

O papel da variabilidade climática na evolução da evapotranspiração e vegetação na Península Ibérica no século XXI.

Célia M. Gouveia¹²

¹ Instituto Português do Mar e Atmosfera, IPMA,

² Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz, Lisboa
celia.gouveia@ipma.pt

Resumo

Nas últimas décadas, a investigação acerca da dinâmica da vegetação tem vindo a assumir um papel crucial. Vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de compreender as potenciais alterações nos intrincados ciclos de carbono, energia e água, nomeadamente no que diz respeito às alterações na evapotranspiração. Observações de satélite têm apontado para um 'planeta mais verde' e dados de modelos e observações parecem indicar um aumento da evapotranspiração a nível global, associado a um aumento de temperatura e a um incremento da transpiração da vegetação. Atenção especial tem sido dedicada à investigação das relações entre a dinâmica da vegetação e a Oscilação do Atlântico Norte (NAO), que é considerado o principal modo de variabilidade atmosférica no Hemisfério Norte. Neste trabalho vamos analisar as tendências de produtividade da vegetação e da evapotranspiração durante os últimos 21 anos na Península Ibérica, utilizando informação proveniente de satélite. Os padrões espaciais que representam a relação entre a NAO e a variabilidade da vegetação e da evapotranspiração permitem identificar as regiões em que esta relação é mais evidente, nomeadamente os sectores Noroeste e Sueste da Península.

A variabilidade climática e o ecossistema terrestre

A vegetação desempenha um papel fundamental nas trocas de carbono, água e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera através da evapotranspiração, albedo da superfície e rugosidade. Enquanto os ciclos terrestres de carbono e água estão fortemente conectados (Figura 1, painel à direita), a evapotranspiração é o único termo que faz parte simultaneamente dos ciclos de água e energia.

Em 1982, Peixoto e Oort realçaram o importante papel da evapotranspiração da vegetação no ciclo hidrológico e balanço de energia (Figura 1, painel à esquerda). Compreender melhor o papel da vegetação na dinâmica do ecossistema terrestre é ainda hoje um tema de topo na investigação científica.

Mudanças nas variáveis climáticas de superfície, como a temperatura e a precipitação têm sido relacionadas com a dinâmica da vegetação. Observações feitas por satélite desde 1980 apontam para uma Terra mais verde (Piao *et al.*, 2020). Em particular, o aumento observado da temperatura durante a primavera e o outono nas regiões das latitudes elevadas do Hemisfério Norte leva a um incremento na atividade fotossintética e a estações de crescimento da vegetação mais longas. No entanto, enquanto na primavera, a fotossíntese domina sobre a respiração, no outono, ocorre o oposto e, portanto, é na primavera que se espera que ocorra um aumento na captação de CO₂ pela vegetação (Huang *et al.*, 2018).

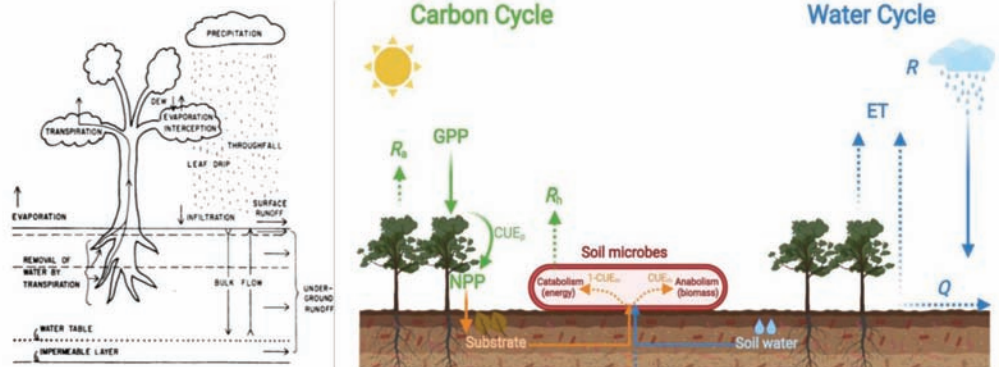


Figura 1 - Esquerda: Diagrama esquemático dos vários processos hidrológicos importantes numa superfície terrestre coberta com vegetação (fonte: Peixoto e Oort, 1992); Direita: Diagrama esquemático dos ciclos do carbono e da água (fonte: Huang *et al.*, 2021).

Para além das alterações climáticas, a variabilidade climática exerce um importante controlo na dinâmica da vegetação e na variabilidade da evapotranspiração real, através do controlo de variáveis climáticas como a temperatura e precipitação. Mudanças na sazonalidade de temperatura e precipitação podem ter impactos distintos, dependendo das características locais. A forte dependência da dinâmica da vegetação na disponibilidade de água nas regiões mediterrânicas é amplamente reconhecida. Tem sido demonstrado que a falta de precipitação em um determinado período, combinada com outras anomalias climáticas, como alta temperatura, vento forte e baixa humidade, podem resultar na redução da cobertura vegetal verde (Gouveia et al., 2017).

As recentes mudanças na dinâmica da vegetação têm vindo a ser monitoradas de forma contínua a partir do espaço utilizando informação proveniente de satélite. Os índices de vegetação (e.g., N_{DVI}) e de produtividade (G_{PP} e N_{PP}) e a Evapotranspiração (E_T) são frequentemente utilizados para avaliar a dinâmica do ecossistema terrestre. A produtividade primária bruta do ecossistema (G_{PP}) é a quantidade total de carbono fixada por meio da fotossíntese e a produção primária líquida de carbono pelas plantas (N_{PP}) é armazenada como biomassa vegetal ($N_{PP} = G_{PP} - R$). Além disso, parte da água proveniente da precipitação (R) é perdida nas plantas por evapotranspiração (E_T) (Figura 1, à direita; Huang et al., 2021).

A Oscilação do Atlântico Norte (NAO), conhecida há quase 100 anos (Walker, 1924), é definida a partir das variações do campo da pressão média ao nível do mar no Atlântico Norte. Estas oscilações geram mudanças na velocidade e direção do vento sobre o Atlântico e estão ligadas ao transporte de humidade e calor entre o Atlântico e o norte da Europa, bem como à frequência, intensidade e trajetória dos sistemas de baixa pressão (Hurrell et al. 1995). No entanto, foi somente na década de 1970 que a NAO foi reconhecida como o principal modo de circulação atmosférica do Hemisfério Norte e passou a ser objeto de ampla discussão. Grande parte dos estudos recentes têm-se concentrado na NAO de inverno, porque estes são os meses mais ativos do ponto de vista da dinâmica atmosférica, apresentando as amplitudes mais significativas das anomalias da pressão média ao nível do mar. Na fase positiva da NAO, o sul da Europa e em particular a Península Ibérica é afetada por condições de tempo seco e quente (Figura 2).

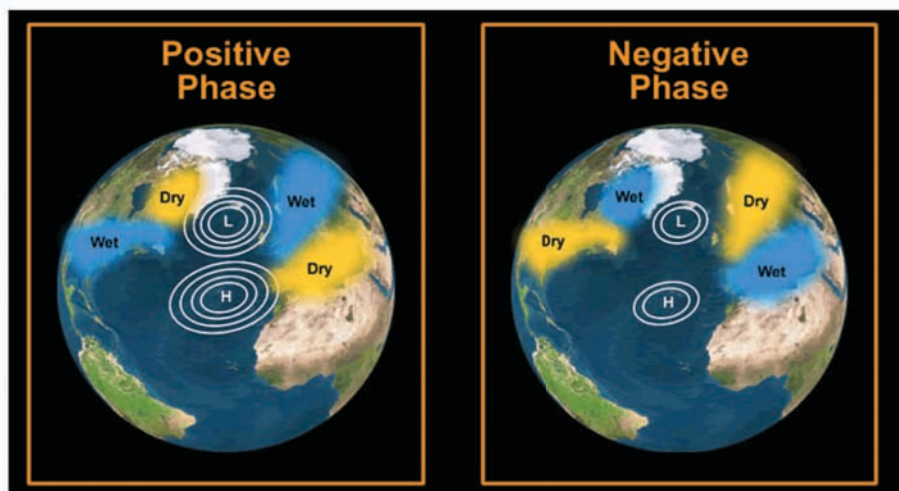


Figura 2 - A Oscilação do Atlântico Norte (NAO): fase positiva e negativa (fonte: https://www.windows2universe.org/?page=/earth/climate/images/nao_lg_gif_image.html).

No entanto, o padrão da NAO pode ser observado em qualquer época do ano, mas com uma variação sazonal pronunciada da localização de seus centros de ação. A NAO de inverno esteve na fase positiva em 15 dos últimos 21 anos, sendo que permaneceu nesta fase entre 2014 e 2020, sendo ligeiramente negativa no Inverno de 2021 (Figura 3). No entanto, a fase positiva da NAO de verão foi menos frequente, sendo de realçar a sua ocorrência em 2013 e 2018.

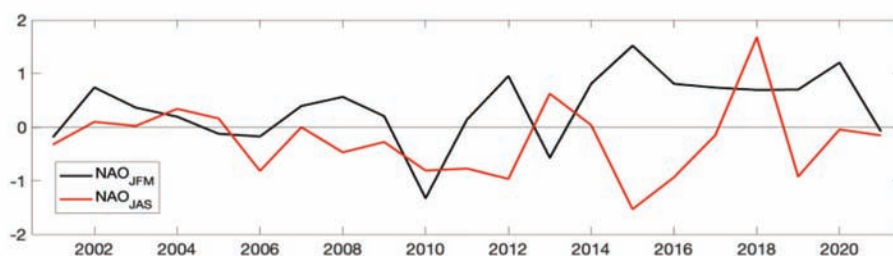


Figura 3 - Evolução temporal do compósito de inverno (janeiro a março) e verão (julho a setembro) da Oscilação do Atlântico Norte entre 2001 e 2021. Dados obtidos a partir do *Climate Prediction Center* (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_index.html).

Monitorização do ecossistema terrestre a partir do espaço

Informação proveniente de satélite tem sido utilizada para caracterizar a dinâmica da vegetação, utilizando índices de vegetação (e.g., NDVI) e de produtividade (G_{PP} e N_{PP}), bem como para monitorizar a variabilidade da evapotranspiração. Os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) permitem a geração de produtos para caracterizar a superfície terrestre com uma resolução espacial de 500m e com intervalos de 8 dias. Os produtos de Produção Primária (MOD17) são projetados para quantificar o crescimento da vegetação terrestre e a produção primária é determinada pelo cálculo do valor diário de fotossíntese líquida que é integrado num período de 8 dias de observações durante um ano. O produto NPP resulta da acumulação de valores GPP com base no conceito de eficiência do uso de radiação. Este produto é utilizado no cálculo do balanço da energia terrestre, do carbono, dos processos do ciclo da água e da biogeoquímica da vegetação. Por outro lado, o produto de evapotranspiração global (MOD16) é utilizado para o cálculo do balanço hídrico e energético regional e a quantidade de água no solo, sendo, portanto, essencial para a gestão dos recursos hídricos. Além disso, series longas de ET permitem

avaliar os efeitos das alterações climáticas, do uso do solo e dos distúrbios nos ecossistemas (como os incêndios florestais) nos recursos hídricos e energéticos.

Resultados recentes têm mostrado uma tendência significativa de esverdeamento do planeta associada a fatores diretos, tais como as alterações do uso do solo, e indiretos, como as alterações climáticas e a fertilização com CO₂. Esta tendência é especialmente evidente no caso da China e da Índia onde a contribuição das zonas agrícolas é significativa (Chen et al., 2019). De facto, um aumento generalizado da produtividade de vegetação foi observado na Península Ibérica entre 1982 e 2012, principalmente nos sectores central e sul e nas costas leste do Mediterrâneo e do Atlântico (Gouveia et al., 2016). Este incremento da produtividade tem sido associado a uma tendência positiva de humidade principalmente no NW da Península. Observações utilizando dados MODIS confirmam que a tendência de aumento de produtividade persiste no século XXI, nomeadamente nas costas a leste e oeste e na região NE da Península (Figura 4, painel à esquerda). Foi ainda observada uma generalizada tendência positiva de evapotranspiração (Figura 4, direita) que destaca o papel da crescente demanda de água decorrente do aumento de evapotranspiração associado ao aumento de temperatura (Gouveia et al., 2017).

A relação entre a variabilidade climática, a produtividade da vegetação e a evapotranspiração revela uma forte influência da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) de inverno em toda a Península Ibérica (Figura 5, painel superior). No entanto, foram identificados padrões espaciais com características distintas: na região SE da Península observam-se correlações negativas entre a NAO e NPP (Figura 5, painel superior à esquerda) e entre a NAO e ET (Figura 5, em cima à direita), com maior ênfase para o último par; nos sectores N e NW são evidentes correlações positivas.

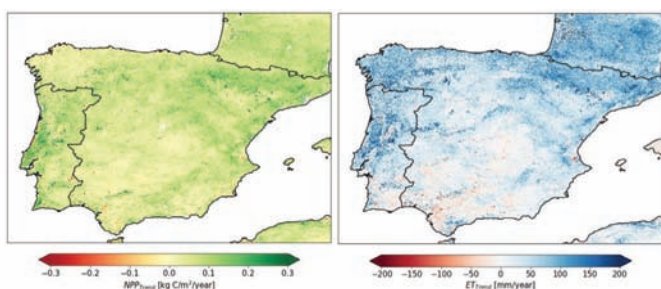


Figura 4 - Tendências de produção líquida de carbono (NPP) e de evapotranspiração anual (ET) na Península Ibérica nos últimos 21 anos (2001-2021). NPP e ET obtidos a partir dos produtos MOD17 e MOD16 do MODIS.

De facto, os invernos com a NAO em fase positiva são mais quentes e secos na Península Ibérica o que parece estar associado a maior produtividade anual da vegetação e maior evapotranspiração anual no sector NW e menor produtividade e evapotranspiração no sector SE (Figura 5, painel superior). No entanto, a contribuição da NAO de verão para os valores anuais de produtividade da vegetação e evapotranspiração parece ser de sinal contrário, com uma predominância das correlações positivas a SE e negativas a NW (Figura 5, painel inferior). Estes resultados enfatizam o papel da temperatura e precipitação nas diferentes fases de crescimento da vegetação, nomeadamente no final do inverno e primavera em que a fotossíntese predomina e no verão e outono em que a

respiração assume um papel mais significativo. A forte dependência da evapotranspiração da temperatura e a sua relação com a dinâmica da vegetação é também evidente nos meses de verão.

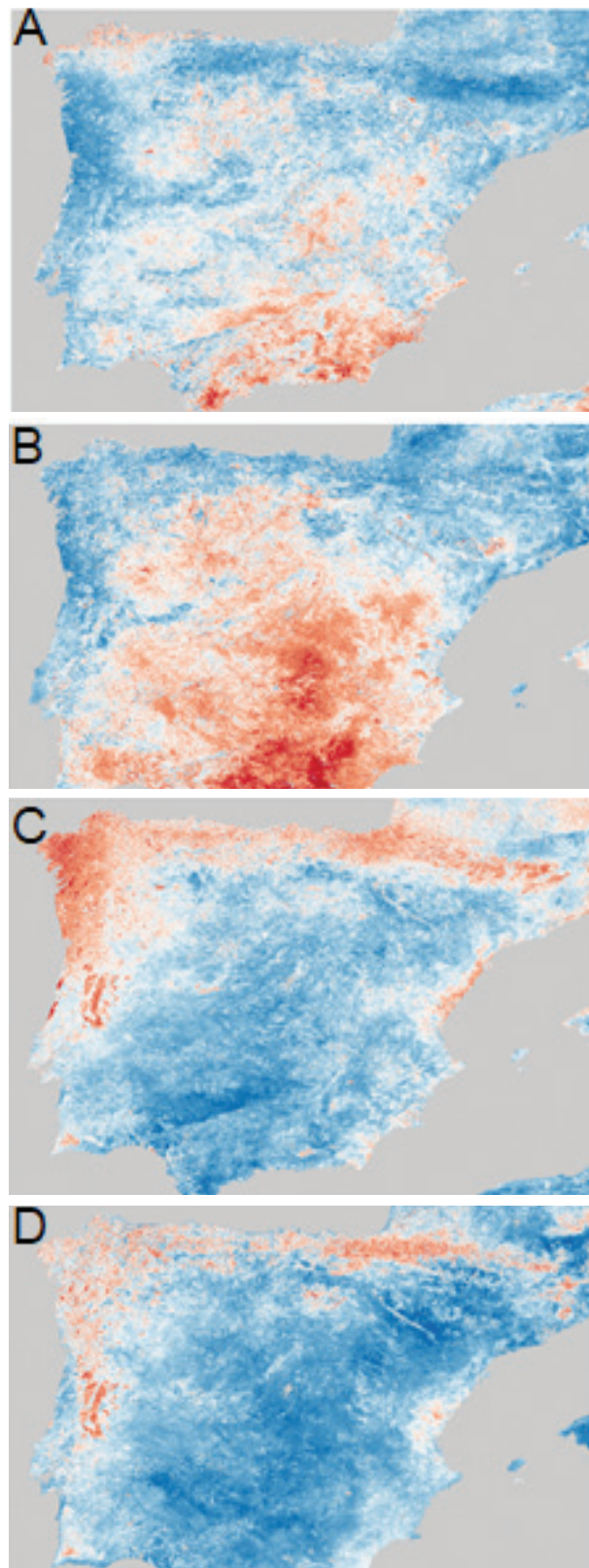


Figura 5 - Correlação entre a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) de inverno (A,B) e de verão (C,D) e produção primária líquida de carbono, NPP (A,C) e evapotranspiração anual, ET (B,D) na Península Ibérica nos últimos 21 anos (2001-2021). Correlações positivas significam valores elevados (baixos) de NPP e ET em anos da fase positiva (negativa) de NAO de inverno.

Considerações Finais

No início da terceira década do século XXI, já estão disponíveis quase 50 anos de dados de satélite que têm permitido monitorizar a superfície terrestre, a atmosfera e o oceano, bem como detetar as recentes alterações na dinâmica dos ciclos mais importantes do sistema climático. Hoje, dispomos de dados com melhor resolução espacial que permitem uma análise com maior detalhe a nível regional da dinâmica e produtividade da vegetação e da sua relação com o ciclo de carbono e água, antecipando as mudanças impostas pela sua recente evolução e perspetivando as tendências futuras.

Em 1982, Peixoto e Oort reforçaram que a evapotranspiração de uma superfície com vegetação depende fortemente da radiação e é limitada pela capacidade evaporativa do ar. No entanto, os mesmos autores destacam 'a complexidade do papel desempenhado pela vegetação no ciclo hidrológico e no balanço de energia' (Peixoto e Oort, 1982). Este trabalho não pretende explicar ou detalhar o conhecimento atual acerca do papel da vegetação na dinâmica dos ciclos hidrológico, de energia e de carbono, mas sim realçar alguns resultados recentes, tornados possíveis pela utilização da informação proveniente de satélite, que permitem tentar compreender melhor a influência da variabilidade climática na 'complexidade do papel da vegetação' na dinâmica do ecossistema terrestre.

- [6] Huang, K., Xia, J., Wang, Y., Ahlstrom, A., Chen, J., Cook, R.B., et al., 2018. Enhanced peak growth of global vegetation and its key mechanisms. *Nature Ecol. Evol.* 2 (12), 1897-1905. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0714-0>.
- [7] Hurrell JW. 1995. *Decadal trends in the north Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation.* *Science* 269: 676-679.
- [8] Peixoto, J. P., e A. H. Oort, 1992: *Physics of Climate.* American Institute of Physics, New York, NY, 520 pp. ISBN 0-88318-712-4.
- [9] Piao, S., Wang, X., Park, T., Chen, C., Lian, X.u., He, Y., et al., 2020. *Characteristics, drivers and feedbacks of global greening.* *Nature Rev. Earth Environ.* 1 (1), 14-27. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0001-x>.
- [10] Walker GT. 1924. Correlations in seasonal variations of weather. *IX Memoirs of the Indian Meteorological Department* 24: 275-332.



Célia Marina P. Gouveia. é licenciada em Ciências Geofísicas pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e doutorada em Ciências Geofísicas (ramo deteção remota) pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. É professora auxiliar convidada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e

Investigadora auxiliar no Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). É regente da unidade curricular de Deteção Remota do Ambiente Natural do Mestrado em Ciências Geofísicas e é investigadora do Instituto Dom Luiz. Os principais temas de investigação em que tem trabalhado incluem a influência da variabilidade climática e alterações climáticas na dinâmica e produtividade da vegetação, bem como os impactos de eventos extremos como secas, ondas de calor e fogos na agricultura e florestas.

Referências

- [1] Chen, C., Park, T., Wang, X. et al. *China and India lead in greening of the world through land-use management.* *Nat Sustain* 2, 122-129 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0220-7>.
- [2] Gouveia, C., Trigo, R.M., DaCamara, C.C., Libonati, R. and Pereira, J.M., 2008. *The North Atlantic oscillation and European vegetation dynamics.* *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(14), pp.1835-1847.
- [3] Gouveia, C.M., Páscoa, P., Russo, A. and Trigo, R.M., 2016. *Land degradation trend assessment over Iberia during 1982-2012.* *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), pp.89-112.
- [4] Gouveia, C.M., Trigo, R.M., Beguería, S. and Vicente-Serrano, S.M., 2017. *Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: An assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators.* *Global and Planetary Change*, 151, pp.15-27.
- [5] Huang, H., Calabrese, S. and Rodriguez-Iturbe, I., 2021. *Variability of ecosystem carbon source from microbial respiration is controlled by rain fall dynamics.* *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(52).