NOTA DE POLÍTICA

Como pode o restauro das zonas húmidas costeiras atenuar as alterações climáticas? O que sabemos e o que ainda não está claro

© Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

MENSAGENS PRINCIPAIS

- **O restauro de zonas húmidas costeiras é uma Solução baseada na Natureza (NbS) com potencial para reduzir as alterações climáticas**. As zonas húmidas restauradas atuam como sumidouros líquidos de carbono, aumentando as reservas de carbono na biomassa vegetal e nos solos/sedimentos sem um aumento correspondente nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE).
- **Os dados sobre as reservas de carbono e as emissões de GEE são desiguais consoante os locais e os tipos de zonas húmidas**. A maior parte dos dados existentes provém de regiões tropicais e subtropicais; a Europa temperada é pouco estudada. As zonas húmidas de água doce e as águas de transição são frequentemente encontradas na Europa, mas estão pouco representadas na obtenção de dados empíricos sobre os efeitos do restauro no armazenamento de carbono e nos fluxos de GEE. Uma monitorização específica a nível europeu pode colmatar estas lacunas.
- **Muitos estudos incidem nas reservas de carbono, mas não nas emissões de GEE**. Os fluxos líquidos de GEE são parâmetros importantes para compreender e quantificar eficazmente os benefícios das ações de restauro, mas não existem muitos estudos de balanço de massa. É importante dar prioridade às medições dos fluxos de GEE para colmatar as lacunas de dados e orientar o financiamento das ações de restauro.
- **A comunicação de dados sobre os fluxos de GEE não está normalizada**. Os dados existentes, especialmente os relativos aos fluxos de GEE, não estão normalizados, pelo que os resultados não são comparáveis. É necessária uma monitorização, comunicação e verificação normalizadas, semelhantes às estabelecidas para a comunicação da Diretiva-Quadro da Água (DQA), a fim de alargar estes números do nível local para o nível da UE.

Introdução

Entre os serviços dos ecossistemas prestados pelas zonas húmidas costeiras, merece especial atenção a sua capacidade de capturar e armazenar carbono nos solos/sedimentos por longos períodos de tempo. Este potencial de sequestro de carbono a longo prazo posiciona atualmente a proteção e restauro das zonas húmidas costeiras como uma das principais opções para a atenuação das alterações climáticas a nível da UE e a nível global.

O que são as zonas húmidas costeiras?

As zonas húmidas costeiras são ecossistemas localizados na interface entre a terra e o mar, caracterizados por inundações periódicas ou permanentes com água salgada, salobra ou doce. Suportam vegetação hidrófita ou submersa e incluem habitats como sapais, pradarias de ervas marinhas, planícies de maré e mangais. Nos termos da Convenção Ramsar, as zonas húmidas abrangem áreas de pântanos, charcos, turfeiras ou água – podendo ser sistemas naturais ou artificiais – com água parada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas marinhas costei-

ras com menos de seis metros de profundidade na maré baixa. Estes ecossistemas prestam serviços essenciais, como apoio à biodiversidade, proteção da orla costeira e armazenamento de carbono, mas o mapeamento da sua extensão total continua a ser um desafio, levando frequentemente a uma subestimação da sua cobertura global.

Quais são as vias de carbono nas zonas húmidas costeiras?

As zonas húmidas costeiras funcionam como sumidouros de carbono, armazenando carbono na biomassa vegetal e nos solos/sedimentos através de processos coletivamente conhecidos como vias de "carbono azul" (Figura 1). A fotossíntese captura o CO_2 atmosférico, que é depois armazenado na vegetação e nos sedimentos. As condições anóxicas e com excesso de água retardam a decomposição, permitindo a acumulação de carbono ao longo dos séculos. Os processos microbianos, como a metanogénese, ocorrem em condições de baixo oxigénio, produzindo metano (CH_4), embora este processo seja frequentemente suprimido em ambientes salinos. A degradação das zonas húmidas, particularmente mediada pelo aumento da matéria orgânica, leva à diminuição do potencial redox no sedimento e resulta no aumento das emissões de CH_4. A recuperação de zonas húmidas degradadas pode reativar as vias de carbono azul, aumentar o sequestro de carbono e contribuir para a atenuação das alterações climáticas.

Quais são os fluxos de GEE nas zonas húmidas costeiras?

Os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) nas zonas húmidas costeiras envolvem trocas de CO_2, CH_4 e N_2O entre os solos, a água e a vegetação das zonas húmidas e a atmosfera (Figura 1). Embora esses ecossistemas atuem como grandes sumidouros de carbono, eles também podem emitir metano e óxido nitroso, especialmente em condições de água doce ou de alta concentração de nutrientes. Em geral, as ações de restauro melhoram o armazenamento de carbono, mas nem sempre garantem reduções nas emissões de CH_4 ou N_2O, destacando a complexidade dos fluxos líquidos de GEE. Por conseguinte, é fundamental ter medições e relatórios precisos para informar as ações climáticas.

A principal questão política é saber se o restauro melhora efetivamente o balanço líquido dos gases com efeito de estufa (GEE) nas zonas húmidas costeiras, e não apenas nos modelos teóricos. No âmbito do RESTORE4Cs, fizemos uma síntese de estudos com revisão por pares[1], que comparam zonas húmidas costeiras degradadas e restauradas para avaliar o seu potencial de atenuação das alterações climáticas em todo o mundo.

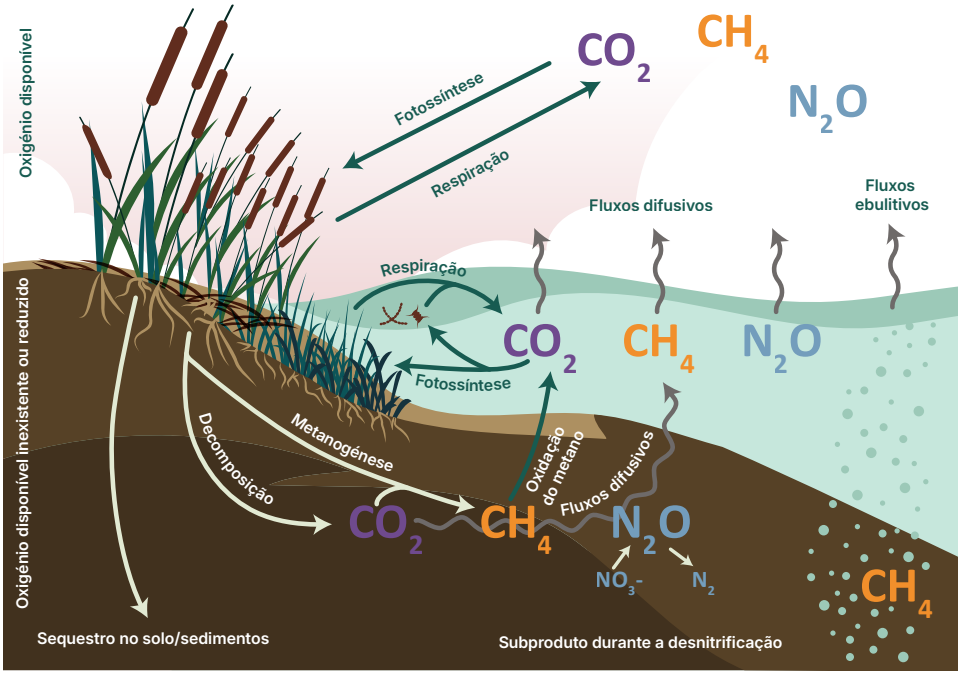

Figura 1. Visão geral esquemática dos fluxos de carbono e das vias de emissão de GEE nas zonas húmidas costeiras. © Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

Lições aprendidas com uma revisão sistemática do conhecimento sobre o restauro de zonas húmidas costeiras

O restauro de zonas húmidas costeiras é uma potencial solução baseada na natureza para a atenuação das alterações climáticas

O restauro de zonas húmidas costeiras aumenta a quantidade de carbono armazenado na biomassa vegetal acima e abaixo do solo, bem como nos solos ou sedimentos das marés. As emissões de GEE de CO_2, CH_4 e N_2O relatadas não apresentam uma mudança consistente após o restauro, como é comum noutros tipos de zonas húmidas. Com base no conhecimento científico atual, podemos assim concluir que, em geral, o restauro é uma potencial ferramenta de atenuação das alterações climáticas (Figura 2).

Os dados atuais sobre os fluxos de GEE são limitados e desiguais

Os dados existentes sobre os fluxos líquidos de gases com efeito de estufa (GEE), que representam o equilíbrio entre emissões e armazenamento, são limitados e inconsistentes para as zonas húmidas costeiras. Este facto torna difícil avaliar completamente os benefícios climáticos dos esforços de restauro na Europa. A maioria dos estudos disponíveis provém de regiões tropicais, enquanto as costas temperadas europeias, e especialmente as zonas húmidas de água doce e salobra comuns em toda a Europa, são ainda pouco estudadas. A investigação incide principalmente nas reservas de carbono, sendo muito menos numerosos os estudos que medem os fluxos de GEE, apesar de esses fluxos determinarem se o restauro conduz a benefícios climáticos líquidos.

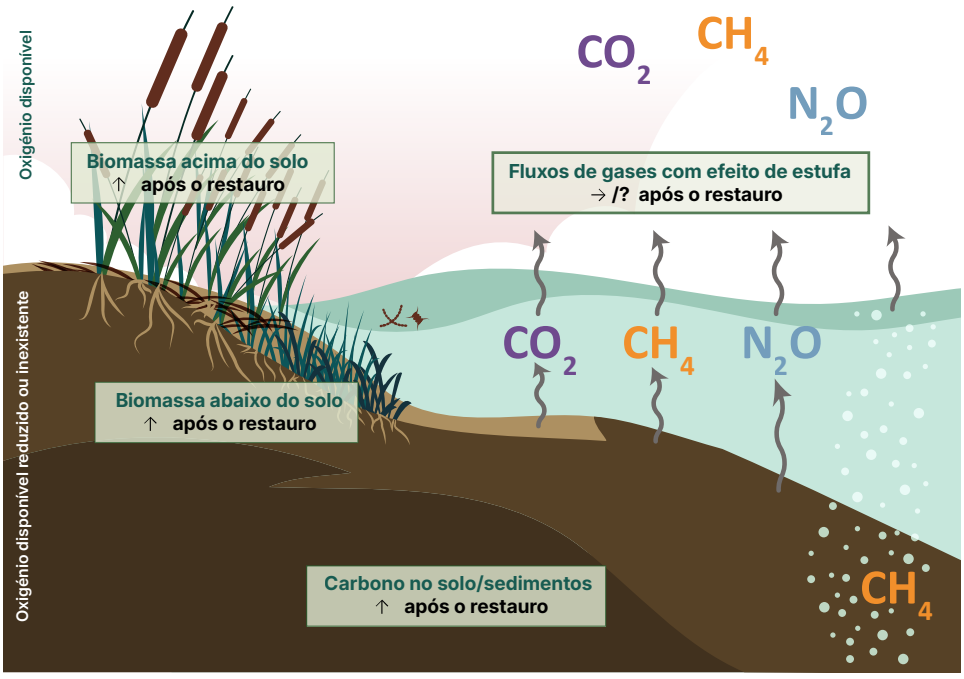

Figura 2: Visão geral das reservas de carbono e fluxos de GEE estudados na nossa síntese da literatura, incluindo os principais resultados. © Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

Delta do Danúbio, Roménia © Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

Exemplos relevantes das costas europeias, especificamente das zonas húmidas mediterrânicas[2-5], mostram que a gestão hidrológica e o estado de conservação influenciam fortemente os fluxos líquidos de carbono e as emissões de gases com efeito de estufa. Esses estudos indicam consistentemente que as práticas de restauro ou de gestão adaptativa tendem a contribuir para a redução das emissões líquidas, desempenhando o metano um papel particular devido à sua elevada sensibilidade a fatores ambientais como a salinidade e a temperatura[4]. Salientam também que a gestão adaptativa só será eficaz se o regime hidrológico e a estrutura do ecossistema forem mantidos. Embora isto exija uma confirmação empírica adicional, deve já servir como princípio orientador para o planeamento e a implementação das medidas de restauro. Mais especificamente, esses estudos mostram que uma boa gestão hidrológica e uma condição geral saudável do ecossistema são essenciais para reduzir as emissões, particularmente de metano, que é altamente sensível às alterações ambientais.

Ausência de monitorização normalizada e relatórios sobre os resultados do restauro

A nossa síntese da literatura revelou que os resultados do restauro são comunicados de forma altamente inconsistente e incompleta, o que limita severamente qualquer síntese quantitativa. Muitos estudos carecem de protocolos de monitorização normalizados, valores de referência anteriores ao restauro, ou locais de controlo comparáveis. Faltam frequentemente detalhes metodológicos importantes, como o momento e o número de medições, contexto ambiental e ações específicas de restauro. Os dados sobre as reservas de carbono do solo e da biomassa, e sobre os fluxos de CO_2, CH_4 e N_2O, estão frequentemente ausentes ou são recolhidos através de abordagens não comparáveis, o que dificulta as avaliações à escala continental ou global dos benefícios climáticos.

O projeto RESTORE4Cs apresenta um método para garantir a consistência metodológica entre os locais, o que é fundamental para a fiabilidade da recolha de dados. Através da harmonização prévia dos protocolos de amostragem e dos procedimentos laboratoriais, o projeto minimiza a variabilidade e reforça a comparabilidade dos resultados. Esta abordagem padronizada sustenta a integração de indicadores ecológicos, dados de uso do solo e variáveis climáticas em modelos espaciais explícitos, permitindo a avaliação das pressões e do potencial de mitigação em todos os tipos de zonas húmidas. Tal rigor não só aumenta a validade científica, como também garante que os resultados do restauro são escaláveis e relevantes para as políticas.

Relevância do restauro de zonas húmidas costeiras, conhecimento sobre armazenamento de carbono e fluxos de GEE para a legislação, quadros estratégicos e processos relacionados

A importância do restauro para o armazenamento de carbono e a mitigação dos gases com efeito de estufa já é reconhecida nas políticas e processos da UE e a nível mundial. As conclusões desta análise dos conhecimentos existentes podem ajudar a melhorar a sua implementação. Estas incluem, nomeadamente:

- **Acordo de Paris e NDCs**. As zonas húmidas costeiras restauradas podem servir como sumidouros líquidos de carbono e ser reconhecidas como medidas de mitigação baseadas na natureza no âmbito das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) da UE, com contabilização explícita da biomassa e do carbono do solo, apoiada por Medição, Relato e Verificação (MRV) adequados.
- **Convenção Ramsar sobre Zonas Húmidas**. Muitas zonas húmidas costeiras são sítios Ramsar; o seu restauro contribui para a conservação dos habitats, a regulação da água e os objetivos de mitigação das alterações climáticas.
- **Lei Europeia do Clima**. A meta vinculativa de neutralidade climática para 2050 e a meta de redução para 2030 reconhecem o restauro dos ecossistemas – incluindo as zonas húmidas costeiras – como um contributo para os sumidouros de carbono da UE.
- **Regulamento LULUCF da UE (2023-2030)**. As zonas húmidas costeiras restauradas podem reforçar os sumidouros nacionais do sector terrestre e apoiar a concretização da meta de sumidouros à escala da UE.
- **Regulamento da UE relativo ao restauro da natureza e Estratégia de Biodiversidade 2030**. As metas de recuperação de sapais, pradarias de ervas marinhas e outros ecossistemas costeiros apoiam tanto o aumento do sumidouro de carbono como as metas de biodiversidade.
- **Década da ONU para o Restauro dos Ecossistemas e Década da ONU para os Oceanos**. Ambas as iniciativas priorizam a ampliação do restauro das zonas húmidas costeiras – incluindo sapais e mangais – como soluções baseadas na natureza fundamentais para a ação climática, a resiliência costeira e o progresso rumo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os projectos nestes habitats podem servir de exemplo, demonstrando um sequestro de carbono mensurável juntamente com co-benefícios ecológicos, monitorizados através da combinação de indicadores ecológicos e de carbono.
- **Mercados de carbono e finanças**. Os mecanismos de crédito de carbono azul estão a expandir-se para incluir zonas húmidas costeiras, exigindo que os projetos demonstrem a sua adicionalidade, permanência e ausência de fugas. As normas estão cada vez mais alinhadas com as regras da UE, tais como o Regulamento relativo à agricultura e remoção de carbono (CRCF) e os mecanismos atualizados de financiamento sustentável (2025), reforçando a MRV e direcionando o capital para resultados climáticos de alta integridade, abrindo assim novas fontes de financiamento para o restauro.
- **Inventários e modelos nacionais de GEE**. Os inventários nacionais de GEE e os modelos do sistema terrestre devem distinguir zonas húmidas restauradas das degradadas, uma vez que os sistemas restaurados armazenam mais biomassa e carbono no solo e emitem quantidades mínimas de metano. Ter em conta estas diferenças melhora a precisão dos relatórios nacionais e permite captar todo o valor do restauro em termos de mitigação.

Delta do Sudoeste Holandês, Países Baixos
© Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

Integrar o restauro das zonas húmidas costeiras na política climática da UE e na contabilização do carbono: recomendações políticas

Com base nos conhecimentos gerados pelo projeto RESTORE4Cs, existe uma oportunidade para promover o restauro das zonas húmidas costeiras e reforçar o seu papel no armazenamento de carbono e na redução das emissões de GEE no âmbito das políticas existentes. No entanto, o serviço de atenuação das alterações climáticas destes ecossistemas não pode compensar as emissões globais de GEE, pelo que continua a ser essencial uma descarbonização profunda da economia global. Com base nestas premissas, o papel dos ecossistemas e, em particular, das zonas húmidas costeiras na mitigação das alterações climáticas pode ser reforçado através das seguintes ações políticas:

Ação 1

Estabelecer um sistema harmonizado de monitorização, relato e verificação (MRV) com dados abertos (princípios FAIR).

Um quadro MRV unificado é essencial para uma contabilidade climática credível e comparável em toda a UE. Uma harmonização semelhante já foi alcançada anteriormente para a eutrofização, por exemplo, através do Manual do Protocolo para o NICE – Ciclo do Azoto nos Estuários (Nitrogen Cycling in Estuaries)[6] – que, no âmbito do programa MAST III da UE em 2000, forneceu métodos normalizados de amostragem, análise e cálculo para os fluxos de azoto nos estuários. Isto requer várias etapas:

- **Adotar protocolos normalizados** alinhados com as orientações do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) para medir os principais reservatórios de carbono e fluxos de GEE (carbono do solo, biomassa, fluxos de CO_2, CH_4, N_2O).
- **Incluir medições de base** antes do restauro e assegurar uma monitorização regular e a longo prazo para acompanhar as alterações ao longo do tempo.
- **Relatar os resultados com comparações de referência**, apresentando os resultados juntamente com locais degradados e naturais comparáveis.
- **Garantir dados abertos e interoperáveis**, publicando métodos, resultados e informações geoespaciais em repositórios acessíveis e compatíveis com os sistemas de inventário nacionais.
- **Garantir a qualidade e credibilidade dos dados** através de procedimentos de garantia da qualidade, avaliação da incerteza e verificação independente para apoiar a apresentação de relatórios a nível nacional e da UE.

Podem ser retiradas lições do processo que sustentou o Manual do Protocolo para o NICE – Ciclo do Azoto nos Estuários6 – para uniformizar os estudos sobre a eutrofização nos estuários e apoiar a implementação da DQA nas águas de transição.

Ação 2

Alinhar as metas e a contabilização de carbono com os quadros políticos relativos ao clima.

Os esforços de restauro devem ser orientados por objetivos claros, mensuráveis e alinhados com as políticas climáticas. Isso envolve vários elementos-chave:

- **Definir metas mensuráveis de carbono**, incluindo aumentos no carbono armazenado na biomassa e nos solos, e limites para emissões aceitáveis de CH_4 e N_2O, contabilizadas como equivalentes de CO_2.
- **Alinhar as metas de restauro com os instrumentos políticos existentes a nível nacional e da UE**, incluindo as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) da UE, a Lei Europeia do Clima, e os Regulamentos LULUCF e de Restauro da Natureza da UE.
- **Estabelecer bases de referência coerentes para as condições degradadas**, a fim de assegurar a comparabilidade entre locais e Estados-Membros.
- **Aplicar prazos realistas para o restauro ecológico**, refletindo o tempo necessário para que os ecossistemas se estabilizem e proporcionem benefícios climáticos mensuráveis, tendo em

conta que a maioria das zonas húmidas costeiras são sistemas socioecológicos.

- **Apoiar a integração nos inventários nacionais de GEE**, garantindo que as metas, as bases de referência e os prazos sejam compatíveis com os requisitos de comunicação de informações.

Ação 3

Permitir o acesso ao financiamento do carbono através de créditos de carbono azul credíveis.

O reatauro de zonas húmidas costeiras pode gerar financiamento de carbono através de mercados de carbono voluntários e de conformidade. Garantir a credibilidade e maximizar o impacto requer várias ações fundamentais:

- **Estabelecer critérios claros de elegibilidade** para projetos de carbono:
  - Demonstrar adicionalidade, armazenamento de carbono a longo prazo (permanência) e fuga mínima.
  - Evitar danos ao meio ambiente e à biodiversidade.
  - Utilizar bases de referência conservadoras e metodologias alinhadas com o IPCC.
  - Aplicar normas reconhecidas, quando disponíveis, e desenvolver orientações específicas para a UE, a fim de simplificar a adoção.
  - Contar com os efeitos climáticos de acordo com o potencial radiativo dos diferentes GEE, contabilizados como equivalentes de CO_2.
- **Reforçar a capacidade local** para lidar com os créditos de carbono:
  - Apoiar a criação de sistemas MRV.
  - Ajudar nos processos de certificação e no acesso ao mercado.
- **Reduzir os custos de transação e aumentar a participação**:
  - Implementar financiamento pré-aprovado e pipelones de crédito.
  - Sempre que possível, associar a geração de créditos de carbono aos inventários nacionais de GEE, evitando a dupla contagem.
- **Adotar quadros de gestão adaptativa**:
  - Alinhar as práticas de restauro com os processos dinâmicos de hidrologia, vegetação e carbono.
  - Os dados dos projetos europeus (por exemplo, LIFE Wetlands4Climate) mostram que a gestão dos regimes hídricos, solos e vegetação é crucial para manter o potencial de atenuação.
- **Maximizar os benefícios colaterais**:
  - Para além do carbono, as zonas húmidas restauradas proporcionam o aumento da biodiversidade, a regulação das cheias e a retenção de nutrientes, reforçando a resiliência global do ecossistema.

Camargue, França © Universidade de Salento-LIFEWatch ERIC

Referências

1. Misteli, B., Morant, D., Camacho, A., Adamo, M., Bachi, G., Bègue, N., Bučas, M., Cabrera-Brufau, M., Carballeira, R., Cavalcante, L., Cazacu, C., Coelho, J. P., Doebke, C., Dinu, V., Guel-mami, A., Giuca, R., Kataržytė, M., Lillebø, A. I., ... Attermeyer, K. (2025). Coastal wetland restora-tion and greenhouse gas pathways: A global meta-analysis. EarthArXiv preprint. https://doi.org/10.31223/X51B39
2. Morant, D., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Miralles-Lorenzo, J., & Camacho, A. (2020). Carbon metabolic rates and GHG emissions in different wetland types of the Ebro Delta. *PLOS ONE, 15*(4), e0231713. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231713
3. Morant, D., Rochera, C., Picazo, A., Miralles-Lorenzo, J., Camacho-Santamans, A., & Camacho, A. (2024). Ecological status and type of alteration determine the C-balance and climate change mitigation capacity of Mediterranean inland saline shallow lakes. *Scientific Reports, 14*, 29065. https://doi.org/10.1038/s41598-024-79578-7
4. Rochera, C., Picazo, A., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., Sánchez-Ortega, V., & Camacho, A. (2025). Linking carbon fluxes to flooding gradients in sediments of Mediterranean wetlands. *ACS ES&T Water.* https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00940
5. Camacho, A., Picazo, A., Rochera, C., Santamans, A. C., Morant, D., Miralles-Lorenzo, J., & Castillo-Escrivà, A. (2017). Methane emissions in Spanish saline lakes: Current rates, temperature and salinity responses, and evolution under different climate change scenarios. *Water, 9*(9), 659. https://doi.org/10.3390/w9090659
6. Dalsgaard, T. (Ed.), Nielsen, L. P., Brotas, V., Viaroli, P., Underwood, G., Nedwell, D. B., Sundbäck, K., Rysgaard, S., Miles, A., Bartoli, M., Dong, L., Thornton, D. C. O., Ottosen, L. D. M., Castaldelli, G., & Risgaard-Petersen, N. (2000). *Protocol handbook for NICE – nitrogen cycling in estuaries: A project under the EU research programme Marine Science and Technology (MAST III)*. Silkeborg, Denmark: National Environmental Research Institute.

O RESTORE4Cs é um projeto do Horizonte Europa que visa avaliar os efeitos das ações de restauro na capacidade das zonas húmidas mitigarem as alterações climáticas e prestarem um conjunto de serviços ecossistémicos, utilizando uma abordagem integrativa dos sistemas socioecológicos. Mais informações disponíveis em: https://www.restore4cs.eu/

Autores: Misteli, B.[1], Attermeyer, K.[1,2], Rochera, C.[3], Lillebø, A.I.[4], Camacho, A.[3]

Revisores: Elkina, E.[5], Štrbenac, A.[6], Suárez, S.[6]

[1] WasserCluster Lunz, Áustria; [2] Universidade de Viena, Áustria; [3] Universidade de Valência, Espanha; [4] Universidade de Aveiro, Portugal; [5] Instituto Ecológico, Alemanha; [6] MedWet, França

Citação: Misteli, B., Attermeyer, K., Rochera, C., Lillebø, A.I., Camacho, A. 2025. Como pode o restauro das zonas húmidas costeiras atenuar as alterações climáticas? O que sabemos e o que ainda não está claro. Nota de Política. *Projeto RESTORE4Cs*.

SOCIOS

Aviso legal: Este documento de trabalho foi publicado com o apoio financeiro da União Europeia. As opiniões e pontos de vista expressos são, no entanto, exclusivamente dos(as) autores(as) e não refletem necessariamente a posição da União Europeia ou da Agência Executiva Europeia para o Clima, Infraestruturas e Ambiente (CINEA). Nem a União Europeia nem a autoridade concedente podem ser responsabilizadas por essas opiniões.