

# ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E ENERGIA NO CONTEXTO DOS AÇORES

por

FERNANDA CARVALHO, MARIA MEIRELLES,  
DIAMANTINO HENRIQUES & PATRICIA NAVARRO

**Sumário:** O setor da energia é o maior contribuinte para as emissões de gases com efeito de estufa à escala global, mas poderá também ser seriamente afetado devido às alterações climáticas, colocando em causa os atuais padrões de consumo da sociedade. As projeções climáticas obtidas por um conjunto de modelos numéricos de circulação global são geralmente utilizadas para simular o clima até ao final do século com base em cenários de emissões mais ou menos poluentes. Com exceção da produção de energia solar, os resultados obtidos para a região dos Açores mostram impactos geralmente negativos para a produção e consumo de energias renováveis.

**Summary:** The energy sector is the largest contributor to greenhouse gas emissions on a global scale, but it could also be seriously affected due to climate change, jeopardizing society's current consumption behaviors. The climate projections obtained by a set of numerical models of global circulation are generally used to simulate the climate until the end of the century based on polluting emission scenarios. Except for solar energy production, the results obtained for the Azores region show generally negative impacts for the production and consumption of renewable energy.

**Palavras-chave:** Açores, Alterações Climáticas, Energia, Projeções Climáticas, CMIP.

**Key-words:** Azores, Climate Change, Energy, Climate Projections, CMIP.

## 1. INTRODUÇÃO

O Clima da Terra é o resultado de um enorme conjunto de interações não lineares entre vários subsistemas: Atmosfera, Criosfera, Hidrosfera, Litosfera

e Biosfera (Peixoto & Oort, 1992). Ao longo de 4,5 mil milhões de anos, o Clima da Terra sofreu muitas variações em resultado de fatores externos e internos. O termo Alterações Climáticas (AC) tem sido adotado como uma mudança do clima devida a causas naturais ou antropogénicas. A *United Nations Frame Convention on Climate Change* (UNFCCC) tem uma definição mais restrita, considerando que uma AC é qualquer alteração no Clima que resulte de alterações na composição da atmosfera global que direta ou indiretamente sejam atribuídas à atividade humana (UNFCCC, 1992). Neste contexto, o aumento da temperatura do ar à superfície observado durante os últimos 150 anos à escala global em resultado do aumento de certos gases com efeito de estufa libertados em resultado da atividade humana, especialmente desde o início da revolução industrial, constitui uma evidência de AC em ambas as definições.

Na raiz da revolução industrial esteve a possibilidade de se produzir grandes quantidades de energia a partir de combustíveis de origem fóssil. O homem encarregou-se de encontrar tecnologias para extrair e armazenar facilmente estes combustíveis (carvão e hidrocarbonetos) durante mais de 150 anos. Na prática, tratou-se de uma transferência de massa da Litosfera para a Atmosfera. A energia, acumulada nas profundezas da Litosfera durante centenas de milhões de anos, tem sido a base do desenvolvimento da Humanidade até aos dias de hoje. Ao mesmo tempo, alguns produtos resultantes da produção dessa energia, têm vindo a acumular-se na Atmosfera a um ritmo quase exponencial. Um destes produtos é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o qual é também libertado na respiração dos organismos aeróbicos; no caso decorrente da utilização de combustíveis fósseis, o átomo de carbono da molécula de  $\text{CO}_2$  não se encontrava originalmente na Atmosfera, mas no subsolo. O  $\text{CO}_2$  é também um poderoso gás com efeito de estufa, isto é, absorve fortemente a radiação de longo comprimento de onda (infravermelha) que é emitida pela terra e pela própria atmosfera, aumentando ainda mais a temperatura da atmosfera junto à superfície. O aumento da temperatura do ar tem por sua vez impactos diretos na Hidrosfera (aumento do nível médio do mar, acidificação dos oceanos, etc.), na Criosfera (degelo de calotes polares, glaciares, diminuição do albedo, etc.), na Litosfera (diminuição do permafrost, libertação de  $\text{CH}_4$ , aumento de superfície sem gelo, etc.) e na Biosfera (extinção de espécies, etc.).

Curiosamente, as AC têm impactos significativos nos atuais processos de produção de energia (T., Bruckner et al, 2014). A eficiência dos reatores térmicos diminui com o aumento da temperatura e, por outro lado, o aumento

do consumo de energia para arrefecimento representa um problema que será agravado numa atmosfera mais quente. Nestas condições, o modelo atual de produção e consumo de energia encontra-se ameaçado por um problema que tem na sua origem o próprio modelo, baseado na extração de combustíveis fósseis.

Na *Região Autónoma dos Açores* (RAA), apesar dos esforços na implementação de energias renováveis, a dependência dos combustíveis fósseis para a produção de energia continua a ser elevada. Apenas 33% da energia elétrica produzida na RAA em 2016 foi de origem renovável (SREAT & DRA, 2017). Em 2016, as principais fontes de energia renovável na RAA eram de origem geotérmica (19%), eólica e hídrica (13%). Considerando que a dependência energética é também ela própria condicionada pelas condições atmosféricas (por exemplo, o transporte marítimo de combustíveis), o impacto das AC no setor energético na RAA será muito relevante.

Neste trabalho são apresentados alguns resultados de projeções climáticas obtidas para a região dos Açores, baseadas em dois dos quatro cenários RCP (*Representative Concentration Pathways*) mais citados e que poderão ser de utilidade em futuros estudos de impacto.

## 2. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA OS AÇORES

Para este estudo foram utilizados os resultados dos modelos acoplados CMPI5 (*Coupled Model Intercomparison Phase 5*) para a região dos Açores compreendida entre os paralelos 37°N e 40°N e os meridianos 32°W e 25°W e para os cenários de trajetórias representativas de concentrações RCP 4.5 e 8.5. A maior parte dos dados climáticos e projeções do CMIP5 utilizados neste trabalho encontram-se disponíveis gratuitamente no portal *Climate Explorer* (<https://climexp.knmi.nl/>) do KNMI (*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*).

### 2.1 TEMPERATURA DO AR

O aumento da temperatura do ar à superfície observado à escala global durante as últimas décadas é também verificado na região dos Açores. No gráfico da Figura 1 encontra-se representado um subconjunto da série temporal das anomalias anuais da temperatura do ar à superfície relativamente ao período

de referência de 1961-1990, estimadas pelo *Goddard Institute for Space Studies* da NASA (GISTEMP) para a área geográfica em estudo.

É notória a tendência positiva, sobretudo desde a década de 70 do século passado. Nos últimos 30 anos, a temperatura do ar à superfície na região dos Açores é cerca de  $0,7 \pm 0,3^\circ\text{C}$  maior do que há 50 anos atrás e, de acordo com as projeções climáticas disponíveis, este desvio será ainda maior nas próximas décadas deste século (Carvalho F. et al., 2020). No gráfico da Figura 1 encontram-se também representadas as projeções das anomalias da temperatura do ar à superfície para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para a região dos Açores até ao final do século XXI, obtidas a partir da média do conjunto de modelos acoplados do projeto CMIP5. As diferenças entre as projeções e o GISTEMP entre 1880 e 2006 resultam principalmente da redução da variabilidade nas projeções após a média dos vários modelos. No entanto, verifica-se que os modelos reproduzem razoavelmente bem a tendência desde os anos 70 do século passado.

O aumento de temperatura projetado até o final do século XXI (2071-2100) encontra-se entre  $1,7 \pm 0,1^\circ\text{C}$  (RCP 4.5) e  $3,0 \pm 0,3^\circ\text{C}$  (RCP 8.5) relativamente aos valores de referência de 1961-1990. No cenário mais desfavorável (RCP 8.5), a diferença entre as temperaturas dos últimos 30 anos (1991-2020) e os últimos 30 anos deste século (2071-2100) é de 2 a  $3^\circ\text{C}$  para grande parte do Atlântico Norte (Figura 2).

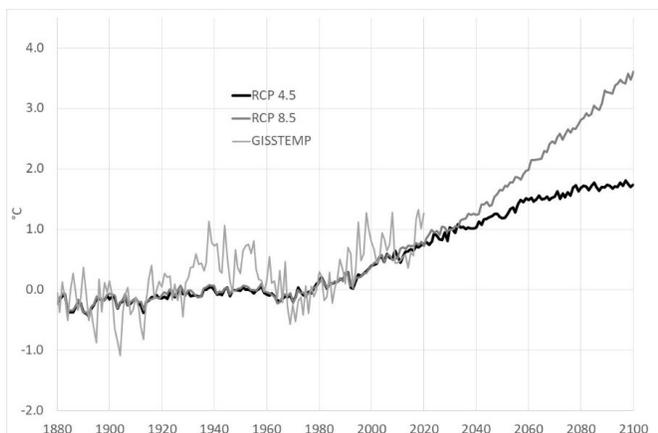
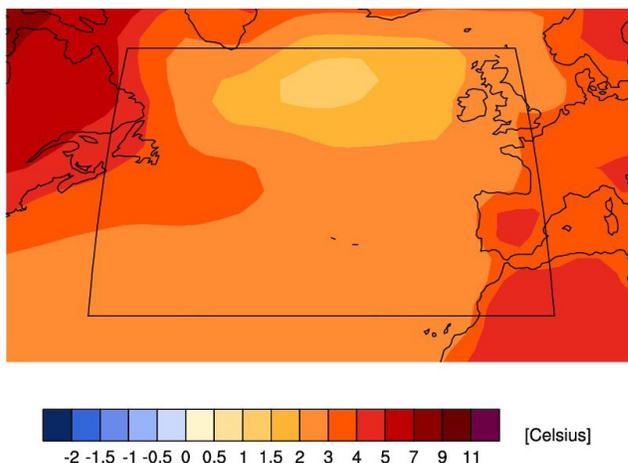


FIGURA 1: Anomalias anuais da temperatura do ar à superfície estimadas para a região dos Açores desde 1880 (GISTEMP) e projeções para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2100.

FIGURA 2: Diferenças do campo da temperatura média anual do ar à superfície projetadas para o cenário RCP 8.5 entre os períodos 2071-2100 e 1991-2020.



Contudo, interessa também analisar a evolução das alterações da temperatura do ar ao longo do ano. No gráfico da Figura 3 encontram-se representadas as alterações das temperaturas médias mensais projetadas para o final do século XXI (2071-2100) relativamente ao passado recente (1991-2020) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Verifica-se que a temperatura aumenta em todos os meses, mas não da mesma forma. Os aumentos nos meses de verão, especialmente no mês de agosto, são maiores que nos restantes meses, podendo mesmo superar 3°C para o cenário RCP 8.5 e 1,5°C no cenário RCP 4.5. O aumento menor verifica-se na primavera (abril). Por outro lado, estima-se um aumento da amplitude térmica anual de cerca de 0,6°C para o cenário RCP 4.5 e de 1,2°C para o RCP 8.5. Em resumo, as alterações da temperatura do ar projetadas para o cenário RCP 8.5 correspondem a cerca do dobro das do cenário RCP 4.5.

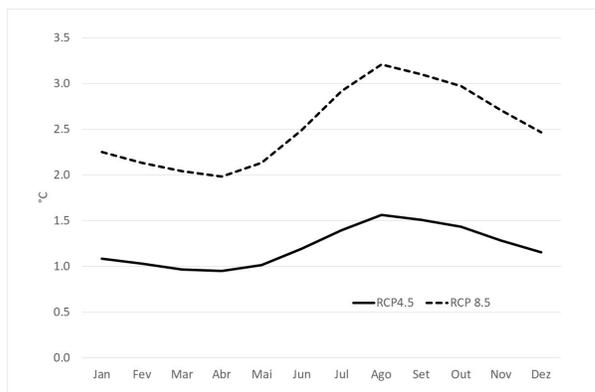


FIGURA 3: Alterações das temperaturas médias mensais projetadas para 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 1991-2020.

### 2.1.1 ENERGIA GEOTÉRMICA E TÉRMICA

Cerca de 86% da energia elétrica produzida na RAA em 2016 era de origem térmica e geotérmica (SREAT, DRA, 2017). No entanto, o rendimento das máquinas térmicas depende em geral das condições de temperatura ambiente, sendo que o mesmo diminui com o aumento da temperatura do ar. Nestas condições espera-se que, de uma forma geral, o rendimento desta forma de produzir energia diminua no futuro, mais no verão e menos na primavera. No caso das centrais a combustão, será necessário consumir mais combustível. O relatório do *Plano Regional para as Alterações Climáticas dos Açores* (PRAC), apresenta uma relação bem definida entre a potência média geotérmica produzida na ilha de São Miguel (CAOS, 2017). A utilização destas relações e os resultados das projeções atrás obtidos permitem estimar que as reduções médias de potência geotérmica até ao final do século, decorrentes apenas do aumento da temperatura do ar, são da ordem de 0,5 % a 2 % para os cenários RCP em estudo.

Por outro lado, uma grande parte do consumo de energia destina-se ao funcionamento de sistemas de refrigeração e de ar condicionado. Num clima mais quente, sobretudo no verão, será necessário consumir mais energia. Baseados nos resultados do PRAC para a dependência da energia de carga, estima-se que os aumentos do consumo de energia devidos apenas ao aumento médio anual da temperatura do ar em São Miguel até o final do século, sejam da ordem de 2,5% e 6% para os cenários atrás mencionados.

Em resumo, os impactos das AC na produção e no consumo de energia térmica e geotérmica são francamente negativos para a RAA.

### 2.2 PRECIPITAÇÃO

Os efeitos do aquecimento global na evolução e distribuição da precipitação não são evidentes. Se por um lado é esperado um aumento da evaporação e da quantidade de vapor de água na atmosfera, não é óbvio que isto se traduza num aumento equivalente de precipitação (Carvalho et al., 2020). Os processos de evaporação e precipitação são muito complexos e os modelos mais avançados recorrem ainda a parametrizações ou representações grosseiras para resolver estes mecanismos na atmosfera. De forma análoga à temperatura, encontram-se representadas na Figura 4 as anomalias anuais da quantidade de precipitação média anual estimadas para a região dos Açores desde 1900 pelo *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) do DWD (*Deutsche*

Wetterdienst), bem como as projeções para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2100 para a mesma área em estudo.

Neste caso, não é claro que exista uma tendência estatisticamente significativa, no entanto as quantidades anuais de precipitação nos últimos 30 anos desta série (1987-2016) são cerca de  $0,13 \pm 0,51$  mm/dia ( $49,7 \pm 187$  mm/ano) inferiores aos valores de referência de 1961-1990.

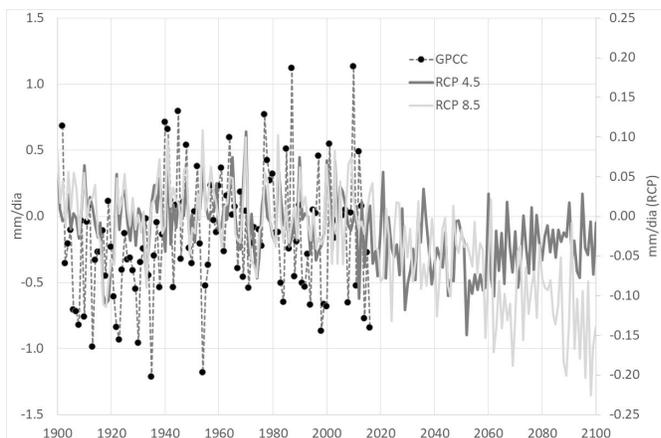
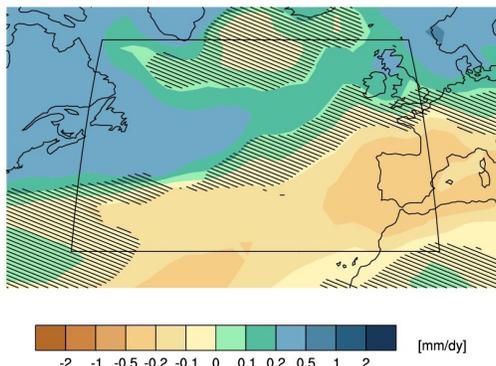


FIGURA 4: Anomalias anuais da quantidade de precipitação média anual estimadas para a região dos Açores desde 1900 (GPCC) e projeções para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2100.

No entanto, as projeções do CMIP5 apresentam comportamentos distintos, apontando para uma diminuição até a década de 60 deste século em ambos os cenários, RCP 4.5 e RCP 8.5, mas recuperando no primeiro caso e agravando-se no segundo.

A variação de precipitação projetada até ao final do século XXI (2071-2100) encontra-se entre  $-0,03 \pm 0,03$  mm/dia e  $-0,11 \pm 0,05$  mm/dia relativamente aos valores de referência de 1961-1990. No cenário mais desfavorável (RCP 8.5), a diferença entre as quantidades médias anuais de precipitação dos últimos 30 anos (1991-2020) e os últimos 30 anos deste século (2071-2100) é de  $-0,1$  e  $-0,2$  mm/dia para a região do Atlântico adjacente que inclui os grupos central e oriental dos Açores (Figura 5). As diferenças projetadas para o grupo ocidental encontram-se, porém dentro da variabilidade natural da precipitação nesta zona do Atlântico.

FIGURA 5: Diferenças do campo da precipitação média anual projetadas para o cenário RCP 8.5 entre os períodos 2071-2100 e 1991-2020.



Relativamente à evolução das alterações da precipitação ao longo do ano, o gráfico da Figura 6 apresenta as alterações das quantidades de precipitação médias mensais projetadas para o final do século XXI (2071-2100) relativamente ao passado recente (1991-2020) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Verifica-se que para os meses de janeiro e fevereiro há claramente um aumento de precipitação em ambos os cenários enquanto para os meses de abril a julho e de setembro a novembro há uma diminuição. Para os meses de março, agosto e dezembro, a diminuição no cenário RCP 8.5 é clara, mas o aumento no cenário RCP 4.5 é mínimo. Estes resultados revelam por um lado uma redução da precipitação de final de primavera e início de verão e, por outro, um aumento da precipitação do final de inverno, acentuando as diferenças sazonais. Estas diferenças são obviamente maiores para o cenário RCP 8.5 em cerca de 0,43 mm/dia ou 13 mm/ano.

Será pertinente lembrar neste ponto que as projeções utilizadas no presente trabalho correspondem a escalas espaciais superiores à escala das ilhas açorianas e, neste contexto, deverão ser interpretadas com algum cuidado.

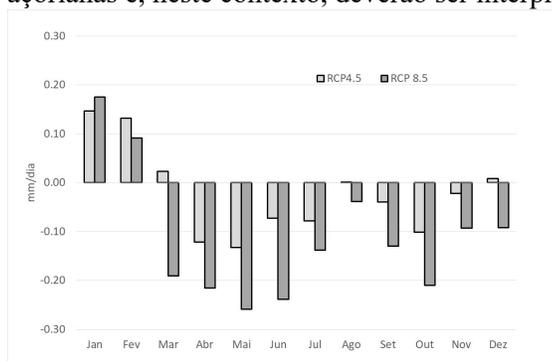


FIGURA 6: Alterações das quantidades médias mensais de precipitação projetadas para 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 1991-2020.

### 2.2.1 ENERGIA HÍDRICA

A produção de energia hídrica nos Açores representa atualmente uma fonte de energia renovável alternativa, em conjunto com a energia eólica, na maior parte das ilhas da RAA. A precipitação não é o único fator a ter em conta para a avaliação do impacto nos recursos hídricos e, mais especificamente, na sua componente energética; contudo a RAA não possui reservatórios de água superficial para o armazenamento da água da precipitação sob a forma de energia potencial para produção de energia elétrica. A produção de energia hídrica conta apenas com a água de nascentes e de ribeiras cujo caudal depende muito da precipitação que ocorre num dado momento. Nestas condições, a energia hídrica depende muito da regularidade da precipitação ao longo do ano. Os resultados das projeções atrás apresentados apontam para um agravamento da disponibilidade de energia hídrica durante alguns meses do ano que poderá ser acentuada em períodos de ausência de precipitação. Por exemplo, de acordo com o cenário RCP8.5, estima-se até ao final de 2100 o aumento dos períodos de seca em 4,8 dias/ano (Carvalho F. et al., 2020).

### 2.3 RADIAÇÃO SOLAR

Embora a radiação solar absorvida diretamente pela atmosfera durante um ano seja apenas cerca de 20% do total que incide no seu topo, cerca de 50 % é absorvida pela superfície da Terra. Neste balanço as nuvens desempenham um papel crítico pois refletem cerca de 20 % a 30% dessa radiação para o espaço. Tal como no caso da precipitação, os efeitos do aquecimento global na quantidade e distribuição da nebulosidade e consequentemente na radiação solar à superfície não são evidentes.

Na Figura 7 encontram-se representadas as anomalias anuais da irradiância solar à superfície relativamente ao período de 1981-2010 estimadas para a região dos Açores desde 1980 pelo *Climate Monitoring - Satellite Application Facility* (CM-SAF) da *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), bem como as projeções<sup>1</sup> para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2100 para a mesma área em estudo.

---

1 Período de referência: 1961-1990.

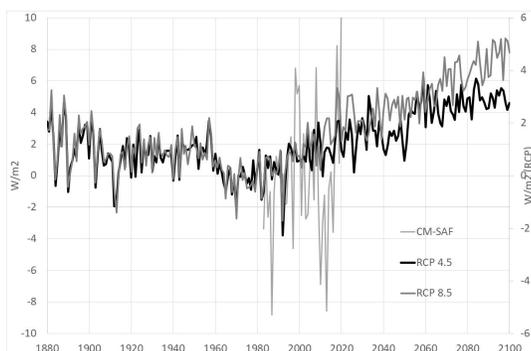


FIGURA 7: Anomalias anuais da irradiância solar anual à superfície estimadas para a região dos Açores desde 1880 (CM-SAF) e projeções para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2100.

A série temporal disponível possui cerca de 40 anos e apresenta uma pequena tendência positiva, mas estatisticamente não significativa. No entanto, as projeções em ambos os cenários parecem confirmar a existência de uma tendência positiva durante este período, a qual se prolonga até o final do século; tal sugere, que este aumento resulta de uma diminuição da nebulosidade de larga escala associada aos sistemas de escala sinótica confirmando, assim, a tendência de diminuição da precipitação atrás discutida. As projeções climáticas apontam para um aumento até o final deste século de  $2,9 \pm 0,4 \text{ Wm}^{-2}$  e de  $4,2 \pm 0,6 \text{ Wm}^{-2}$  para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 respetivamente, relativamente ao período de referência de 1961-1991. A Figura 8 apresenta a diferença relativa entre os campos da irradiância média anual à superfície para a região do Atlântico Norte no final do século XXI (2071-2100) e no passado recente (1991-2020) para o cenário RCP 8.5. Estas projeções mostram um aumento da irradiância anual até 2%, que abrange uma extensa área do Atlântico Norte subtropical e que poderá estar relacionado com a expansão do anticiclone subtropical para latitudes mais setentrionais.

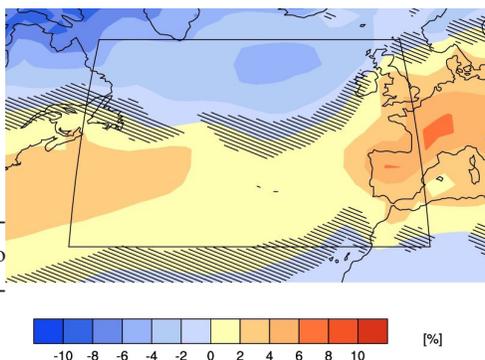
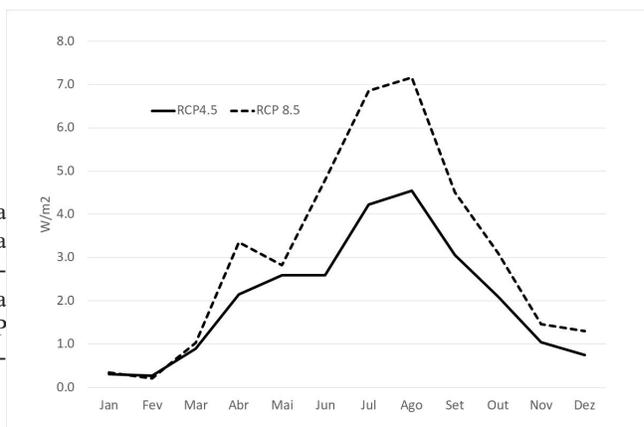


FIGURA 8: Diferenças do campo da precipitação média anual projetadas para o cenário RCP 8.5 entre os períodos 2071-2100 e 1991-2020.

Quanto às alterações na irradiação solar ao longo do ano, a Figura 9 apresenta as variações projetadas para a irradiação solar média mensal à superfície no período de 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 1991-2020. Os resultados obtidos mostram um aumento da irradiação ao longo do ano para ambos os cenários, com um máximo nos meses de verão julho e agosto. Este aumento é de apenas 2% a 3% (agosto) mas indicam um sinal claro de larga escala relativamente à alteração do padrão de nebulosidade nesta região e que é consistente com a diminuição de precipitação projetada.

FIGURA 9: Alterações na irradiação solar média mensal à superfície projetada para 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 1991-2020.



### 2.3.1 ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia solar na RAA tem sido algo incipiente, limitando-se na maioria dos casos à produção e consumo domésticos, sobretudo com instalações com pequenos painéis térmicos e muito poucos fotovoltaicos. O elevado custo das instalações fotovoltaicas face à predominância e, por vezes, a persistência de nebulosidade de origem orográfica, tem sido um fator de desmotivação para a implementação generalizada deste tipo de energia renovável. Contudo, embora as projeções climáticas possam ser desfavoráveis para a exploração de outros tipos de energia renovável (geotérmica, hídrica e eólica) poderão não ser tão desfavoráveis para o caso da energia solar, onde se estima um aumento até 2 % anual, podendo ser até 7% no mês de agosto.

### 2.4 VENTO

O aquecimento global tem como consequência direta o enfraquecimento do gradiente térmico entre os polos e o equador, podendo por isso alterar os

padrões de circulação global. O *Fifth Assessment Report*) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é, porém, escasso em análises relativamente ao vento e sobretudo para as regiões oceânicas como os Açores.

Na Figura 10 encontra-se representada a série temporal das anomalias da velocidade do vento à superfície (10 m), relativamente ao período 1961-1990, desde 1950 do *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (ICOADS) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

A tendência do aumento da velocidade do vento é clara, verificando-se nesta região um aumento de  $0,8 \pm 0,4$  m/s no período de 1991-2020 relativamente a 1961-1990. No entanto, as projeções do modelo CESM1-CAM5 (NCAR-USA) não acompanham claramente esta tendência. Resultados do CESM1-CAM5 e de outros estudos (Carvalho et al., 2016) baseados no CMPI5 apresentam uma diminuição até o final do século XXI, provavelmente devido ao afastamento para norte da corrente de jato e a consequente diminuição da componente oeste do vento (Allen et al., 2013). As projeções do modelo CESM1-CAM5 apresentam uma diminuição até o final do século quase idêntica para os dois cenários de  $0,13 \pm 0,24$  m/s (RCP 4.5) e  $0,12 \pm 0,24$  m/s.

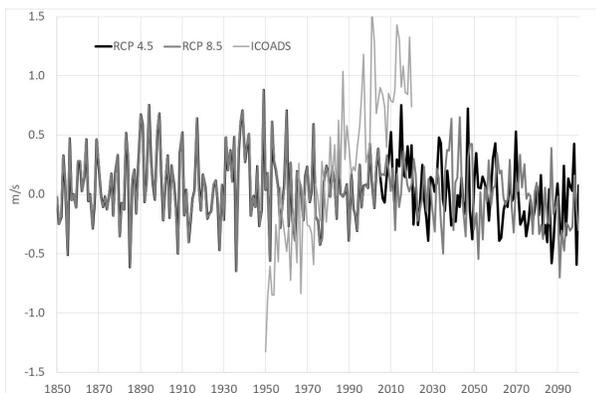
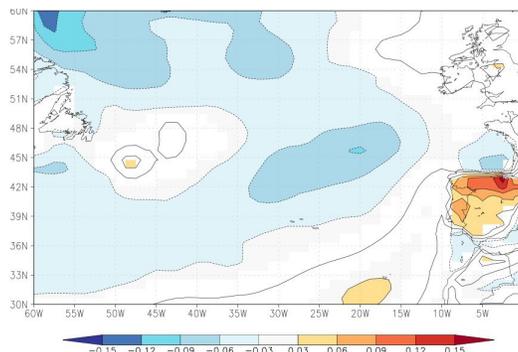


FIGURA 10: Alterações na velocidade do vento à superfície projetada<sup>2</sup> para 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 1961-1990.

A Figura 11 apresenta as diferenças relativas na velocidade do vento à superfície projetada para 2071-2100 para o cenário RCP 8.5 relativamente ao período de 2006-2020 para a região do Atlântico Norte. Embora pequenas, as diferenças projetadas para a região dos Açores (-3% a -6%) correspondem a diferenças maiores em densidade de energia eólica, que neste caso serão da ordem de -6% a -12%.

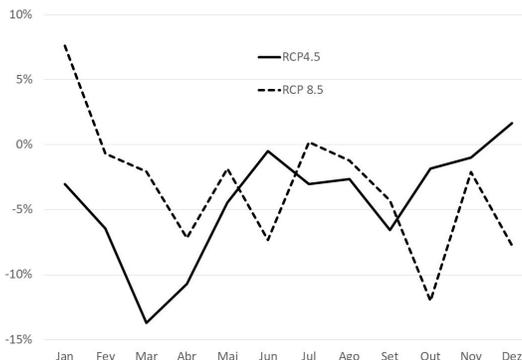
2 Modelo CESM1-CAM5.

FIGURA 11: Diferenças relativas na velocidade do vento à superfície projetada<sup>3</sup> para 2071-2100 para o cenário RCP 8.5 relativamente ao período de 2006-2020.



As projeções climáticas do CESM1-CAM5 apresentam variações ao longo do ano diferentes para os dois cenários RCP (Figura 12). Ambos os cenários apresentam diferenças mínimas em valor absoluto em meses de verão (junho e julho) e diferenças muito negativas em meses de transição (março e outubro). Estes resultados sugerem que esta diminuição está relacionada com uma pequena mudança no padrão da circulação geral no sentido do deslocamento para norte da corrente de jato e consequentemente das trajetórias da Frente Polar.

FIGURA 12: Alterações na média mensal da velocidade do vento à superfície projetada para 2071-2100 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 relativamente ao período de 2006-2020.



### 2.4.1 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica tem apresentado um grau de implementação interessante na RAA, sendo atualmente uma das fontes de energia renovável mais importantes para a produção de energia elétrica. Contudo, a sua rendabilidade depende muito da regularidade do vento. Embora o aumento da velocidade média anual do vento durante os últimos 70 anos possa ser positivo para a exploração deste tipo de energia, as projeções climáticas apontam para uma

3 Modelo CESM1-CAM5.

diminuição na densidade de energia eólica de 6% a 12% até o final do século e que, em alguns meses, poderá ser da ordem de 36% a 41%.

### 3. BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, Simon K. et al. - Technical Summary. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. 2014) 31–116. doi: 10.1017/cbo9781107415324.005.
- CAOS - PRAC - Programa Regional para as Alterações Climáticas dos Açores Impactes, Vulnerabilidades e Medidas de Adaptação para o Setor da Energia [Em linha] Disponível em WWW: <URL:[http://docs-agric.azores.gov.pt/Portal/file\\_\\_04-12-2019\\_10-17-30.9659261.pdf](http://docs-agric.azores.gov.pt/Portal/file__04-12-2019_10-17-30.9659261.pdf)>.
- CARVALHO, D. et al. - Potential impacts of climate change on European wind energy resource under the CMIP5 future climate projections. Renewable Energy. . ISSN 18790682. 101:2017 (2017) 29–40. doi: 10.1016/j.renene.2016.08.036.
- CARVALHO, F.. Alterações Climáticas e o aumento de eventos extremos nos Açores. Universidade dos Açores. Janeiro de 2020.
- PEIXOTO, José Pinto; OORT, Abraham H. - Physics of Climate. [S.l.]: Springer, 1992. ISBN 978-0-88318-712-8
- T., Bruckner et al. - Energy systems. Em EDENHOFER, O., R. PICHS-MADRUGA, Y. SOKONA, E. FARAHANI, S. KADNER, K. SEYBOTH, A. ADLER, I. BAUM, S. BRUNNER, P. EICKEMEIER, B. KRIEMANN, J. SAVOLAINEN, S. SCHLÖMER, C. VON STECHOW, T. ZWICKEL AND J. C. MINX (Ed.) - Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York : Cambridge University Press, Cambridge, 2014 Disponível em WWW:<URL:[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter7.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf)>. p. 511–597.
- SREAT; DRA - Relatório do Estado do Ambiente dos Açores 2014-2016 [Em linha] Disponível em WWW: <URL:<http://rea.azores.gov.pt/store/REAA-2016.pdf>>.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. (92- Disponível em WWW:<URL:[https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf)>.