o sudoeste de África, e é altamente provável que o aquecimento se intensifique ao longo do século XXI. Consequentemente, prevê-se que um aumento da seca agrícola e ecológica afete crescentemente as populações locais. De acordo com os cenários de emissões futuras intermédio e mais gravoso, projeta-se um aumento significativo da temperatura máxima e mínima, forçado também por um intenso aquecimento radiativo no interior, ao longo do século XXI (Laprise et al., 2013; Dosio et al., 2015; Dosio e Panitz, 2016; Carvalho et al., 2017). Em resultado, é projetada uma intensificação dos eventos extremos, como um aumento do número de dias e noites quentes, da duração e intensidade das ondas de calor (Dosio e Panitz, 2016; Giorgi et al., 2014), e uma intensificação das secas (Carvalho et al., 2017). No que diz respeito à precipitação, projeta-se uma diminuição global, mais forte na região sul de Angola (Carvalho et al., 2017; Laprise et al., 2013; Mariotti et al., 2014). Além disso, prevê-se uma deslocação para sul da posição média do sistema de alta pressão de Santa Helena sob um clima mais quente, levando a uma redução da corrente ao largo da costa sudoeste de Angola e, consequentemente, projeta-se um aumento da temperatura da superfície do mar; o que resulta numa redução dos eventos de afloramento costeiro (Wang et al., 2015) e subseqüentemente numa diminuição projetada da frequência de ocorrência do CLLJ de Benguela nesta região (Lima et al., 2019b). Os estudos anteriores apresentam algumas limitações, como a utilização de um número reduzido de modelos climáticos regionais, a maioria deles incluindo apenas um cenário de emissões (RCP8.5), e a não avaliação da evolução futura das secas e das suas ressonâncias com a ocorrência de temperaturas extremas, ou seja, o evento composto relacionado (seca/ondas de calor), que é considerado uma das principais ameaças à sociedade angolana. Além disso, a maioria dos estudos centra-se no continente africano como um todo, não avaliando as futuras alterações em Angola.

O *Coordinated Regional Downscaling Experiment* (CORDEX na sua sigla em inglês) para o domínio de África (CORDEX-África) é ainda hoje o maior conjunto de dados de modelação climática regional de última geração disponível para compreender o clima africano (Hewitson et al., 2012), avaliar as alterações futuras e os impactos sectoriais no contexto do aquecimento global. No âmbito do CORDEX-África, um conjunto de modelos climáticos regionais (RCMs) foram utilizados para realizar *downscaling* da reanálise ERA-Interim (Dee et al., 2011) e de Modelos Climáticos Globais (Global Climate Models, GCMs na sua sigla em inglês) do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5 na sua sigla em inglês) para gerar informação climática regional à escala continental (Giorgi et al., 2009). Vários estudos focaram-se na avaliação e análise da climatologia atual do conjunto de simulações CORDEX-África (Nikulin et al., 2012; Kalognomou et al., 2013; Kim et al., 2014; Panitz et al., 2014; Careto et al., 2018; Kotlarski et al., 2019; Lima et al., 2019a; Soares et al., 2019a), e sobre os resultados de projeções futuras (Laprise et al., 2013; Giorgi. et al., 2014; Mariotti et al., 2014; Dosio e Panitz, 2016;

Carvalho et al., 2017; Lima et al., 2019b; Soares et al., 2019a; 2019b; 2024). Os resultados das simulações para o clima presente demonstraram que todos os modelos possuem vieses tanto a nível sazonal como anual. Estes estudos mostraram assim várias limitações dos resultados da simulação climática regional, associados à resolução intermédia e às parametrizações físicas utilizadas, mas também as suas virtudes para quantificar especialmente o sinal das alterações climáticas para muitas variáveis. Todos estes estudos realçam, no entanto que a construção de um ensemble multimodelo, mesmo que considerando um peso igual entre todos os modelos, melhora os resultados para quase todas as métricas consideradas. Importa salientar, que o CORDEX-África considerou unicamente dois cenários de emissões: *Representative Concentration Pathways*, RCP4.5 e 8.5 (Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011); e que no contexto do Acordo de Paris e da 26ª Conferência das Partes existe a necessidade de incluir mais cenários.

Recentemente, Soares et al. (2024) utilizou o conjunto completo de modelos climáticos do CORDEX-Africa, que continuam a constituir a mais avançada informação climática relativa ao continente africano, e aplicou as metodologias estado-da-arte, para apresentar projeções climáticas para o período 2071-2100, focado na caracterização do clima médio, fenómenos extremos e compostos para Angola. Especificamente, foram utilizados 19 modelos climáticos regionais para construir um conjunto multimodelo, permitindo projetar o clima futuro de Angola, quantificando a incerteza e a robustez dessas projeções. Foram analisados dois cenários futuros de emissões de gases com efeito de estufa (RCP4.5 e 8.5). Neste estudo, foi apresentada uma extensa análise do sinal das alterações climáticas sobre a temperatura, precipitação, extremos e eventos compostos, para o final do século XXI. Para o RCP8.5, o aquecimento futuro no final do século projeta-se poder atingir valores máximos de ~7 °C para a temperatura máxima no sudeste de Angola e 6 °C para a temperatura mínima. Projeta-se que as temperaturas extremas (percentil 90) aumentem mais de 7 °C nas regiões a Sul. De um modo geral, as projeções mostram uma redução da precipitação nas estações mais secas e um aumento das estações chuvosas, conduzindo a ciclos anuais mais acentuados; projeta-se também um aumento da precipitação extrema (percentil 95), até mais de ~50 % em algumas regiões costeiras. As projeções mostram também que Angola no futuro será afetada por ondas de calor e secas mais frequentes e mais prolongadas. De acordo com o RCP8.5, ocorrerão mais até 10 ondas de calor e mais 4 secas moderadas, respetivamente nas zonas costeiras e interiores. Por último, projeta-se que o número de dias em que ocorrem concomitantemente ondas de calor e secas moderadas cresça imensamente, cerca de +30% para muitas regiões, o que corresponde a multiplicar por 10 estes eventos no futuro. Para o RCP4.5, projeta-se que as alterações sejam menores, mas significativas, especialmente no que diz respeito a eventos extremos e compostos. A magnitude das mudanças projetadas para países vulneráveis como Angola constituem um apelo urgente à mitigação global e a estratégias de adaptação nacionais a regionais e, em última análise, a um esforço constante de atualização e aprofundamento da qualidade da informação climática produzida. Por último, este estudo indicia que Angola é excecionalmente vulnerável às alterações climáticas e sectores como a saúde, a agricultura, os recursos hídricos e os ecossistemas podem sofrer graves impactos.

O presente portal visa construir um corpo de informação sobre alterações climáticas que possa ser utilizado para apoiar decisões políticas e económicas, e no quadro de instituições internacionais, como o Banco Mundial e as Nações Unidas, ajudando a alocar os mecanismos financeiros necessários. O presente relatório foi elaborado no contexto do projeto FRESAN- **Fortalecimento da Resiliência e da Segurança Alimentar e Nutricional em Angola**, servindo de apoio à **PLATAFORMA DE CENÁRIOS DE CLIMA FUTURO PARA ANGOLA, NOMEADAMENTE PROVÍNCIA DO CUNENE, HUÍLA E NAMIBE.**

## Dados e Metodologia

### CORDEX-Africa

Os GCMs são uma ferramenta útil para avaliar o clima global presente e a única forma de realizar projeções para o futuro (Soares et al., 2019a). Os GCMs são capazes de representar as variáveis de largas escala (Stocker et al., 2013), mas revelam dificuldades na representação de fenómenos a um nível mais regional e local (Rummukainen, 2010; Soares et al., 2012; 2014). Como tal, uma forma de colmatar tais limitações dos GCMs passa pelo uso de técnicas de downscaling dinâmico, os chamados RCMs, em que se empregam resoluções espaciais mais elevadas. Os RCMs forçados por dados gerados pelos GCMs são uma mais-valia relativamente à representação de processos e padrões regionais do clima, tais como a convecção, as circulações induzidas mecânica e termicamente, e as interações de superfície-atmosfera, devido a uma melhor representação das propriedades e das heterogeneidades da superfície (Giorgi and Mearns, 1999; Rummukainen et al., 2010; 2016; Laprise, 2008; Soares et al., 2012; Flato et al., 2013; Lucas-Picher et al., 2017).

Recentemente surgiu um consórcio de *downscaling* internacional (*World Climate Research Program, Coordinated Regional Downscaling Experiment*, WCRP-CORDEX, Giorgi et al., 2009; Hewitson et al., 2012; Gutowski et al., 2016), que visa a disponibilização de modelos regionais, tanto forçados pela reanálise ERA-Interim (Dee et al., 2011) ou por modelos pertencentes ao *Coupled Model Intercomparison Project Fase 5* (CMIP5 na sua sigla em inglês) para determinadas regiões do globo. O objetivo deste consórcio é o desenvolvimento de ensembles multimodelo de RCMs a alta resolução, para todas as regiões do globo. Tal como foi referido no início, este estudo/portal utiliza os resultados dos modelos pertencentes ao CORDEX para o domínio africano (CORDEX-Africa), que são forçados por modelos globais do CMIP5.

Os dados considerados neste estudo podem ser adquiridos através do portal Earth System Grid Federation (ESGF na sua sigla em inglês), e incluem 19 modelos regionais (Tabela 1), a cerca de 50 km de resolução, que permitem caracterizar o clima presente e as projeções para o clima futuro. Os períodos contemplados são: histórico (1971-2000); futuro, meio século (2041-2070); e final do século (2071-2100), sendo os períodos futuros em formato de normais climatológicas e de anomalias face ao histórico. Para além disso, ficheiros decadais com a evolução do clima em formato de normais e anomalias são também disponibilizados. Para todos os períodos futuros, são considerados dois cenários de alterações climáticas do IPCC: o RCP4.5 e o RCP8.5. De todas as variáveis disponíveis, apenas foram consideradas a temperatura máxima, mínima, a precipitação entre outras necessárias para o cálculo dos indicadores solicitados, descrito com maior detalhe mais à frente. Mediante os resultados de cada modelo individual, é contruído um ensemble multimodelo através de uma média que atribui o mesmo peso a cada modelo.

Tabela 1 Modelos regionais do CORDEX-Africa usados neste estudo.

Instituição	Referência	RCM	GCM
Climate Limited-area Modelling Community	Rockel et al. (2008)	CCLM4-8-17	ICHEC-EC-EARTH
			MPI-ESM-LR
			MOHC-HadGEM2-ES
			CNRM-CM5
Swedish Meteorological and Hydrological Institute	Samuelsson et al. (2011)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
			MPI-ESM-LR
			MOHC-HadGEM2-ES
			CNRM-CM5
			MIROC-MIROC5
			IPSL-CM5A-MR
			CCCma-CanESM2
			CSIRO-Mk3-6-0
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	van Meijgaard et al. (2008)	RACMO22T	ICHEC-EC-EARTH
			MOHC-HadGEM2-ES
Max Planck Institute for Meteorology Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center,	Jacob et al. (2012)	REMO2009	MPI-ESM-LR
			ICHEC-EC-EARTH
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Scinocca et al. (2016)	CanRCM4	CCCmaCanESM2
Danish Meteorological Institute	Christensen et al. (2007)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH



## Índices climáticos

Nesta secção é apresentada uma descrição detalhada das metodologias utilizadas para a construção de um conjunto de índices climáticos (CIs) seguindo a definição da Organização Mundial de Meteorologia (Frich et al. 2002), da equipa CCI/CLIVAR/JCOMM de Detecção e Índices de Alterações Climáticas (ETCCDI na sua sigla em inglês) e o Conjunto de Dados e Avaliação Climática Europeu (ECA&D na sua sigla em inglês, Klein-Tank et al., 2002; Klok e Klein-Tank, 2009). Os referidos índices são calculados a partir dos dados diários do CORDEX-Africa para todos os períodos mencionados anteriormente. Cada CI é calculado para cada modelo em escalas de tempo sazonais e anuais:

$$\langle CI \rangle_g = \frac{1}{30} \sum_{y=y_0}^{y_0+30} \left[ (1/N_g) \sum_{d=d_{0,g}}^{d_0+N_g} CI \right] \quad (1)$$

onde  $\langle \rangle_g$  indica a média climatológica à escala pretendida,  $g$  (sazonal ou anual),  $y_0$  indica o ano de início do período climatológico de 30 anos escolhido,  $d_{0,g}$  indica o dia de início do período de granularidade considerado (ou seja, o primeiro dia do mês escolhido, primeiro dia da estação escolhida ou primeiro dia do ano), e  $N_g$  indica o número total de dias no período considerado. Adicionalmente, para cada indicador calculado, são calculados os seguintes períodos decadais segundo a mesmo procedimento de cálculo: 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100.

### Temperatura e índices relacionados

Para cada modelo, a média climatológica da temperatura do ar máxima diária aos 2 metros,  $txavgr$ , e da temperatura do ar mínima diária aos 2 metros,  $tnavgr$ , é calculada a partir da Equação (1). A média climatológica da temperatura média diária do ar aos 2 metros,  $taavgr$ , é obtida calculando a média entre a temperatura máxima e mínima para cada dia, e depois aplicando a Equação (1).

Adicionalmente são também disponibilizados diversos índices baseados nas temperaturas diárias. O número de dias extremamente quentes, bem como indicadores derivados.  $txna35$ , correspondente ao número de dias em que a temperatura máxima ultrapassa os 35 °C. Os valores fornecidos representam o número médio de dias por ano em que foi ultrapassado esse limiar durante o período considerado.  $txda35$  representa o número máximo de dias consecutivos extremamente quentes, correspondente à média anual do número máximo de dias consecutivos onde a temperatura máxima diária excede os 35 °C. Da mesma forma, o número de noites tropicais,  $tnna20$ , corresponde ao número médio de dias por ano em que a temperatura mínima diária ultrapassa os 20 °C. O percentil 90 da temperatura máxima diária e o percentil 10 da temperatura mínima diária são calculados a nível anual e sazonal ( $tx90$  e  $tn10$  respetivamente). Por fim, o número de ondas de calor ( $hwdi$ ) e a sua duração média ( $wstdi$ ) são também apresentados.

### Precipitação e índices relacionados

Para cada modelo, a média climatológica acumulada de precipitação,  $pravgr$ , é calculada a partir da Equação (2).

$$pravgr = \frac{1}{30} \sum_{y=y_0}^{y_0+30} \left[ \sum_{d=d_0,g}^{d_0+Ng} Pr_d \right] \quad (2)$$

onde  $Pr_d$  corresponde à precipitação total acumulada durante o dia  $d$ . Este CI mede a precipitação total acumulada média climatológica ao longo de um determinado período (anual ou sazonal).

O número médio de dias com precipitação superior a 1 mm, 20 mm e 50 mm (respetivamente  $prna01$ ,  $prna20$ ,  $prna50$ ) é obtido contabilizando o número de dias em que o respetivo limiar diário de precipitação é excedido para cada ano, sendo posteriormente calculada a média anual ou sazonal para cada climatologia. Tal como as temperaturas o percentil 95 da precipitação diária ( $pr95$ ) é também disponibilizado. O número máximo de dias consecutivos sem precipitação,  $prdbx1$ , é calculado como o número mais elevado de dias consecutivos onde  $Pr_d < 1$  mm/dia por ano ou sazonalmente para cada período climatológico de 30 anos.

### Secas

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI, na sua sigla em inglês) é amplamente usado para a avaliação de períodos de secas (Vicente-Serrano et al. 2006; Beguería & Vicente-Serrano, 2023) e pode ser calculado através do pacote ‘SPEI’ disponível para a linguagem de programação R. O SPI tem uma discretização mensal e é calculado para as escalas de acumulação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses, sendo considerados os parâmetros predefinidos, como por exemplo, o uso da distribuição de probabilidades *Gamma* para o ajuste das séries temporais de precipitação.

O cálculo do índice SPI é efetuado tendo em conta o histórico (1971-2000) como período de calibração, sendo todos os outros períodos futuros ajustados às distribuições obtidas pelo histórico. Contudo é necessário salientar que desta forma existe o problema conhecido de em certas situações, particularmente para períodos fora da calibração, o ajuste às distribuições poder não ser o mais adequado (Beguería & Vicente-Serrano, 2023). Este problema torna-se mais evidente em regiões semiáridas e onde ocorram fortes alterações dos regimes de precipitação ao longo do século XXI.

Com o índice SPI é disponibilizado o valor médio, bem como a frequência de secas por década ( $df$ ) e a duração média dos eventos de seca ( $med$ ) para cada um dos períodos de 30 e 10 anos. No caso do valor médio do índice ( $spi$ ), no período de calibração, por definição do próprio índice, o seu valor deve ser próximo de 0. Quanto aos outros indicadores, a frequência de eventos por década é calculada como sendo o número total de eventos em cada período. No caso dos períodos de 30 anos, dividiu-se o valor total de eventos por 3. Por outro lado, a duração média das secas é dada pela divisão de todos os dias em seca pelo número total de eventos, dentro de

cada período de 30 ou 10 anos. Por fim, um mês é considerado como estando em seca, quando o índice SPI é inferior a -1, correspondendo a seca severa (Soares et al., 2023; 2024).

### Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial ou PET é estimada a partir da equação de Penman-Monteith (Allen et al. 1998):

$$PET = [0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [900 / (T_m + 373)] V_{h2} (e_s - e_a)] / (\Delta + \gamma (1 + 0.34 V_{h2})) \quad (3)$$

Onde:

$\Delta$ : inclinação da curva da pressão de vapor [kPa °C<sup>-1</sup>]

$R_n$ : Balanço radiativo à superfície [MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>]

$G$ : Densidade de calor no solo [MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>], desprezável neste caso.

$\gamma$ : Constante psycométrica [kPa °C<sup>-1</sup>]

$T$ : Temperatura média diária do ar à superfície [°C]

$u_2$ : velocidade média diária do vento aos 2m [m s<sup>-1</sup>]

$e_s$ : Pressão de saturação do vapor de água [kPa]

$e_a$ : Presão real do vapor de água [kPa]

### Índice de Aridez

O Índice de Aridez (IA) é definido como a razão entre a precipitação anual ( $P$ ) e a evapotranspiração potencial anual ( $PET$ ) (equação 4):

$$IA = \frac{P}{PET} \quad (4)$$

A classificação climática do Índice de Aridez usada neste estudo segue a descrição apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 Classificação do Índice de Aridez.

Valor IA	Classificação
$\geq 0.65$	Húmido
$[0.5, 0.65[$	Seco-Subhúmido
$[0.2, 0.5[$	Semiárido
$[0.05, 0.2[$	Árido
$< 0.05$	Hiperárido

## Resumo dos índices apresentados

Tabela 3 Sumário dos índices e extremos utilizados neste estudo.

Acrónimo	Descrição
Temperatura	
taavgr	Temperatura média diária aos 2-metros [°C]
txavgr	Temperatura máxima diária aos 2-metros [°C]
tx90	Percentil 90 da temperatura máxima diária aos 2-metros [°C]
txna35	Número de dias muito quentes [dias]
txda35	Número máximo de dias consecutivos muito quentes [dias]
hwdi	Número médio de ondas de calor por ano
wsdi	Número médio anual de dias consecutivos em onda de calor [dias]
tnavgr	Temperatura mínima diária aos 2-metros [°C]
tn10	Percentil 10 da temperatura mínima diária aos 2-metros [°C]
tnna20	Número de noites tropicais [dias]
Precipitação	
pravgr	Média acumulada da precipitação [mm]
pr95	Percentil 95 da precipitação diária [mm]
prna01	Número de dias com precipitação acima de 1 mm [dias]
prna20	Número de dias com precipitação acima de 20 mm [dias]
prna50	Número de dias com precipitação acima de 50 mm [dias]
prdbx1	Número máximo de dias secos consecutivos com precipitação inferior a 1 mm [dias]
Outros Índices	
spi	Índice Padronizado de Seca
df	Número de eventos de seca por década
med	Duração média de cada evento de seca
pet	Estimativa do valor máximo da evapotranspiração a partir da equação Penman-Monteith
ai	Índice de Aridez definido como a razão entre a precipitação anual e a PET anual

Todos os indicadores são apresentados como média, acumulação, valor máximo ou mínimo, etc., para um determinado período seja de 30 anos ou de 10 anos. Os resultados são disponibilizados em formato de normais climatológicas ou no caso dos períodos futuros também em anomalias face à referência de 1971-2000 para os períodos futuros 2041-2070 e 2071-2100. No caso dos períodos de 10 anos, com início em 2021-2030, a referência é 1991-2000 correspondendo aos últimos 10 anos do período histórico. A única exceção são os indicados de seca com o índice SPI, onde a referência para cada período de 10 anos é os 30 anos do histórico correspondendo ao período de calibração do índice. Como os vários modelos regionais considerados não são sincronizados entre si, nem com observações (i.e., são usados diferentes GCMs, tal como é mostrado na Tabela 1), não é correto de considerar os resultados individuais, mas sim os resultados em conjunto ao longo de um determinado período

## Projeções Climáticas e Breve Discussão

Nesta secção são apresentados todos os indicadores disponibilizados para os períodos de 30 anos, sendo os resultados do futuro representados aqui em formato de anomalia. Uma descrição detalhada para alguns destes indicadores pode ser consultada no artigo Soares et al. (2024). A análise foi realizada com recurso a um ensemble de 19 modelos individuais regionais do CORDEX-Africa com uma resolução de cerca de 50 km. Um ensemble desta dimensão permite caracterizar as projeções de clima para o meio e final de século de uma forma mais robusta. A região de interesse centra-se em Angola.

Em geral, as projeções para Angola indicam que durante o século XXI é expectável uma forte tendência de aquecimento e de exacerbação das situações de seca. Estas alterações são mais gravosas para o cenário RCP8.5, em que se admite que não serão aplicadas medidas de mitigação a nível global para combater as alterações climáticas. Importa referir que o cenário intermédio, o RCP4.5, se encontra mais alinhado com a trajetória atual de emissões, aos compromissos firmados pelos diferentes países e ao aumento da temperatura média global observada (Masson-Delmotte et al., 2021). O RCP4.5 corresponde a um cenário cujas medidas de mitigação serão implementadas de forma progressiva. Por último, é relevante mencionar que historicamente, a contribuição de Angola para as emissões globais de gases de efeito de estufa é relativamente baixa (Ritchie e Roser, 2020)

Para o cenário mais gravoso projeta-se um aumento de cerca de 5 °C para a temperatura máxima e de 4 °C para a temperatura mínima na zona sudoeste de Angola, para o final do século. Por outro lado, para a mesma região e período, as projeções com o cenário intermédio indicam aumentos de até 3.5 °C em ambas as temperaturas. Estes aumentos são projetados tanto a nível anual como sazonal sendo assim expectável uma tendência de aquecimento ao longo do século XXI. Ao mesmo tempo, também é expectável que a temperatura da superfície do mar aumente, o que pode levar a uma alteração do contraste térmico entre terra e o oceano ao longo do ano. Estas alterações afetam os regimes de vento e por consequência o respetivo afloramento costeiro, o que pode levar a impactos significativos na biodiversidade marinha, em especial na região de Benguela. Esta região é presentemente uma região de afloramento costeiro de produtividade considerável, podendo no futuro ocorrer a perda desses recursos marinhos. (Wang et al., 2015; Lima et al., 2019b).

Associado ao aumento da temperatura, a intensificação e expansão para sul da célula de Hadley (Lu et al., 2007; Hu et al., 2013; Wang et al., 2015; Ma e Xie, 2013), poderá ter como consequência a alteração nos regimes de precipitação, sendo que as projeções apontam para uma redução da precipitação ao longo do ano, em particular na região sudoeste de Angola. Por outro lado, apesar da redução da precipitação acumulada ao longo do ano, projeta-se um aumento de precipitação extrema para todo o domínio considerado. Contudo, este aumento possui uma incerteza considerável, devido à resolução relativamente baixa das simulações utilizadas. Sendo assim, os indicadores do número de dias com precipitação superior a 20 mm e em especialmente superior a 50 mm devem ser considerados à luz de uma incerteza relativamente elevada.

A subida do nível médio do mar é também uma ameaça muito preocupante para as zonas costeiras de Angola, apesar do país ter grande parte do território em cotas mais elevadas. Segundo o último relatório do IPCC projeta-se para o fim do século XXI uma subida no nível médio do mar de quase 1 m, o que poderá provocar uma perda de território em zonas costeiras mais baixas. Esta subida do nível médio do mar provocará um aumento da erosão costeira, maior vulnerabilidade a inundações, maior intrusão salina nos recursos aquíferos e nos solos. Situações de inundações costeiras devido a tempestades, aliadas ao aumento projetado de precipitação extrema ao longo de toda a costa oeste do País, podem originar situações perigosas como perda de vidas e danos materiais consideráveis.

A intensificação de períodos quentes e secos podem levar a um aumento considerável na frequência, intensidade e duração de extremos climáticos como ondas de calor e secas ao longo do século XXI (Careto et al., 2018; Soares et al., 2019a; 2024). Novamente os aumentos de fenómenos extremos são mais relevantes para o cenário RCP8.5, reforçando a necessidade da implementação de medidas de mitigação às alterações climáticas. Ambos os extremos terão impactos socioeconómicos relevantes, em que situações extremas de calor podem levar a episódios de morbilidade e mortalidade acrescida e perdas económicas substanciais em especial na agricultura, episódios de escassez de água e também de perda de biodiversidade e habitats. Sendo assim, o setor da Agricultura necessitará de um esforço de adaptação às condições do clima futuro, por forma a assegurar a alimentação e subsistência de uma população crescente.

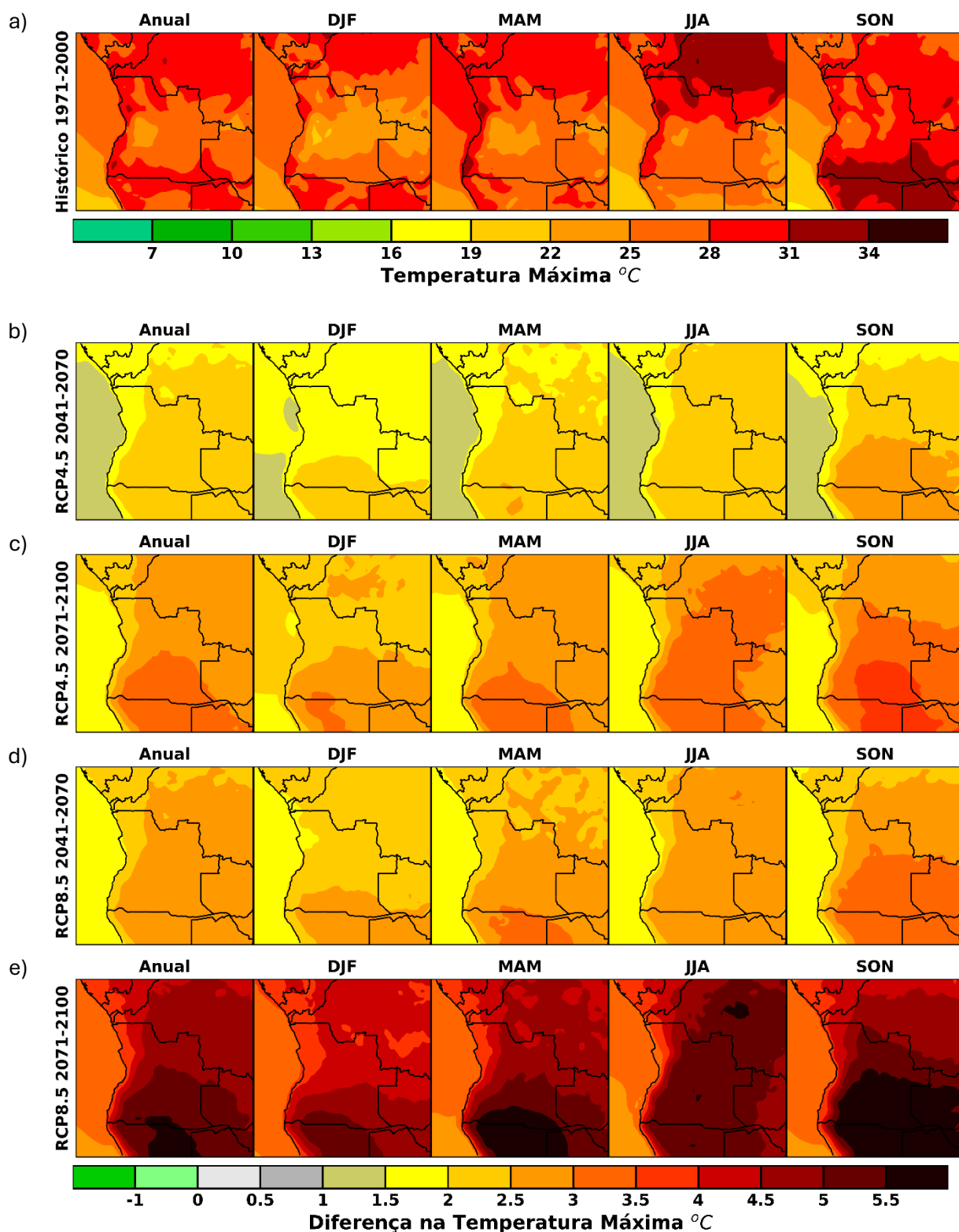


Figura 1 (a) Temperatura máxima diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura máxima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2100 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

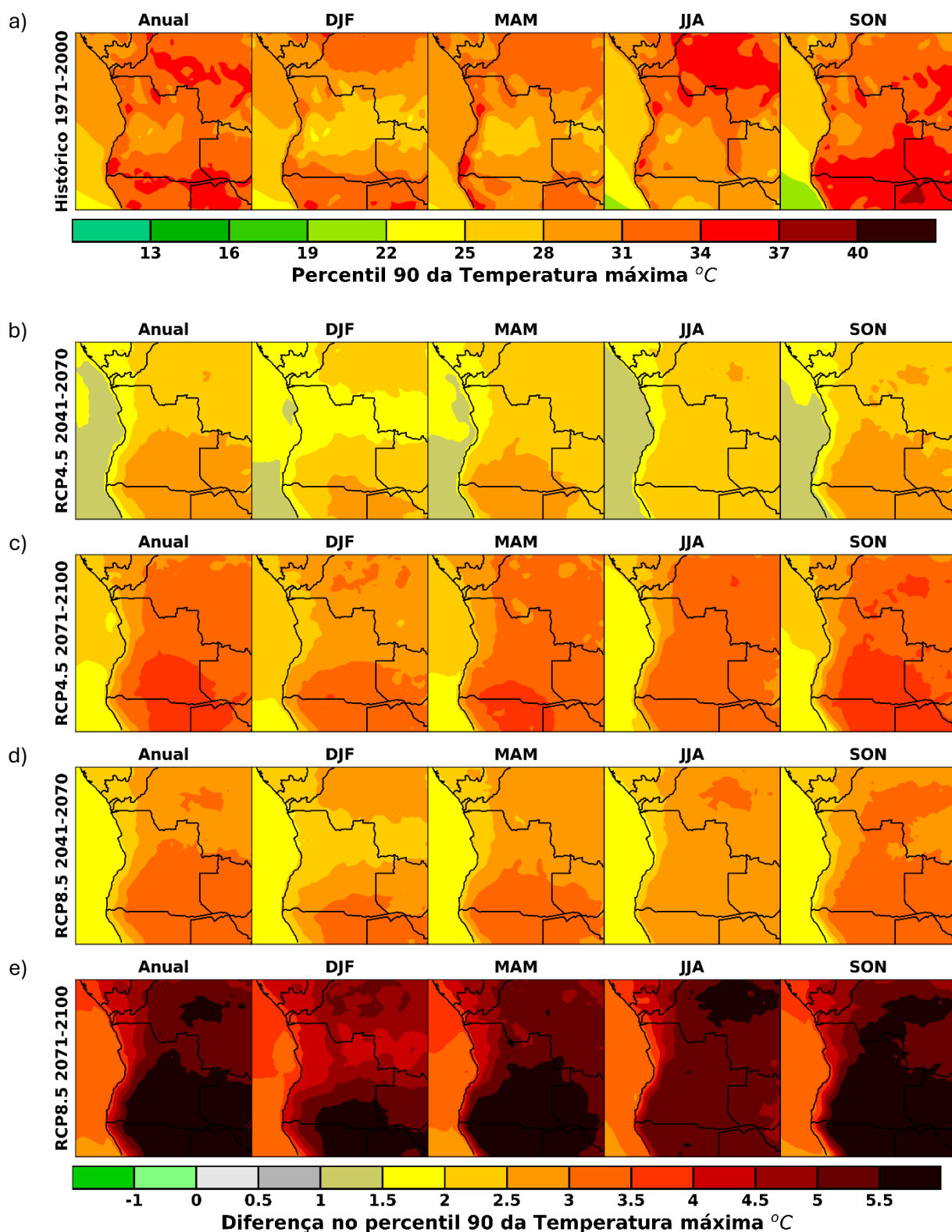


Figura 2 (a) Percentil 90 da temperatura máxima para o período histórico (1971-2000) e diferenças do percentil 90 da temperatura máxima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.



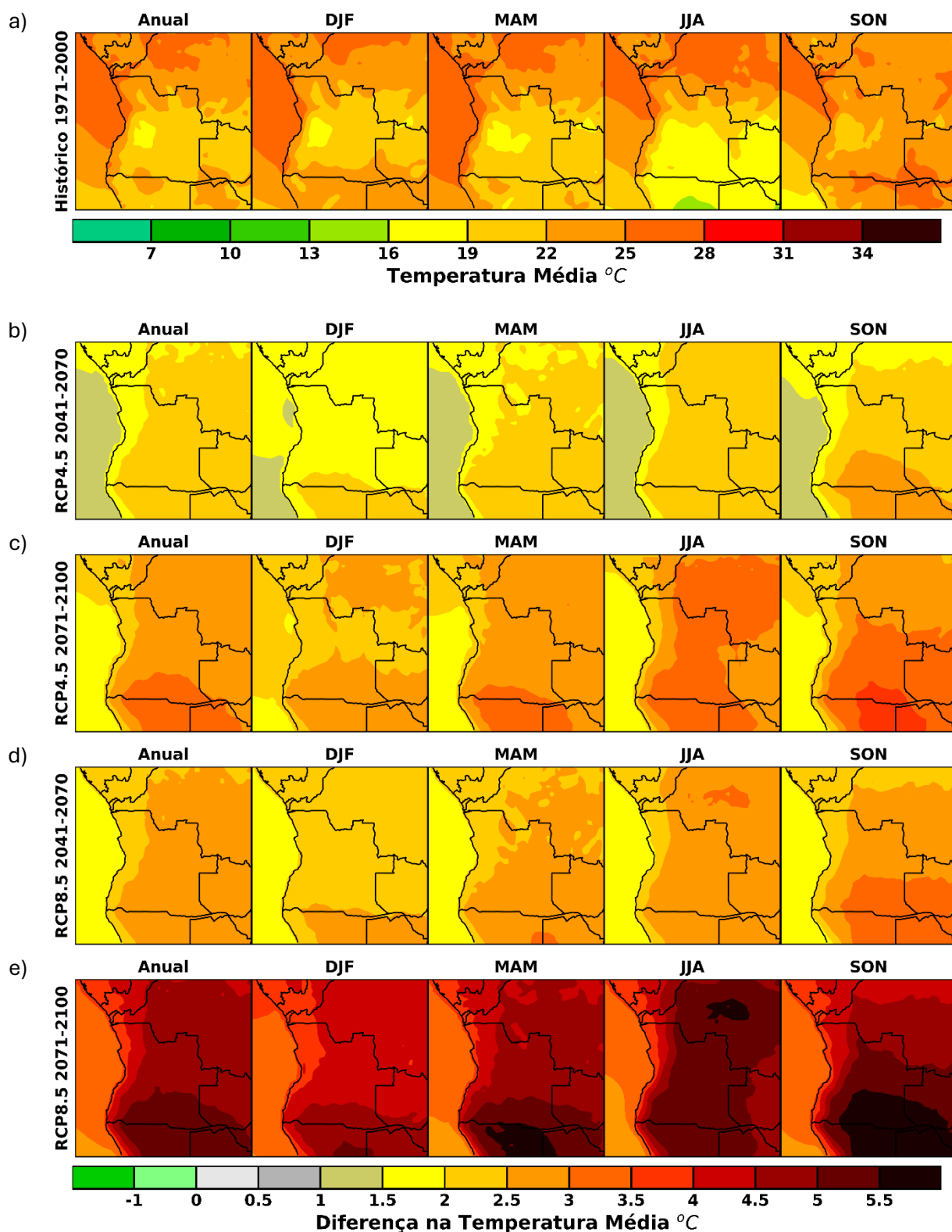


Figura 3 (a) Temperatura média diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura média entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2100 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

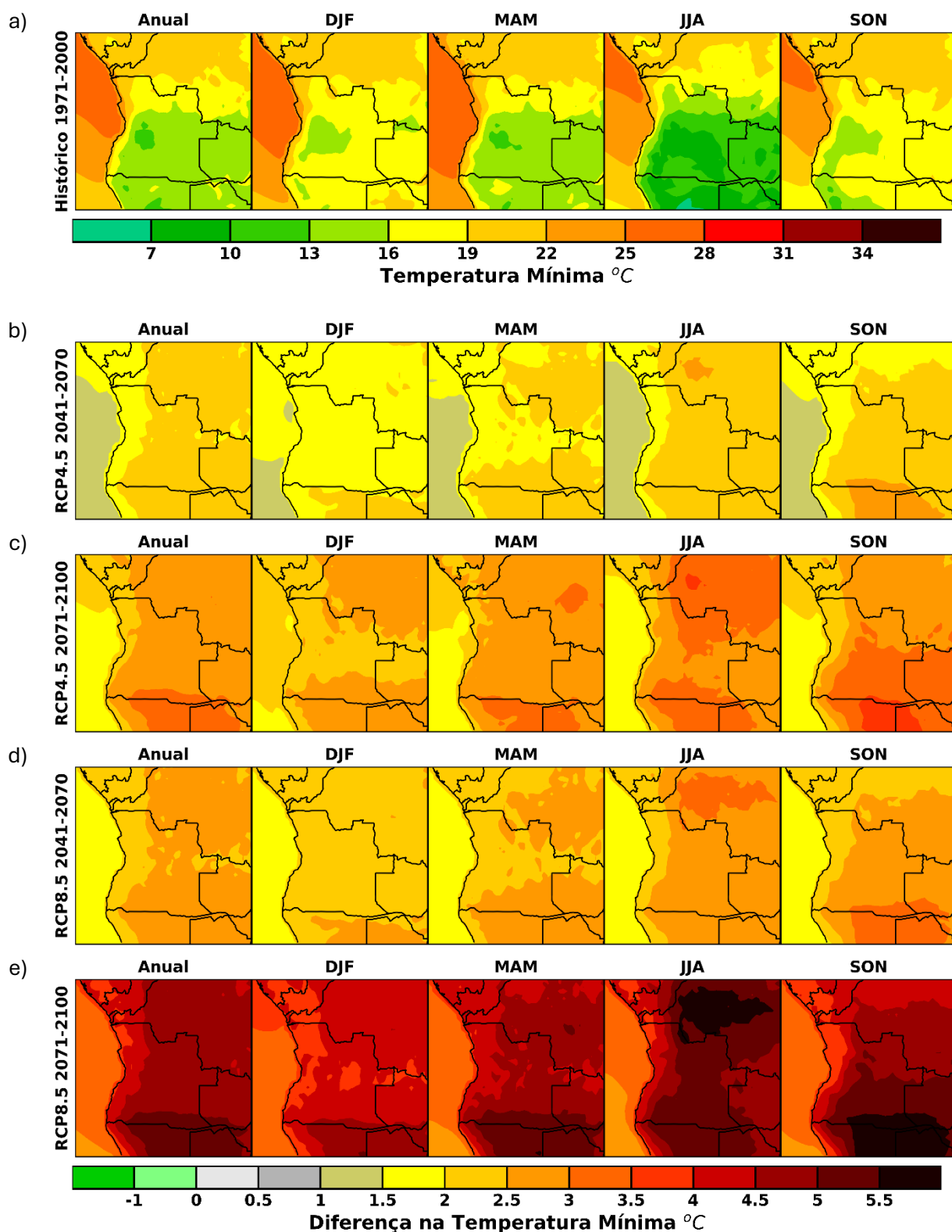


Figura 4 (a) Temperatura mínima diária aos 2 metros para o período histórico (1971-2000) e diferenças na temperatura mínima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

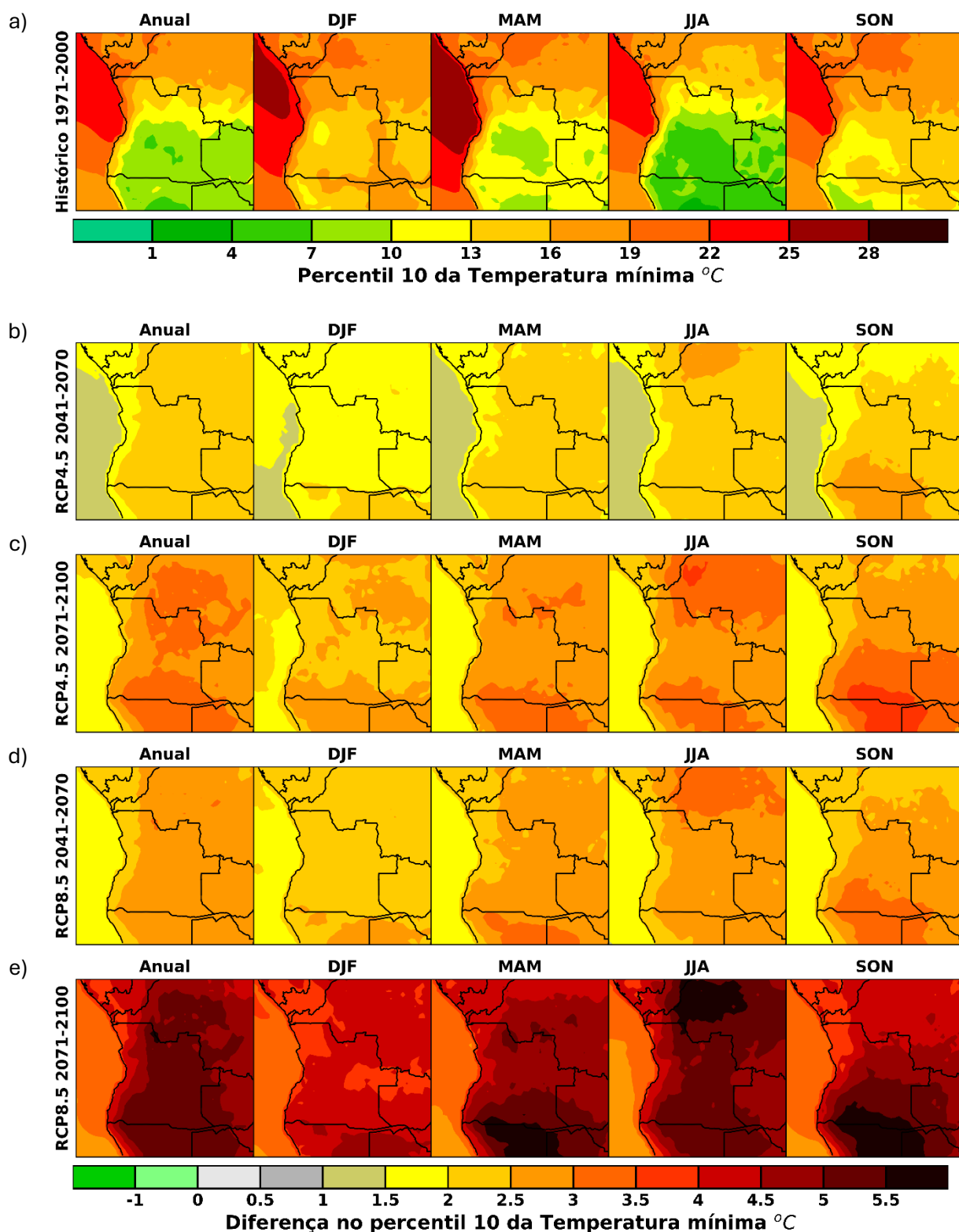


Figura 5 (a) Percentil 10 da temperatura mínima para o período histórico (1971-2000) e diferenças do percentil 10 da temperatura mínima entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

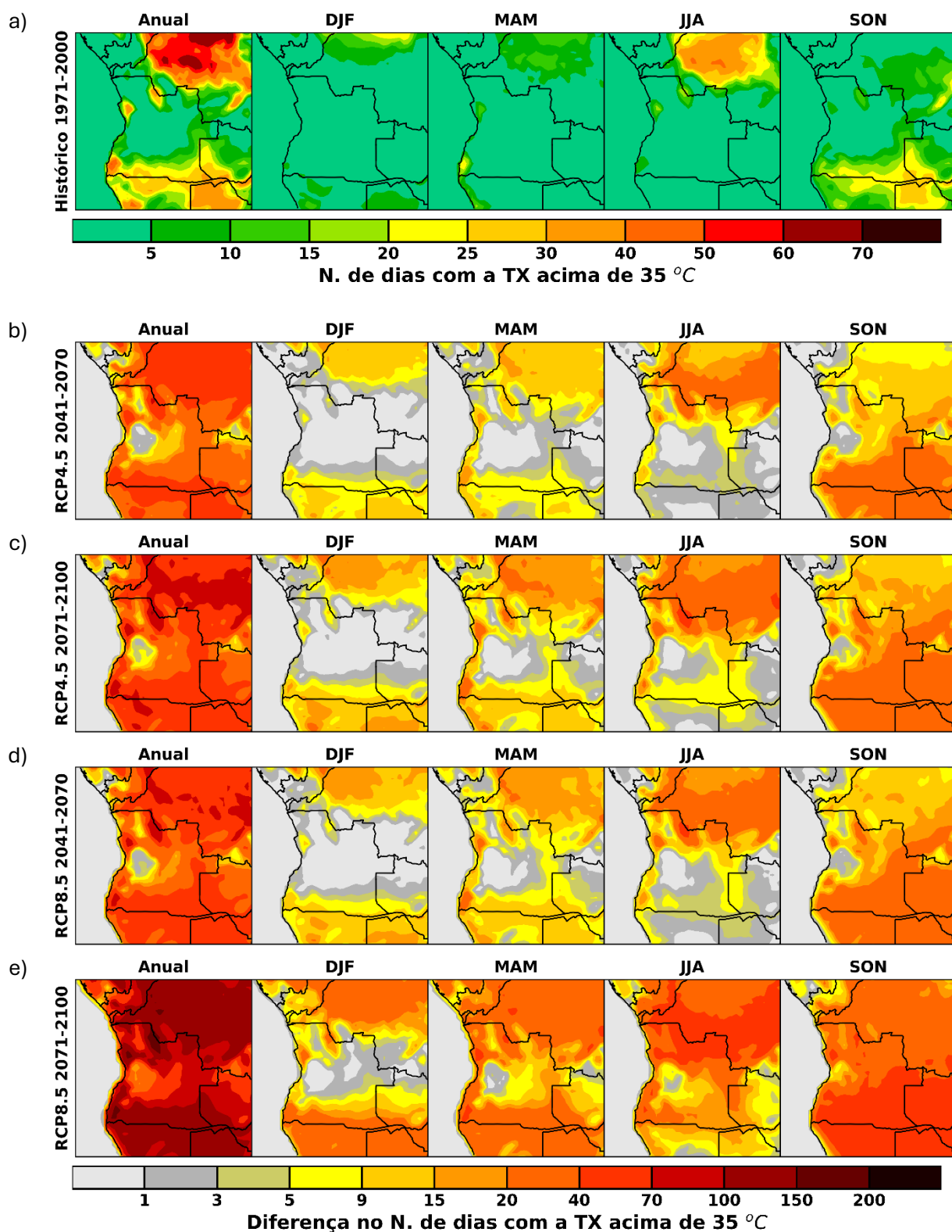


Figura 6 (a) Número de dias com a temperatura máxima acima dos 35 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças número de dias com a temperatura máxima acima dos 35 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

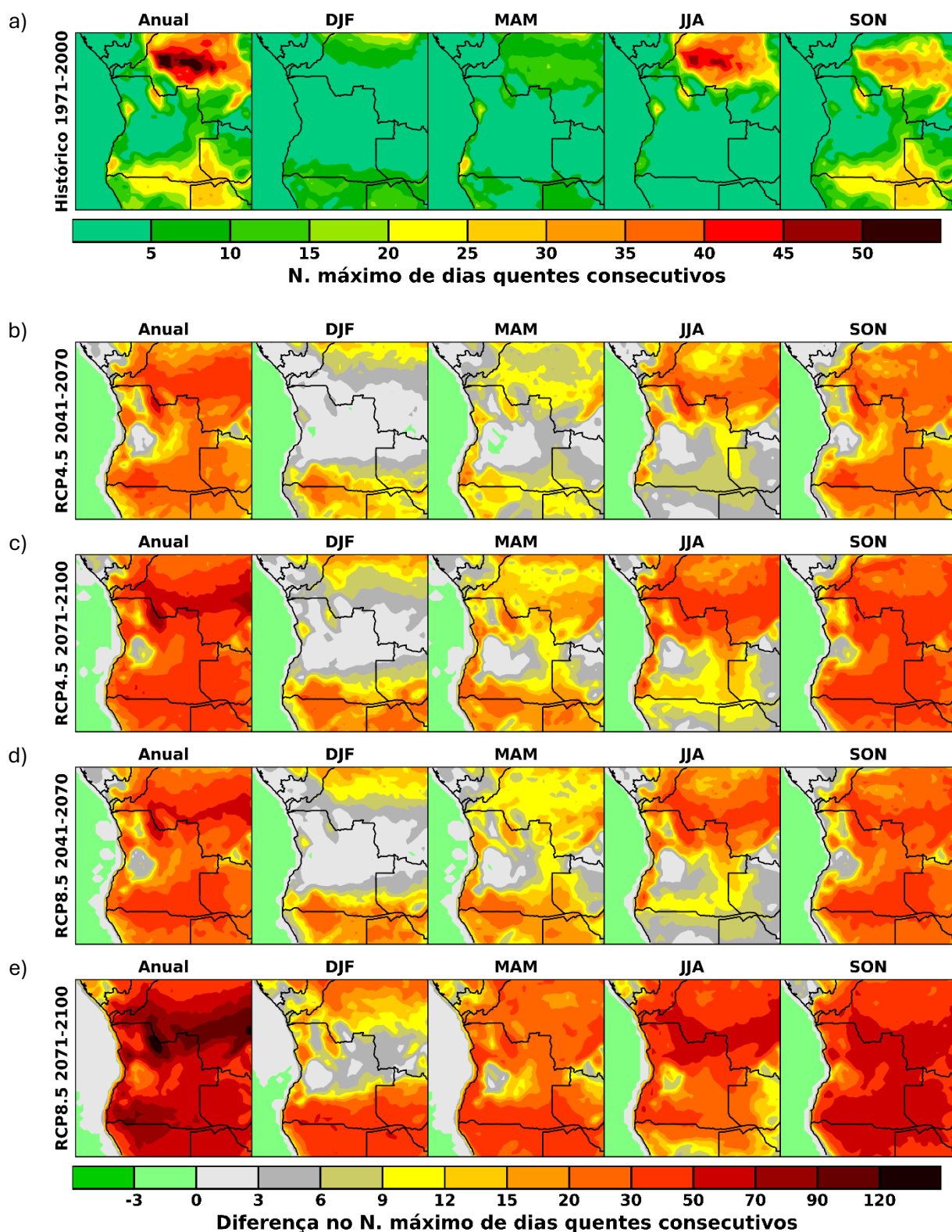


Figura 7 (a) Número máximo de dias consecutivos com a temperatura máxima acima dos 35 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número máximo de dias consecutivos com a temperatura máxima acima dos 35 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.



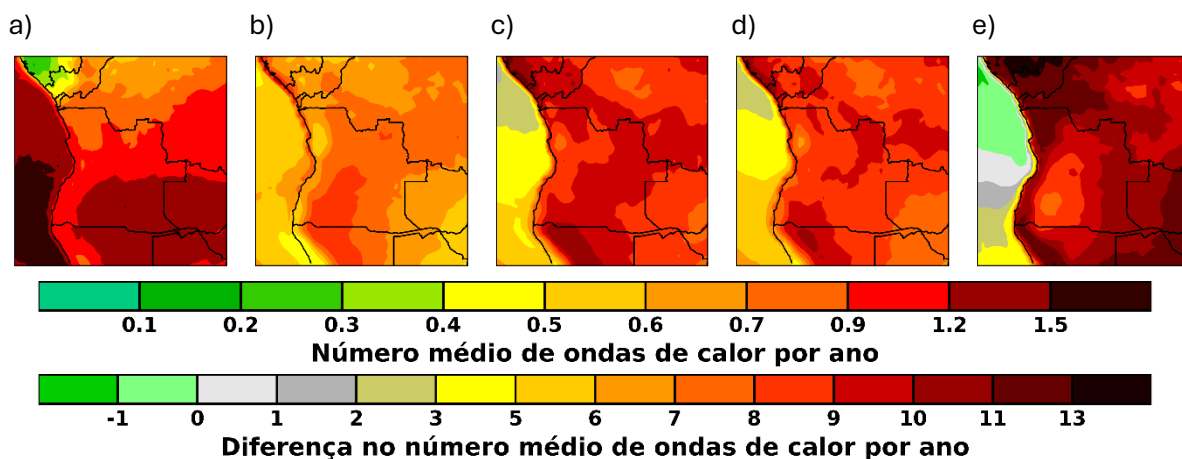


Figura 8 (a) Número médio onda de calor por ano para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número médio onda de calor por ano entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. A escala de cores no topo corresponde à figura (a) e a escala de cores em baixo às figuras b-e.

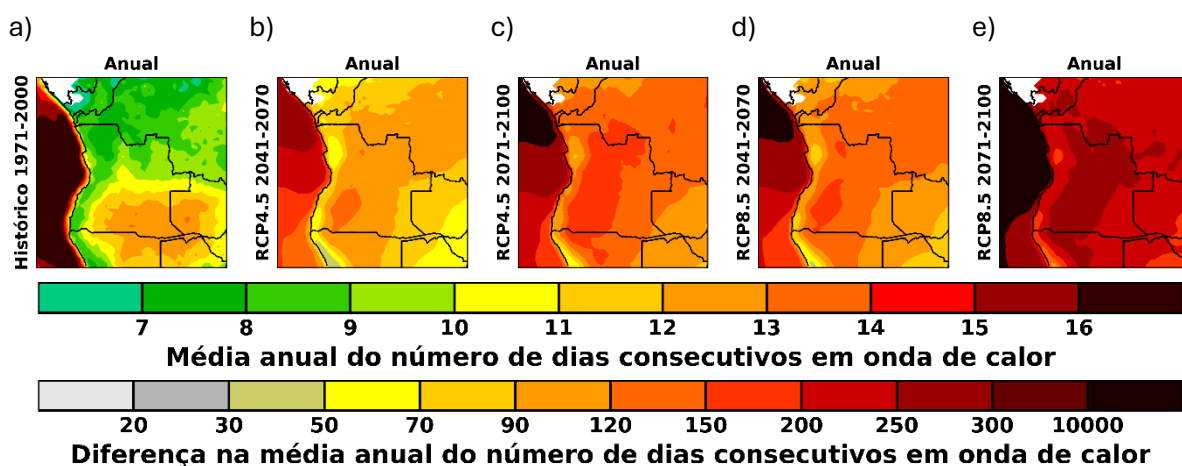


Figura 9 (a) Número médio de dias consecutivos por ano em onda de calor para o período histórico (1971-2000) e diferenças número média de dias consecutivos por ano em onda de calor entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. A escala de cores no topo corresponde à figura (a) e a escala de cores em baixo às figuras b-e.

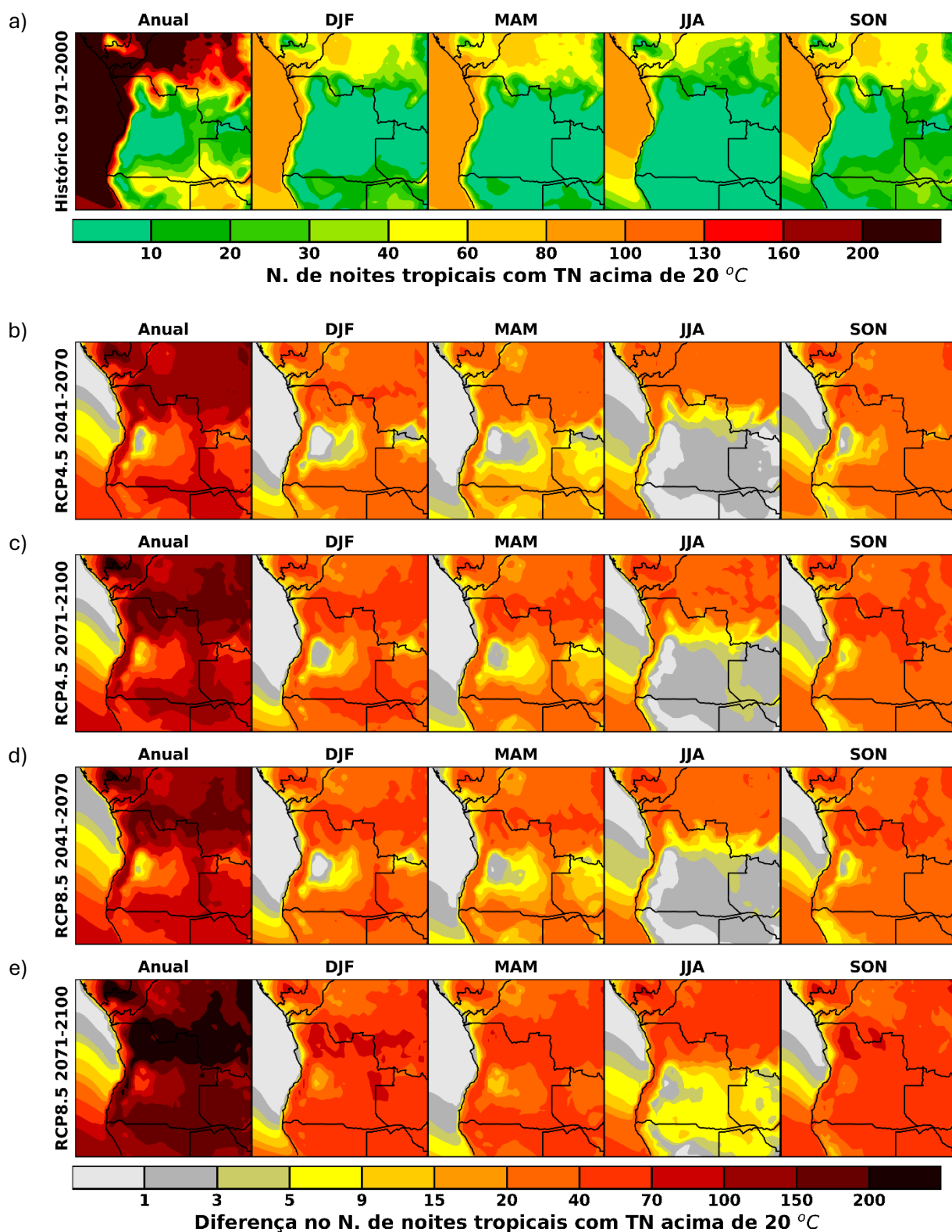


Figura 10 (a) Número de noites tropicais onde a temperatura mínima excede os 20 °C para o período histórico (1971-2000) e diferenças no Número de noites tropicais onde a temperatura mínima excede os 20 °C entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2100 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

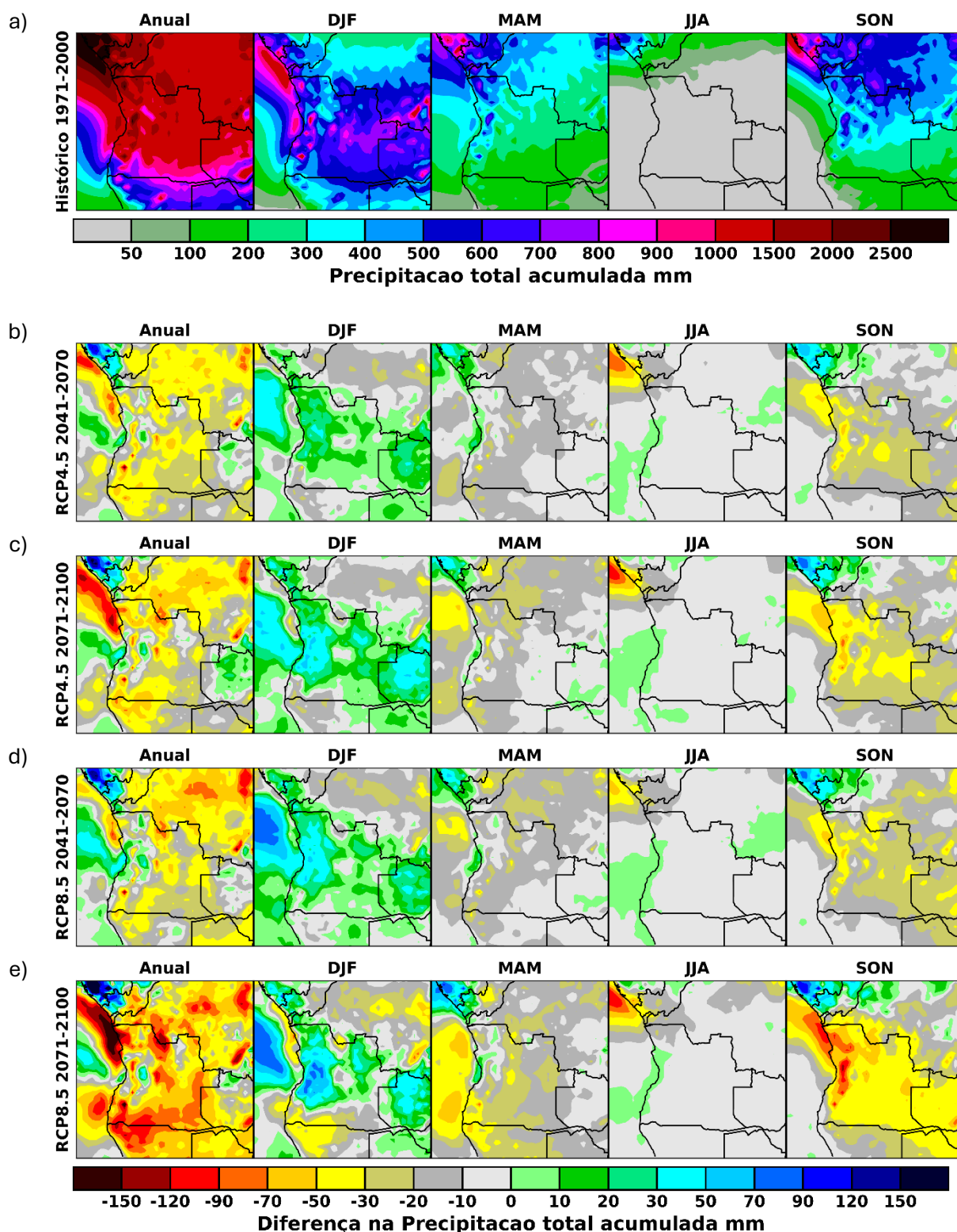


Figura 11 (a) Precipitação total acumulada média anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças na precipitação total acumulada média anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2100 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.



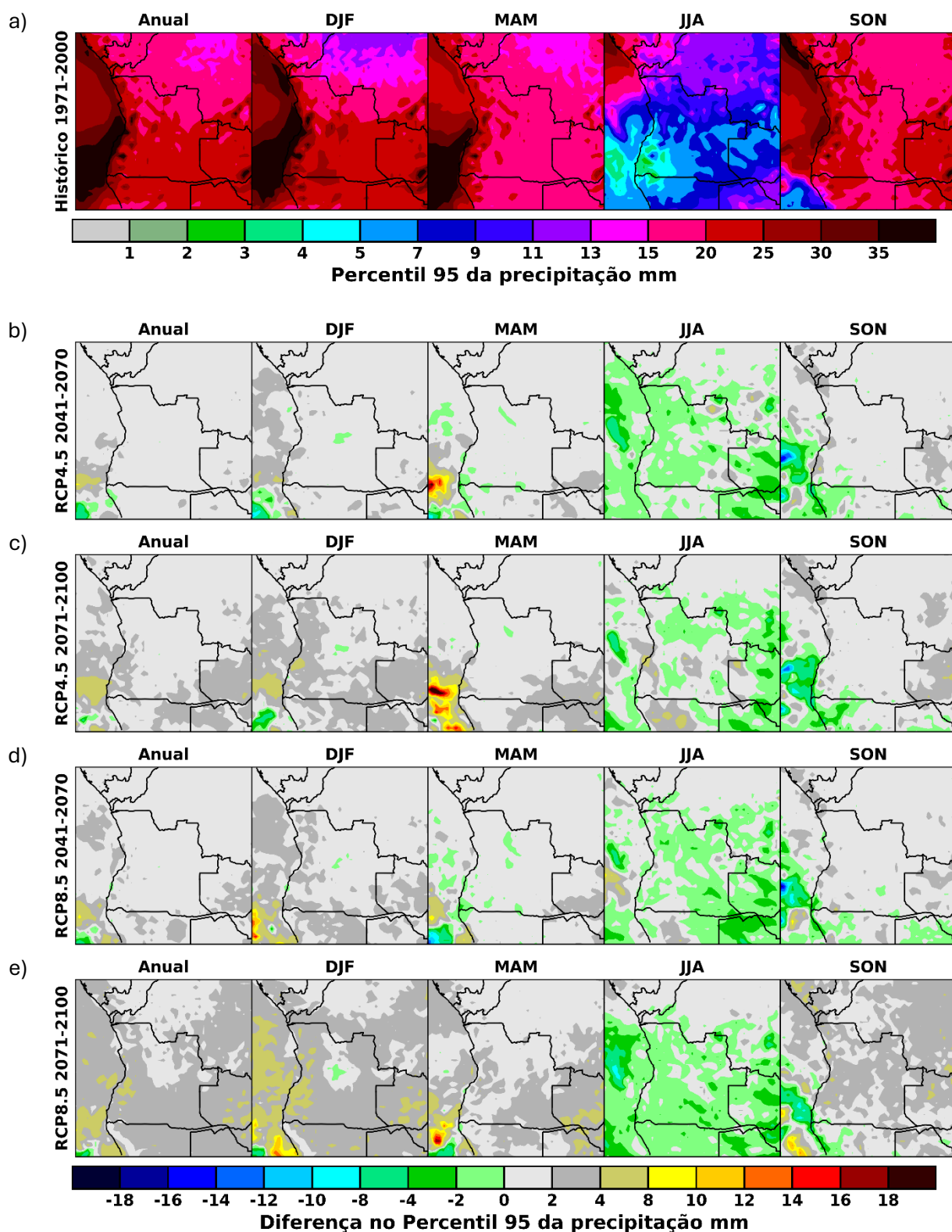


Figura 12 (a) Percentil 95 da precipitação diária média anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças no percentil 95 da precipitação diária média anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

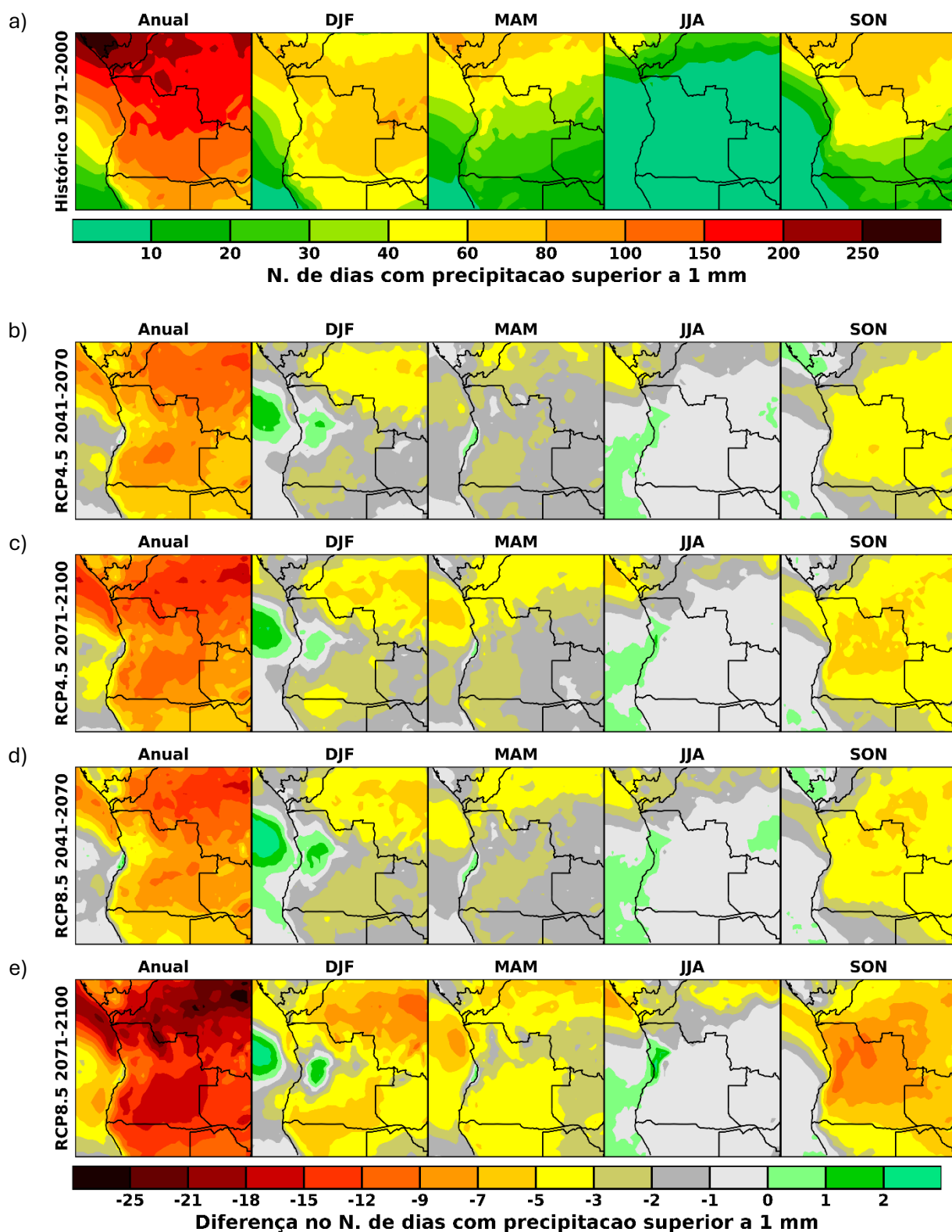


Figura 13 (a) Número de dias com precipitação superior a 1 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias com precipitação superior a 1 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

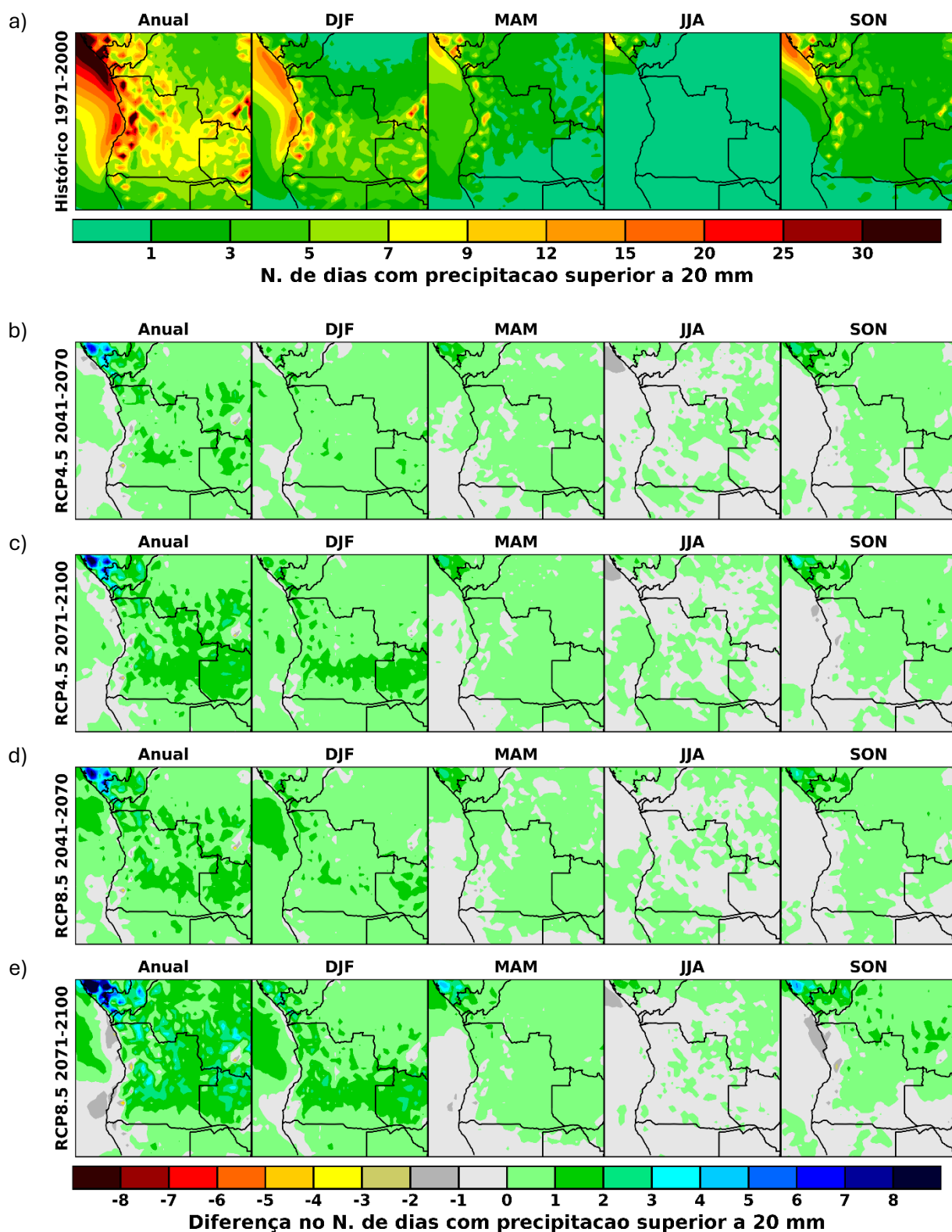


Figura 14 (a) Número de dias com precipitação forte superior a 20 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias com precipitação forte superior a 20 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.

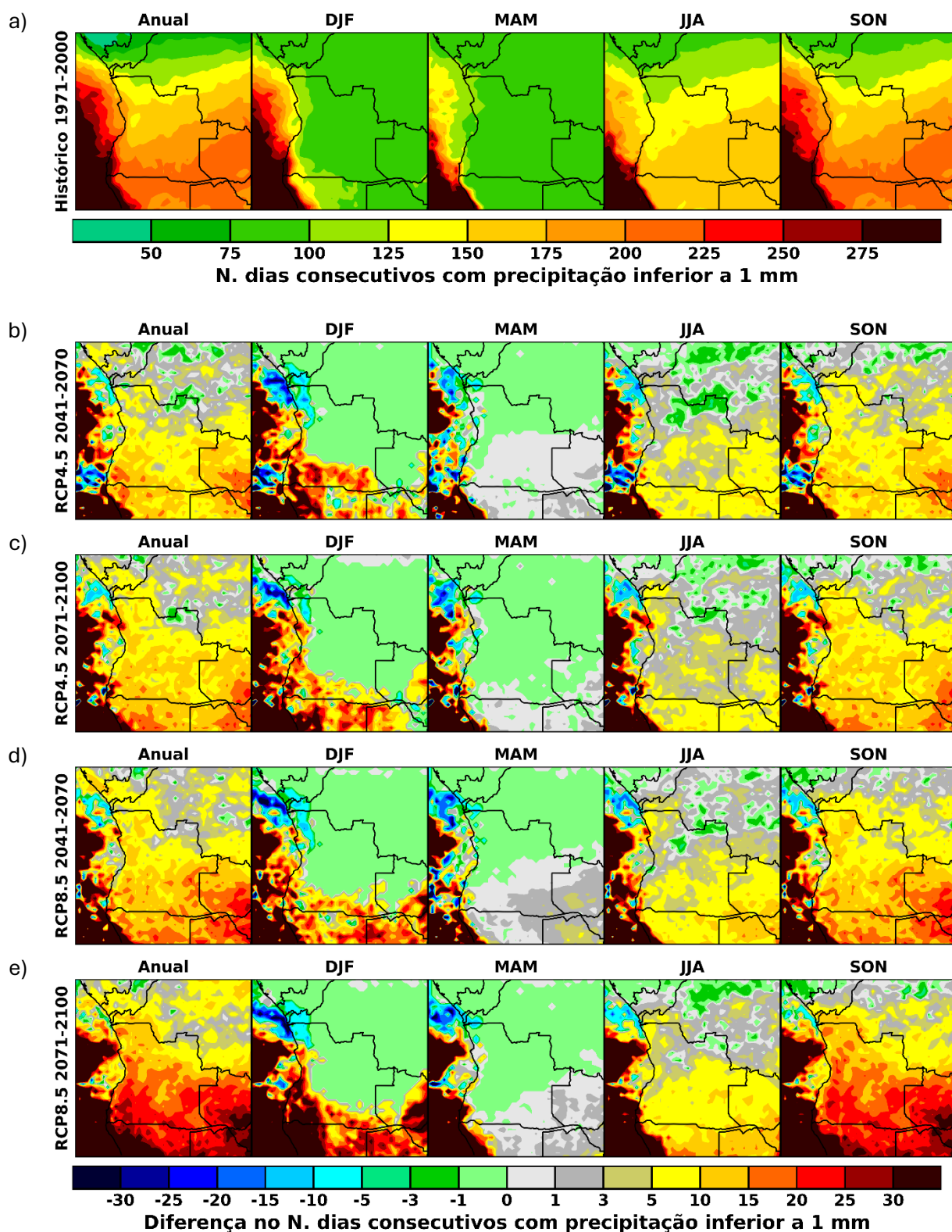


Figura 15 (a) Número de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm para o período histórico (1971-2000) e diferenças no número de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.



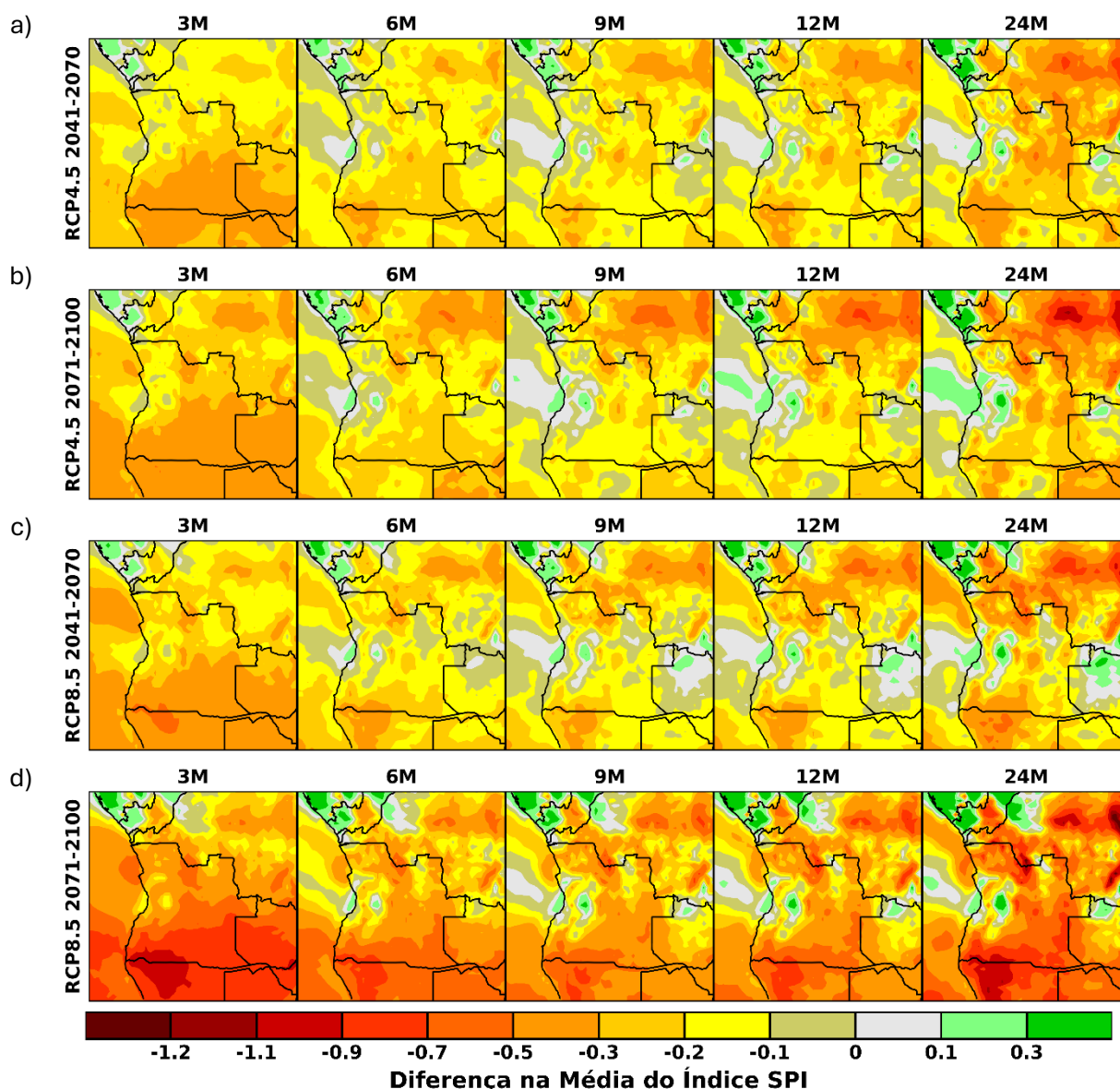


Figura 16 Diferenças no valor médio do índice SPI entre os períodos (a) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (b) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (d) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). As anomalias para os vários períodos futuros são calculadas tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses.

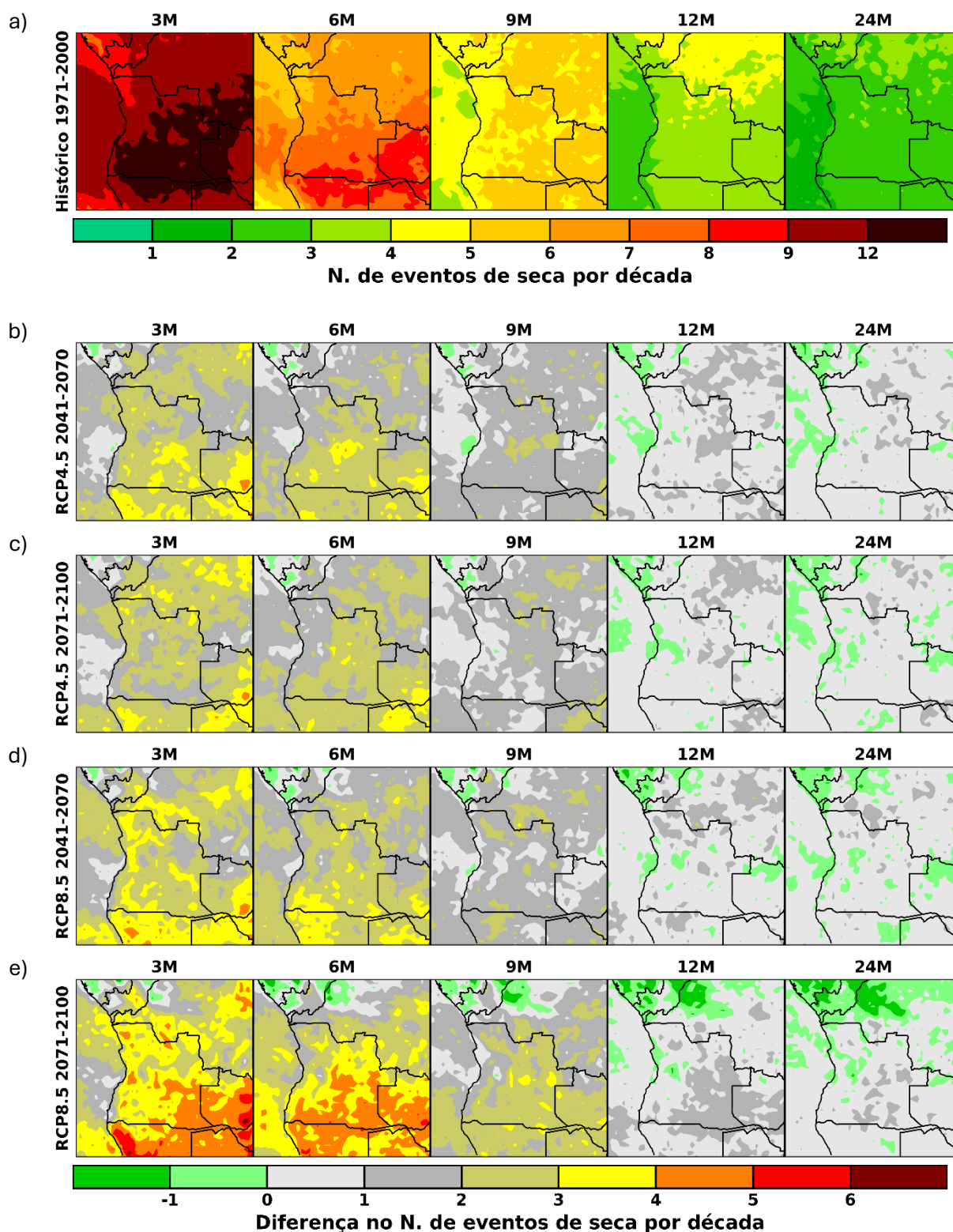


Figura 17 (a) Frequência dos eventos de seca por década para o período histórico (1971-2000) e diferenças na frequência dos eventos de seca por década entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses.

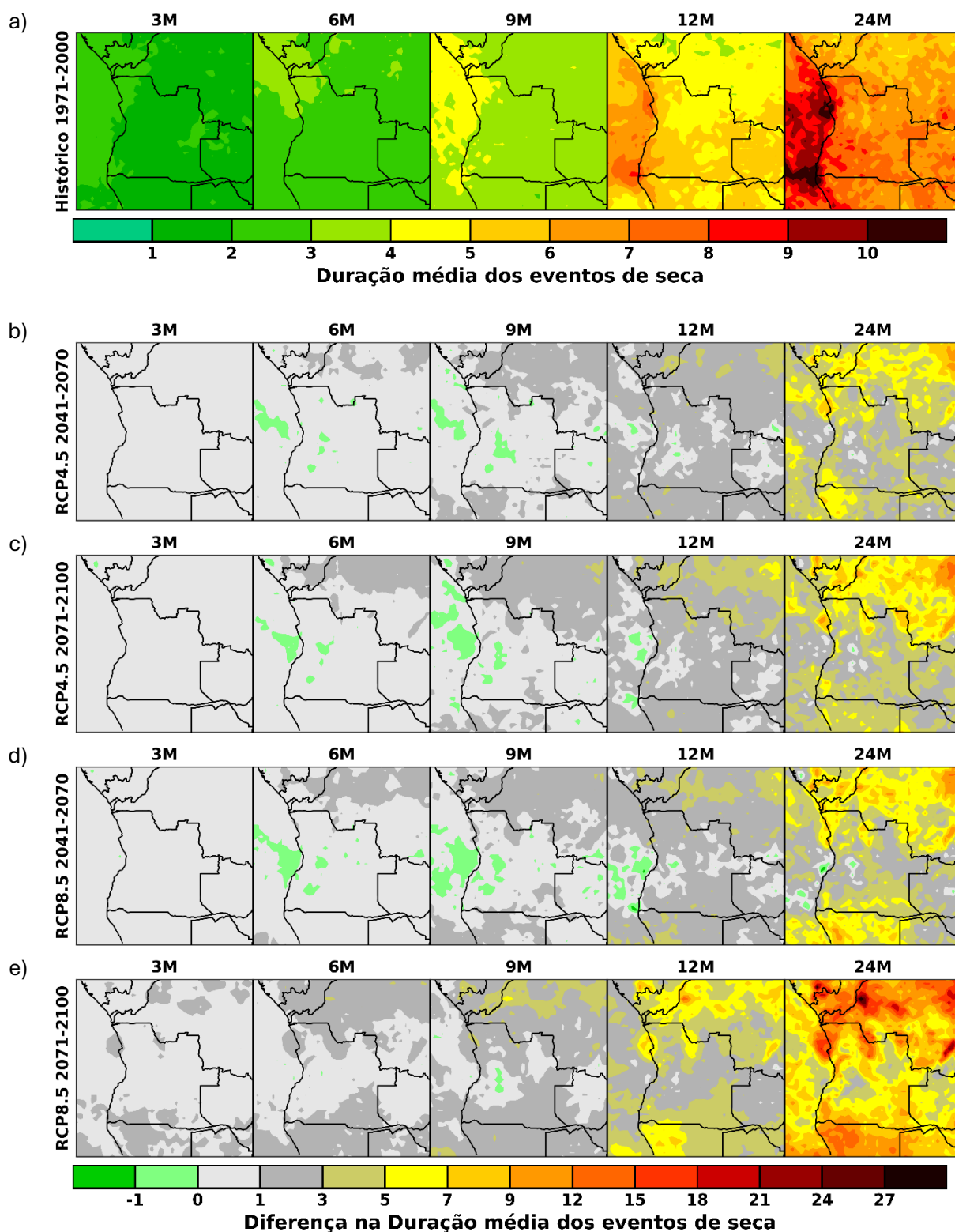


Figura 18 (a) Duração média dos eventos de seca para o período histórico (1971-2000) e diferenças na duração média dos eventos de seca entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2100 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses.

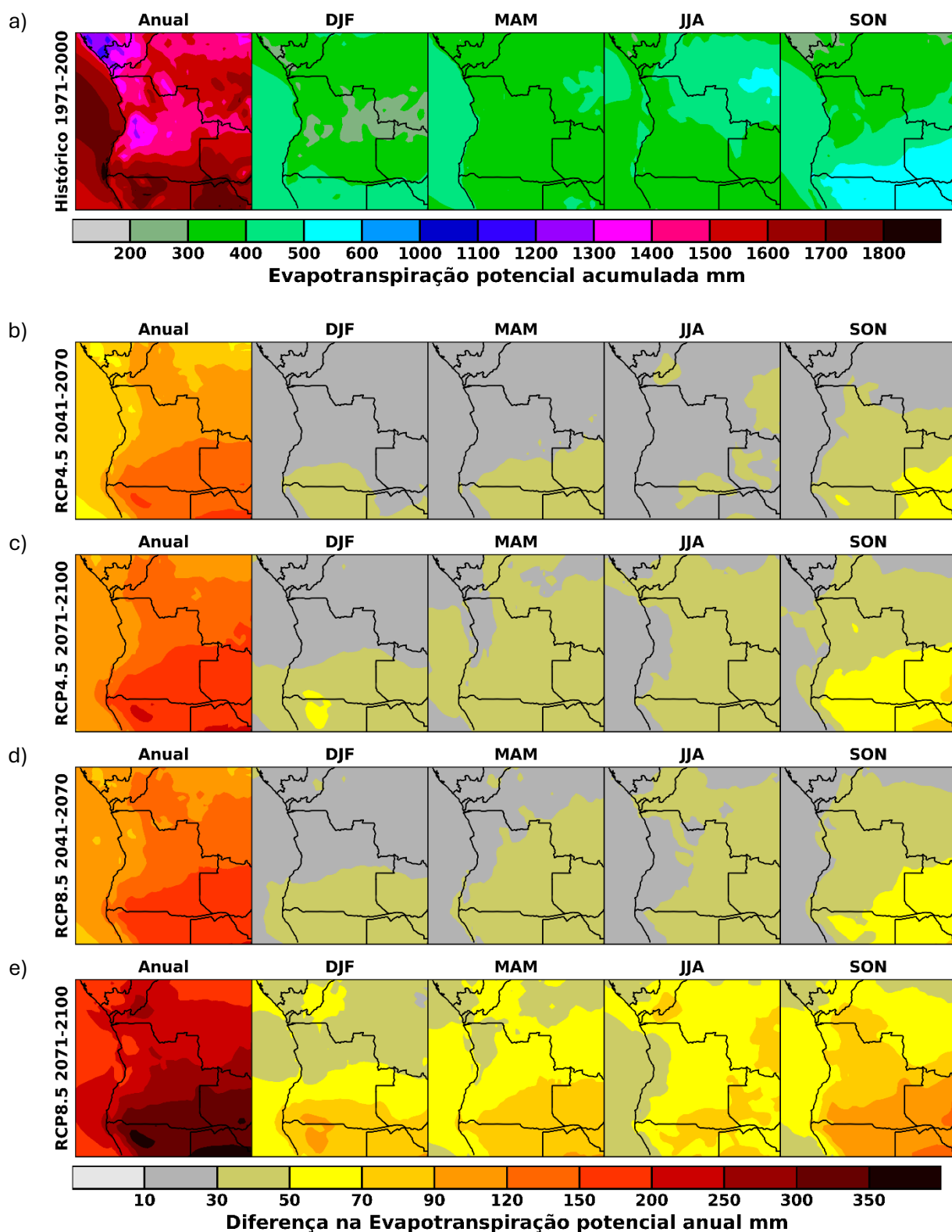


Figura 19 (a) Evapotranspiração acumulada anual e sazonal para o período histórico (1971-2000) e diferenças na Evapotranspiração acumulada anual e sazonal entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa.



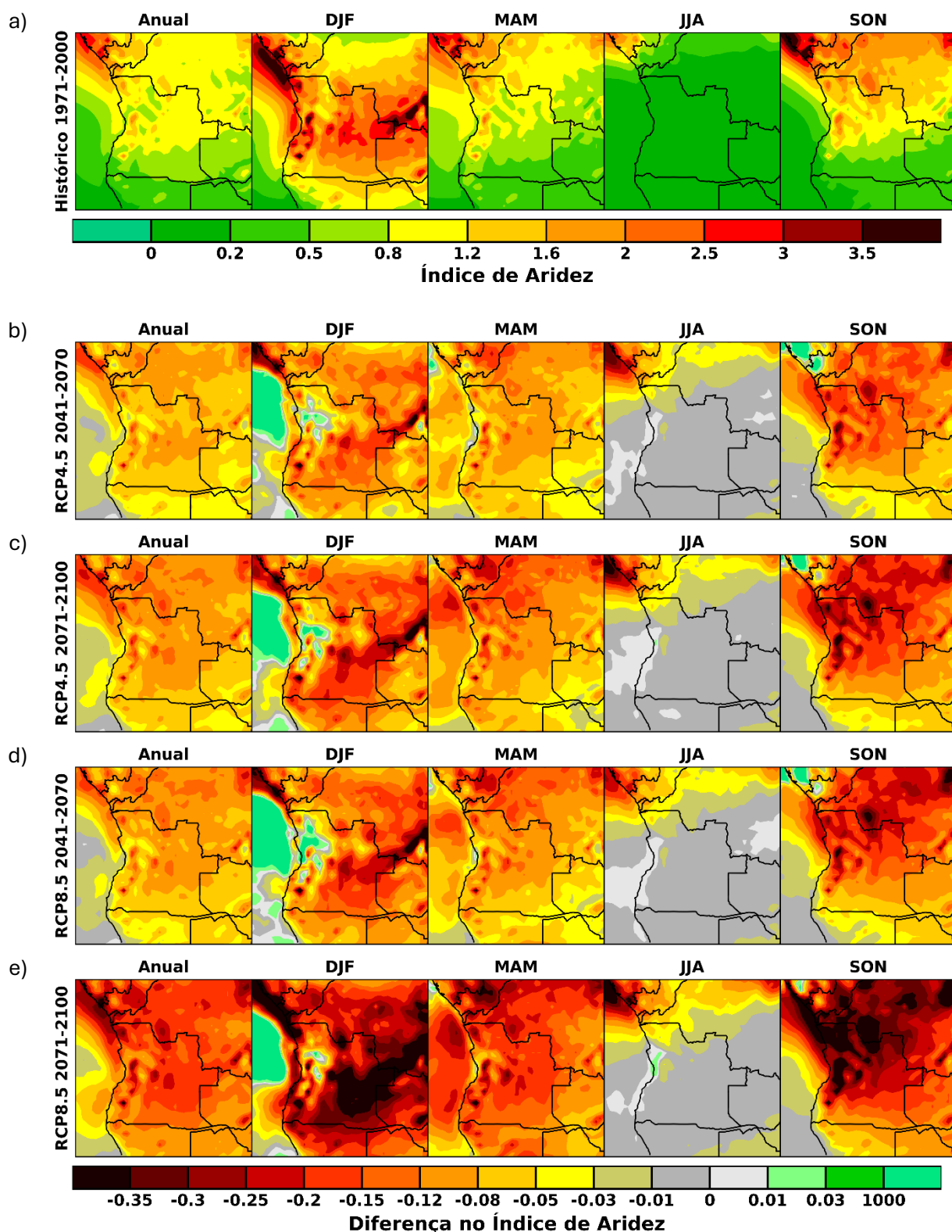


Figura 20 (a) Índice de aridez para o período histórico (1971-2000) e diferenças no índice de aridez entre os períodos (b) 2041-2070 seguindo o cenário RCP4.5, (c) 2071-2000 seguindo o cenário RCP4.5, (d) 2041-2070 seguindo o RCP 8.5 e (e) 2071-2100 seguindo o cenário RCP8.5, em relação à referência histórica (a). Tanto a normal para o período histórico como as anomalias para os vários períodos futuros são calculados tendo em conta o ensemble multimodelo do CORDEX-Africa e considerando o índice SPI para valores inferiores a 1. Os valores 3M, 6M, 9M, 12M, 24M correspondem às escalas de agregação de 3-, 6-, 9-, 12- e 24-meses.

## Considerações finais

As projeções de temperatura e precipitação para o clima médio, bem como dos eventos extremos associados, suportam o facto de que Angola é um país extremamente vulnerável às alterações climáticas, em termos de risco para a saúde pública, produção agrícola e segurança alimentar, recursos hídricos, ecossistemas, entre outros setores. O aquecimento global poderá ter um impacto significativo na população e sua forma de vida, bem como nas perspetivas de desenvolvimento. Pobreza, más condições de habitabilidade e sanitárias, bem como a baixa preparação e resiliência da população de Angola, tornam o país particularmente exposto às alterações climáticas e seus impactos.

As projeções climáticas para o século XXI aqui apresentadas, e também disponibilizadas no portal, são baseadas na última geração de modelos climáticos e apontam para uma clara necessidade de adaptação e mitigação, que deve ser promovida pelos diferentes decisores políticos e empresariais. Importa referir que apesar deste conjunto de dados ser o mais avançado para o conjunto do continente africano, possui ainda uma resolução relativamente baixa, e que por isso os modelos do CORDEX-Africa apresentam algumas limitações, nomeadamente associadas a processos locais como convecção, interações entre a terra e o oceano e ainda na representação grosseira da orografia o que leva a incertezas nas projeções de clima futuro. Portanto, a inclusão de mais cenários socioeconómicos, como os recentemente disponibilizados pelo IPCC no seu 6º relatório, bem como um aumento da resolução dos modelos permitiria oferecer uma visão mais robusta dos impactos. Ainda assim, o uso destes modelos regionais constitui uma mais-valia face aos modelos globais para a região (Soares et al., 2024).

Os resultados apresentados neste relatório estão em consonância com estudos anteriores, mas, de forma mais abrangentes, uma vez que estas projeções climáticas refletem dois cenários futuros de emissões RCP, bem como vários períodos. Para além disso, o presente estudo realçou a importância de fomentar a cooperação entre a comunidade científica, as autoridades nacionais de Angola e as instituições internacionais por forma a promover a mitigação e adaptação aos impactos das alterações climáticas. A implementação e integração de estratégias de mitigação e adaptação nos sistemas de produção agrícola, nos recursos hídricos, nos protocolos de saúde e na gestão dos serviços dos ecossistemas são assim consideradas fundamentais para minimizar os impactos nos sistemas humanos e ambientais. Isto reforça igualmente a necessidade de desenvolver estudos de impactos sectoriais para Angola, a nível regional e local, envolvendo as autoridades nacionais e locais, bem como os diferentes atores relevantes. Um exemplo é o projeto em que este relatório se encontra inserido “Fortalecimento da Resiliência e da Segurança Alimentar e Nutricional em Angola” através da disponibilização de dados para a plataforma de cenários de clima futuro para Angola, nomeadamente a província do Cunene, Huíla e Namibe. Estes estudos são essenciais para avaliar os impactos nos diversos setores económicos e nos sistemas ambientais mais vulneráveis às alterações climáticas em cada região. Adicionalmente, tais estudos constituem ferramentas indispensáveis para os

decisores políticos, permitindo antecipar e prevenir consequências socioeconómicas e humanas.

## Referências

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97), e156. <http://www.climasouth.eu/sites/default/files/FAO%2056.pdf>. (Último acesso em 29 de Julho de 2023)
- Bank, W. (2012). World development indicators 2012. Washington, DC: Development Data Group, The World Bank. <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/> (Último acesso em 4 de Fevereiro de 2025).
- Beguiría, S. and Vicente-Serrano, S. (2023). Package ‘SPEI’. Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. <https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/index.html>.
- Carabine, E., Lemma, A., Dupar, M., & Jones, L. (2014). The IPCC’s Fifth Assessment Report: What’s in it for Africa? Climate and Development Knowledge Network (CDKN). [https://cdkn.org/sites/default/files/files/AR5\\_IPCC\\_Whats\\_in\\_it\\_for\\_Africa.pdf](https://cdkn.org/sites/default/files/files/AR5_IPCC_Whats_in_it_for_Africa.pdf). (Último acesso em 22 de Janeiro de 2025)
- Careto, J. A. M., Cardoso, R. M., Soares, P. M. M., & Trigo, R. M. (2018). Land-Atmosphere Coupling in CORDEX-Africa: Hindcast Regional Climate Simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(19), 11-048. <https://doi.org/10.1029/2018JD028378>.
- Carvalho, S. C. P., Santos, F. D., & Pulquério, M. (2017). Climate change scenarios for Angola: an analysis of precipitation and temperature projections using four RCMs. *International Journal of Climatology*, 37(8), 3398-3412. <https://doi.org/10.1002/joc.4925>.
- Christensen, O. B., Drews, M., Christensen, J. H., Dethloff, K., Ketelsen, K., Hebestadt, I., & Rinke, A. (2007). The HIRHAM regional climate model. Version 5 (beta). <http://www.dmi.dk/dmi/tr06-17>.
- De Sherbinin, A. (2014). Climate change hotspots mapping: what have we learned?. *Climatic change*, 123, 23-37. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0900-7>.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>.
- Dosio, A., & Panitz, H. J. (2016). Climate change projections for CORDEX-Africa with COSMO-CLM regional climate model and differences with the driving global climate models. *Climate Dynamics*, 46, 1599-1625. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2664-4>.
- Dosio, A., Panitz, H. J., Schubert-Frisius, M., & Lüthi, D. (2015). Dynamical downscaling of CMIP5 global circulation models over CORDEX-Africa with COSMO-CLM: evaluation over the present climate and analysis of the added value. *Climate Dynamics*, 44, 2637-2661. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2262-x>.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., Forest, C., Gleckler, P., Guilyardi, E., Jakob, C., Kattsov, V., Reason, C., & Rummukainen, M. (2014). Evaluation of climate models. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (741-866). Cambridge University Press. [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_1977534/component/file\\_3040450/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_1977534/component/file_3040450/content). (Último acesso em 30 de Setembro de 2024).
- Frich, P. A. L. V., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Tank, A. K., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19(3), 193-212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>.
- Giorgi, F., & Mearns, L. O. (1999). Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D6), 6335-6352. <https://doi.org/10.1029/98JD02072>.
- Giorgi, F., Jones, C., & Asrar, G. R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*, 58(3), 175. [http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/cordex/documents/CORDEX\\_giorgi\\_WMO.pdf](http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/cordex/documents/CORDEX_giorgi_WMO.pdf). (Último acesso a 30 de Setembro de 2024)

- Giorgi, F., Coppola, E., Raffaele, F., Diro, G. T., Fuentes-Franco, R., Giuliani, G., ... & Torma, C. (2014). Changes in extremes and hydroclimatic regimes in the CREMA ensemble projections. *Climatic Change*, 125, 39-51. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1117-0>.
- Gutowski Jr, W. J., Giorgi, F., Timbal, B., Frigon, A., Jacob, D., Kang, H. S., Raghavan, K., Lee, B., Lennard, C., Nikulin, G., O'Rourke, E., Rixen, M., Solman, S., Stephenson, T & Tangang, F. (2016). WCRP coordinated regional downscaling experiment (CORDEX): a diagnostic MIP for CMIP6. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-4087-2016>.
- Hewitson, B., Lennard, C., Nikulin, G., & Jones, C. (2012). CORDEX-Africa: a unique opportunity for science and capacity building. *CLIVAR Exchanges*, 17(3), 6-7. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00375.1>. (Último acesso a 12 de Dezembro de 2024)
- Hirst, A. C., & Hastenrath, S. (1983). Atmosphere-ocean mechanisms of climate anomalies in the Angola-tropical Atlantic sector. *Journal of physical oceanography*, 13(7), 1146-1157. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1983\)013<1146:AOMOCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1983)013<1146:AOMOCA>2.0.CO;2).
- Jacob, D., Elizalde, A., Haensler, A., Hagemann, S., Kumar, P., Podzun, R., ... & Wilhelm, C. (2012). Assessing the transferability of the regional climate model REMO to different coordinated regional climate downscaling experiment (CORDEX) regions. *Atmosphere*, 3(1), 181-199. <https://doi.org/10.3390/atmos3010181>.
- Kalognomou, E. A., Lennard, C., Shongwe, M., Pinto, I., Favre, A., Kent, M., Hewitson, B., Dosio, A., Nikulin, G., Panitz, H-J. & Büchner, M. (2013). A diagnostic evaluation of precipitation in CORDEX models over Southern Africa. *Journal of Climate* 26, 9477–9506. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00703.1>.
- Kim, J., Waliser, D. E., Mattmann, C. A., Goodale, C. E., Hart, A. F., Zimdars, P. A., Crichton, D. J., Jones, C., Nikulin, G., Hewitson, B., Jack, C., Lennard, C. & Favre, A., (2014). Evaluation of the CORDEX-Africa multi-RCM hindcast: Systematic model errors. *Climate Dynamics*, 42, 1189–1202. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1751-7>.
- Klein-Tank, A. M., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., van Engelen, A. F. V., Forland, E., Mielus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., López J. A., Dahlstöm, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachliuk, O., Alexander, L. V., & Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(12), 1441-1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>.
- Klok, E. J., & Klein-Tank, A. M. G. (2009). Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(8), 1182-1191. <https://doi.org/10.1002/joc.1779>.
- Kotlarski, S., Szabó, P., Herrera, S., Rätty, O., Keuler, K., Soares, P. M., ... & Pianko-Kluczyńska, K. (2019). Observational uncertainty and regional climate model evaluation: a pan-European perspective. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5249>.
- Laprise, R. (2008). Regional climate modelling. *Journal of computational physics*, 227(7), 3641-3666. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2006.10.024>.
- Laprise, R., Hernández-Díaz, L., Tete, K., Sushama, L., Šeparović, L., Martynov, A., ... & Valin, M. (2013). Climate projections over CORDEX Africa domain using the fifth-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM5). *Climate Dynamics*, 41, 3219-3246. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1651-2>.
- Lima, D. C., Soares, P. M., Semedo, A., & Cardoso, R. M. (2018). A global view of coastal low-level wind jets using an ensemble of reanalyses. *Journal of Climate*, 31(4), 1525-1546. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0395.1>.
- Lima, D. C., Soares, P. M., Semedo, A., Cardoso, R. M., Cabos, W., & Sein, D. V. (2019a). A climatological analysis of the Benguela coastal low-level jet. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(7), 3960-3978. <https://doi.org/10.1029/2018JD028944>.
- Lima, D. C., Soares, P. M., Semedo, A., Cardoso, R. M., Cabos, W., & Sein, D. V. (2019b). How will a warming climate affect the Benguela coastal low-level wind jet?. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(9), 5010-5028. <https://doi.org/10.1029/2018JD029574>.

- Lima, D. C., Soares, P. M., Nogueira, M., & Semedo, A. (2022). Global coastal low-level wind jets revisited through the new ERA5 reanalysis. *International Journal of Climatology*, 42(9), 4491-4507. <https://doi.org/10.1002/joc.7482>.
- Lucas-Picher, P., Laprise, R., & Winger, K. (2017). Evidence of added value in North American regional climate model hindcast simulations using ever-increasing horizontal resolutions. *Climate Dynamics*, 48, 2611-2633. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3227-z>,
- Mariotti, L., Diallo, I., Coppola, E., & Giorgi, F. (2014). Seasonal and intraseasonal changes of African monsoon climates in 21st century CORDEX projections. *Climatic change*, 125, 53-65. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1097-0>.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M., Mathews, J. B. R., Berger, S., Huang, M., Yeleçi, O., Yu, R., Zhou, B., Lonnoy, E., Maycock, T. K., Waterfield, T., Leitzell, K., & Caud, N. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf). (Último acesso em 30 de Setembro de 2024).
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., & Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>.
- Munday, C., & Washington, R. (2017). Circulation controls on southern African precipitation in coupled models: The role of the Angola low. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(2), 861-877. <https://doi.org/10.1002/2016JD025736>.
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., et al. (2014). Africa. In: Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L. Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea P. R. & White L. L. (Eds.), *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel of climate change* (pp. 1199–1265). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Nikulin, G., Jones, C., Giorgi, F., Asrar, G., Büchner, M., Cerezo-Mota, R., ... & Sushama, L. (2012). Precipitation climatology in an ensemble of CORDEX-Africa regional climate simulations. *Journal of Climate*, 25(18), 6057-6078. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00375.1>.
- Panitz, H. J., Dosio, A., Büchner, M., Lüthi, D., & Keuler, K. (2014). COSMO-CLM (CCLM) climate simulations over CORDEX-Africa domain: analysis of the ERA-Interim driven simulations at 0.44 and 0.22 resolution. *Climate dynamics*, 42, 3015-3038. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1834-5>.
- Patricola, C. M., & Chang, P. (2017). Structure and dynamics of the Benguela low-level coastal jet. *Climate Dynamics*, 49, 2765-2788. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3479-7>.
- Pelling, M., & Wisner, B. (2012). *Disaster risk reduction: Cases from urban Africa*. Routledge. [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=zrgeBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=f11rjTcKWF&sig=M-ySlK7bir6ZLg5NpGjLay8PONU&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=zrgeBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=f11rjTcKWF&sig=M-ySlK7bir6ZLg5NpGjLay8PONU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (Último acesso em 4 de Fevereiro de 2025).
- Reason, C. J. C., Landman, W., & Tennant, W. (2006). Seasonal to decadal prediction of southern African climate and its links with variability of the Atlantic Ocean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(7), 941-956. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-7-941>.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). CO<sub>2</sub> emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-emissions?ref=michaeltefula.com> (Último acesso em 4 de Fevereiro de 2025)
- Rockel, B., Will, A. & Hense, A. (2008). The regional climate model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorol. Z.* 17 (4), 347. [https://www.researchgate.net/profile/Andreas-Hense/publication/240669113\\_The\\_regional\\_climate\\_model\\_COSMO-CLM\\_CCLM/links/0c96052d1993f9b935000000/The-regional-climate-model-COSMO-CLM-CCLM.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andreas-Hense/publication/240669113_The_regional_climate_model_COSMO-CLM_CCLM/links/0c96052d1993f9b935000000/The-regional-climate-model-COSMO-CLM-CCLM.pdf) (Último acesso em 28 de Janeiro de 2025)



- Rummukainen, M. (2010). State-of-the-art with regional climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 82-96. <https://doi.org/10.1002/wcc.8>.
- Rummukainen, M. (2016). Added value in regional climate modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1), 145-159.
- Samuelsson, P., Jones, C. G., Willén, U., Ullerstig, A., Gollvik, S., Hansson, U. L. F., ... & Wyser, K. (2011). The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63(1), 4-23. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00478.x>.
- Scinocca, J. F., Kharin, V. V., Jiao, Y., Qian, M. W., Lazare, M., Solheim, L., ... & Dugas, B. (2016). Coordinated global and regional climate modeling. *Journal of Climate*, 29(1), 17-35. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0161.1>.
- Soares, P. M., Cardoso, R. M., Miranda, P. M., de Medeiros, J., Belo-Pereira, M., & Espirito-Santo, F. (2012). WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Climate dynamics*, 39, 2497-2522. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1315-2>.
- Soares, P. M., Cardoso, R. M., Semedo, Á., Chinita, M. J., & Ranjha, R. (2014). Climatology of the Iberia coastal low-level wind jet: weather research forecasting model high-resolution results. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 66(1), 22377. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v66.22377>.
- Soares, P. M., Careto, J. A., Cardoso, R. M., Goergen, K., & Trigo, R. M. (2019a). Land-atmosphere coupling regimes in a future climate in Africa: from model evaluation to projections based on CORDEX-Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(21), 11118-11142. <https://doi.org/10.1029/2018JD029473>.
- Soares, P. M., Brito, M. C., & Careto, J. A. (2019b). Persistence of the high solar potential in Africa in a changing climate. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab51a1>.
- Soares, P. M., Careto, J. A., Russo, A., & Lima, D. C. (2023). The future of Iberian droughts: a deeper analysis based on multi-scenario and a multi-model ensemble approach. *Natural Hazards*, 117(2), 2001-2028. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05938-7>.
- Soares, P. M., Careto, J. A., & Lima, D. C. (2024). Future extreme and compound events in Angola: CORDEX-Africa regional climate modelling projections. *Weather and Climate Extremes*, 45, 100691. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100691>.
- Stocker, T. F., Dahe, Q., Plattner, G.-K., Alexander, L. V., Allen, S. K., Bindoff, N. L., Bréon, F.-M., Church, J. A., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J. M., Hartmann, D. L., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Kanikicharla, K. K., Lemke, P., Marotzke, J., Masson-Delmotte, V., Meehl, G. A., Mokhov, I. I., Piao, S., Ramaswamy, V., Randall, D., Rhein, M., Rojas, M., Sabine, C., Shindell, D., Talley, L. D., Vaughan, D. G., Xie, S.-P., Allen, M. R., Boucher, O., Chambers, D., Christensen, J. H., Ciais, P., Clark, P. U., Collins, M., Comiso, J. C., Vasconcellos de Menezes, V., Feely, R. A., Fichet, T., Flato, G., González Rouco, J. F., Hawkins, E., Hezel, P. J., Johnson, G. C., Josey, S. A., Kaser, G., Klein Tank, A. M. G., Körper, J., Myhre, G., Osborn, T., Power, S. B., Rintoul, S. R., Rogelj, J., Rusticucci, M., Schulz, M., Sedláček, J., Stott, P. A., Sutton, R., Thorne, P. W., Wuebbles, D., Joussaume, S., Penner, J., & Tangang, F. (2013). Technical summary. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 33-115). Cambridge University Press. [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_1977530/component/file\\_1977527/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_1977530/component/file_1977527/content). (Último acesso em 2 de Outubro de 2024.)
- United Nations. (2022). *World Population Prospects—Summary of Results*. [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf). (Último acesso em 4 de Fevereiro de 2025)
- van Meijgaard, E., Van Ulft, L. H., Van de Berg, W. J., Bosveld, F. C., Van den Hurk, B. J. J. M., Lenderink, G., & Siebesma, A. P. (2008). The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1 (p. 43). De Bilt, The Netherlands: KNMI. <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmi/TR302.pdf> (Último acesso 4 de Fevereiro de 2025).
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.

- Vicente-Serrano, S. M. (2006). Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula. *Water resources management*, 20, 37-60. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-2974-8>.
- Wang, D., Gouhier, T. C., Menge, B. A., & Ganguly, A. R. (2015). Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change. *Nature*, 518(7539), 390-394. <https://doi.org/10.1038/nature14235>.