

Acúmulo de carbono em solos de manguezais reflorestados

Effect of mangrove reforestation on soil carbon accumulation

Marcela Lopes Lázaro^{1,*}, Gabriela Rodrigues da Silva¹, Thayná de Ciza Cantanhede Corrêa¹,
Tiago Osório Ferreira², Xosé Luis Otero³ & Gabriel Nuto Nóbrega⁴

¹ Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil

² Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

³ Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Espanha

⁴ Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil

(*E-mail: mlazaro@id.uff.br)

<https://doi.org/10.19084/rca.33911>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.11.20

RESUMO

A preocupação com o ciclo do C, a emissão de gases do efeito de estufa (GEE) e seus impactos no clima global levaram pesquisadores e agências públicas à busca por políticas que visem a mitigação do aumento da concentração de GEE na atmosfera. Os manguezais representam o ecossistema terrestre que possui maior capacidade de sequestrar C atmosférico em seus reservatórios, principalmente em seus solos. Por outro lado, manguezais apresentam alta taxa de degradação, com aproximadamente 50% de perda das suas áreas originais. Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar a capacidade que manguezais em processo de recuperação têm de acumular C em seus solos a partir de um gradiente temporal de reflorestamento. Na Área de Preservação Ambiental de Guapi-mirim (Rio de Janeiro - Brasil), foram identificados cinco bosques de manguezais sob diferentes estádios de replantio (área não vegetada - NV, áreas replantadas em 2011, 2013 e 2015, bem como uma área com vegetação com mais de 30 anos, considerada como estável). Nestes setores foram avaliados parâmetros físico-químicos do solo (Eh, pH), granulometria e C orgânico total. Os resultados indicam mudanças significativas tanto nas propriedades dos solos (pH, Eh) como no conteúdo de C orgânico, com incremento de 7,75 para 17,66% no bosque NV e nos bosques reflorestados, respectivamente.

Palavras-chave: Carbono Azul, Carbono orgânico do Solo, Mudanças climáticas, Restauração ambiental, Áreas úmidas costeiras.

ABSTRACT

The concern with the global carbon cycle, the emission of greenhouse gases (GHG), and their impacts on the global climate led researchers and public agencies to search for policies aimed at mitigating the increase in the concentration of GHG in the atmosphere. Mangroves represent the Terrestrial ecosystem which has more atmospheric C in their sinks, mainly in their soils. On the other hand, mangroves present the highest degradation rates, with 50% lost original areas. This study aimed to evaluate the temporal effect of reforestation in degraded mangroves on the restoration of soil carbon content. In the Environmental Preservation Area of Guapi-mirim (Rio de Janeiro - Brazil), five mangrove sectors under different replanting stages were identified (non-vegetated area - V, areas replanted in 2011, 2013, and 2015, as well as an area with vegetation over 30 years old, considered with stable). In these sectors, soil physical-chemical parameters (Eh, pH), particle size, and total organic C were evaluated. The results indicate significant changes both in the soil properties (pH, Eh) and in the organic C content, with an increase of 7,75 to 17,66% in the NV and reforested forests, respectively.

Keywords: Blue Carbon, Soil organic Carbon, Climate change, Environmental Restoration, Coastal Wetlands.

INTRODUÇÃO

As concentrações de gases do efeito de estufa (GEE) vêm aumentando significativamente ao longo das últimas décadas, com concentrações atuais 40% maiores que as observadas em 1750, no período pré-Revolução Industrial (IPCC, 2013). Esse fenômeno é desencadeado principalmente pela ação antropogênica e tem como consequência diversas questões ambientais como o derretimento de geleiras, elevação do nível do mar, desertificação de áreas tropicais, aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, extinção de espécies que podem desestruturar toda a vida no nosso planeta (Rahmstorf, 2010). Dessa forma, medidas de mitigação das concentrações de GEE são cada vez mais urgentes, sendo o sequestro de carbono (C) por reservatórios terrestres, como nos solos e florestas, uma das maneiras mais eficientes já encontradas para implementá-las (IPCC, 2018).

Os solos de manguezais apresentam alta produtividade primária de sua vegetação, grande depósito de matéria orgânica de diversas fontes e solos com condições anaeróbias que o tornam o maior reservatório terrestre de C (Duarte e Cebrián, 1996; Duarte *et al.*, 2005; Bouillon *et al.*, 2008; Kristensen *et al.*, 2008). Apesar disso, estima-se que a taxa de degradação desses ambientes por ação antrópica seja uma das maiores entre todos os ecossistemas do planeta (Alongi, 2002; Gilman *et al.*, 2008; Giri *et al.*, 2011).

Com o propósito de recuperar manguezais e os demais ecossistemas degradados para mitigação das mudanças climáticas, a Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) declarou o período entre os anos de 2021-2030 como a década da restauração de ecossistemas, com objetivo de remover até 26 Gt de GEE da atmosfera. Dessa forma, iniciativas para o replantio de manguezais são cada vez mais necessárias, pois promovem o restabelecimento desses ecossistemas (Euliss *et al.*, 2006; Badiou *et al.*, 2011; Kolka *et al.*, 2018). Um exemplo é através da definição e manutenção de Áreas de Preservação Ambiental, que são previstas pela legislação brasileira e têm o objetivo de proteger e conservar atributos bióticos, abióticos, estéticos e culturais dos ecossistemas.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito temporal do reflorestamento em manguezais

degradados sobre o restabelecimento e acúmulo dos conteúdos de carbono do solo e sobre as condições físico-químicas que guiam este processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Área de Preservação Ambiental (APA) de Guapi-mirim, Rio de Janeiro, Brasil (Figura 1). A APA de Guapi-mirim, localizada no recôncavo da Baía de Guanabara, cobre 13 950 há e foi criada em 1984 com o objetivo de proteger os remanescentes de manguezais da região (Pellens *et al.*, 2001). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, quente e úmido, com estação chuvosa na primavera-verão. Os solos predominantes na APA de Guapi-Mirim são do tipo Hidromórfico Orgânico Tiomórfico, com características de salinidade e presença de enxofre (Araújo e Maciel, 1979). Por ocasião da implantação da APA, antigas áreas de manguezal que foram removidas por atividade antrópica (uso da terra e retirada de madeira) passaram a ser recuperadas seguindo um protocolo de reflorestamento.

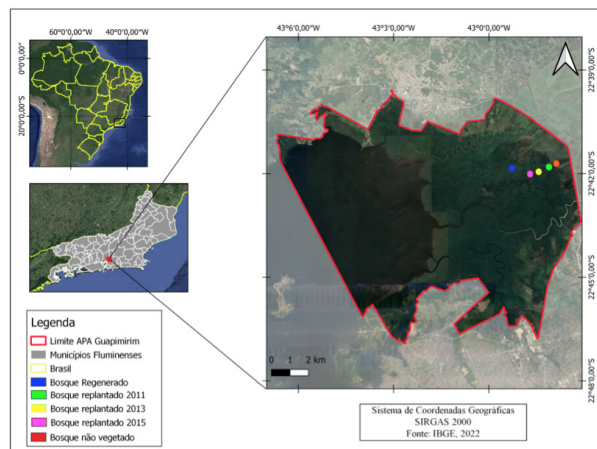


Figura 1 - Localização da APA Guapi-mirim.

Na APA, foram identificados cinco bosques (setores) com diferentes idades de recuperação para coleta das amostras de solos, sendo três deles reflorestados nos anos de 2011, 2013 e 2015; um bosque recuperado naturalmente há 30 anos e um

completamente degradado e sem vegetação (identificados como 2011, 2013, 2015, R e NV, respectivamente). Todos os bosques pertencem à mesma posição fisiográfica e estão sob influência do rio Carceribu.

Coleta de amostras

Em cada um dos cinco bosques, durante a maré baixa, foram demarcados 3 pontos a cada 20 m a partir de um transecto perpendicular ao leito do rio. Em cada ponto foi coletada uma amostra indeformada de solo (testemunho) com auxílio de tubos de policloreto de vinila (PVC; 0,05 m de diâmetro e 0,6 m de comprimento). Para evitar a oxidação das amostras de solo, todos os tubos foram hermeticamente fechados, mantidos em aproximadamente 4 ° C e transportado na posição vertical até que as amostras fossem seccionadas em intervalos de 0–10, 10–20, 20–30, 30–50 cm. Essas sub-amostras foram identificadas e congeladas para que fossem realizadas as análises laboratoriais.

Análises do solo

Foram realizadas análises de pH e potencial redox (Eh), ainda em campo, através de um medidor portátil de pH/mV com eletrodo de vidro e calibração automática. A análise granulométrica foi realizada de acordo com o método do Densímetro (Gee e

Bauder, 1986) com prévio tratamento das amostras com peróxido de hidrogênio (30%) para a eliminação da matéria orgânica e álcool etílico 60% para a eliminação dos sais (Pansu e Gautheyrou, 2006).

Para as análises de carbono orgânico total (COT) foi utilizado um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massas. As amostras foram previamente tratadas com HCl 1N (Howard *et al.*, 2014) para a dissolução dos carbonatos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH e o Eh são indicadores da ocorrência de processos pedogenéticos em situação de inundação (gleização, sulfidização e paludização), que respondem pelo sequestro de C (Ponnamperuma, 1972; Ferreira *et al.*, 2010; Nóbrega *et al.*, 2016) e emissão de GEE (e.g., CO₂, CH₄ e N₂O; Queiroz *et al.*, 2019; Otero *et al.*, 2020).

Os bosques avaliados apresentaram condição que variaram de anóxicas (Eh<+100 mV) a óxicas (Eh> +350 mV), com valores de Eh variando entre -346 e +382 mV (Figura 2A). Os maiores valores de Eh foram encontrados no bosque NV (336 mV), enquanto que R e os bosques reflorestados apresentaram valores consideravelmente menores, sendo o menor encontrado em R (-345 mV), indicando que a presença e o desenvolvimento da vegetação conduzem a uma redução do Eh em consequência

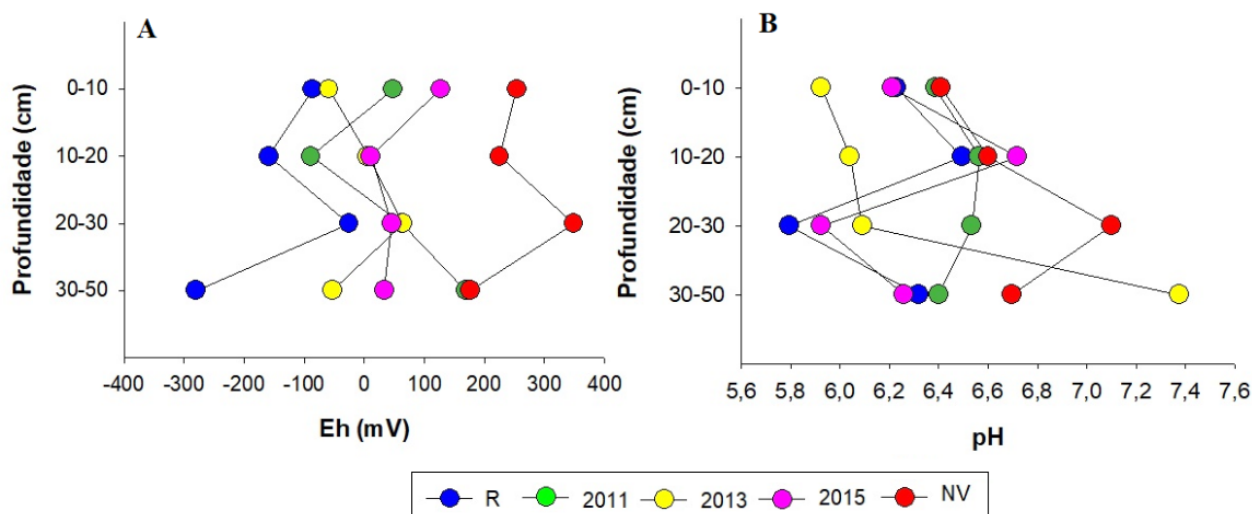


Figura 2 - Valores médios de Eh e pH para os bosques de manguezais estudados.

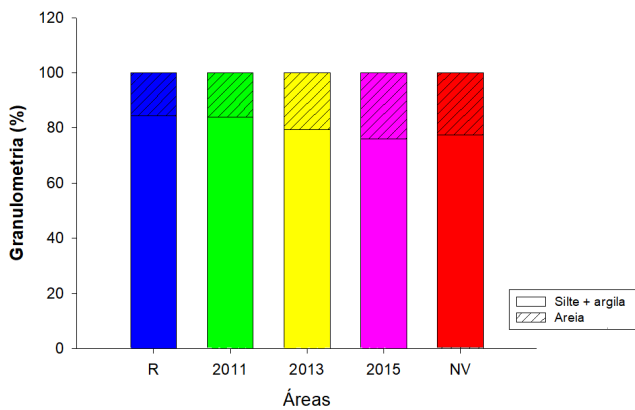


Figura 3 - Valores médios das frações silte + argila e areia para os bosques de manguezais estudados.

da excreção de substâncias orgânicas lábeis como açúcares e ácidos orgânicos que reativam a atividade microbiana nestes ambientes (Otero e Macias, 2002). Comparando os bosques R e NV, são especialmente notadas as diferenças significativas para todas as profundidades, com médias de -97,42 e 121,49 mV, para R e N, respectivamente (Figura 2-A).

Quanto aos valores de pH, houve variação entre 5,2 e 7,8, havendo de uma forma geral aumento dos

valores em profundidade (Figura 2B). Os menores valores de pH foram observados em superfície (0-20 cm), podem ser explicados por uma menor intensidade de inundação no solo e em consequência da ocorrência de oxidação dos sulfetos, gerando acidez (Nóbrega *et al.*, 2016). Comparando os bosques, o maior valor médio de pH foi observado na área não vegetada (6,76), enquanto o menor valor médio foi observado no bosque recuperado (6,15). Apesar disso, os resultados não mostram clareza quanto a qualquer padrão de pH entre o gradiente das idades de reflorestamento e das profundidades dos bosques estudados.

Os valores médios obtidos por bosque para a fração areia e fração fina (silte + argila) podem ser observados na Figura 3. Os maiores valores da fração fina foram encontrados no bosque R e 2011 (90,80 e 86,98%, respectivamente). Os bosques R e 2015 apresentaram mais concentração de areia em profundidade (30,16 e 33,59%) e 2011 e NV, por outro lado, apresentaram menores valores desse atributo em superfície (11,58 e 20,06%). O bosque 2013 apresentou comportamento homogêneo de areia ao longo do perfil do solo. De uma forma geral, foram observados valores baixos de argila, com pouca

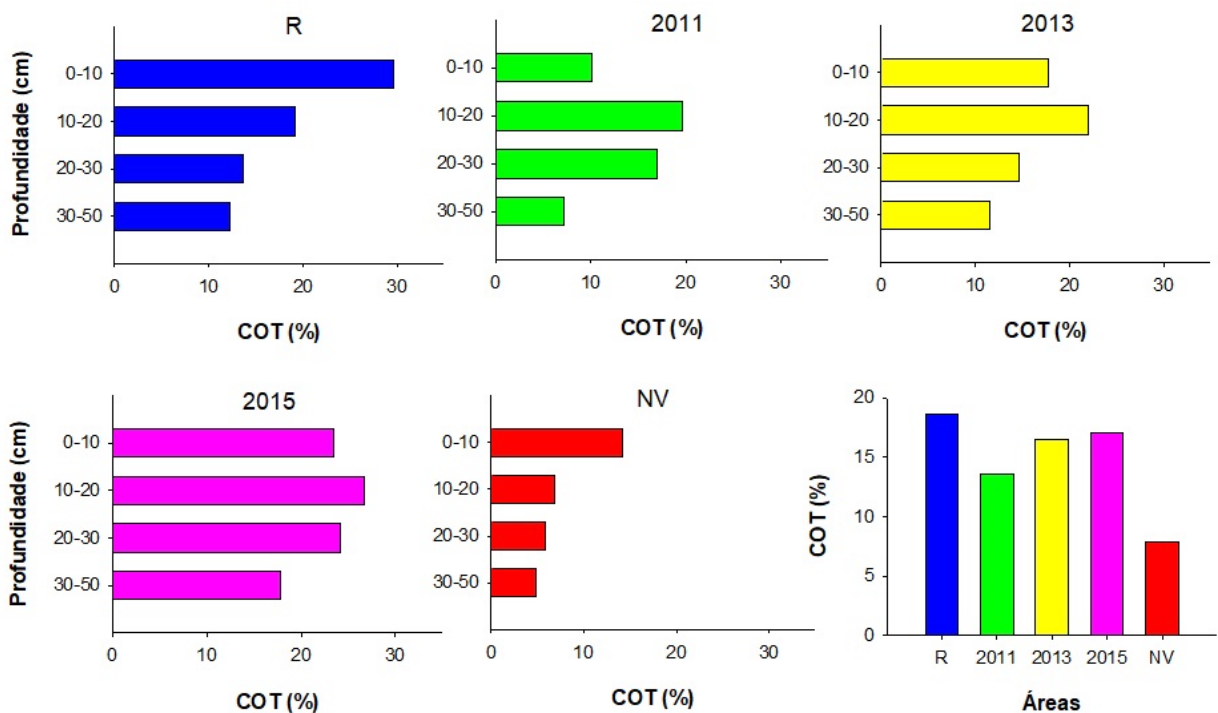


Figura 4 - Valores médios de carbono orgânico total por profundidade e para cada bosque estudado.

variação entre profundidades e bosques, com máximo de 1,70% no bosque NV e mínimo de 0,98% no bosque 2013.

Os resultados dos conteúdos de COT confirmam os elevados conteúdos desse elemento presente em solos de manguezais, com valores obtidos que oscilam entre 44,42 e 3,53%, nos bosques R e NV, respectivamente (Figura 4). De uma forma geral, o comportamento observado em profundidade foi parecido nos bosques replantados, com maiores teores de C entre 10-20 cm com decréscimo em profundidade. Os resultados indicam que parece não haver resposta direta da idade do desenvolvimento vegetal no acúmulo deste elemento para os bosques estudados, possivelmente pela grande heterogeneidade no material sedimentário destes ambientes. Porém, comparando áreas vegetadas (R, 2011, 2013 e 2015) com NV, é possível observar diferenças relevantes no conteúdo de COT, variando, por exemplo, de 7,87 a 18,63% entre NV e R, respectivamente com a média de 17,66% para os bosques replantados (2011, 2013, 2015).

CONCLUSÕES

A variação temporal do estágio de reflorestamento não apresentou relação com as propriedades dos solos, bem como para o acúmulo de carbono, para os bosques e idades estudados. Porém, os resultados indicam que as amostras de solo nas quais havia vegetação adjacente obtiveram melhores condições físico-químicas para proporcionar o acúmulo de carbono, proveniente da floresta de mangue, nesses ambientes em comparação com as amostras da área degradada. Isso indica que o reflorestamento pode ser uma solução para reverter o processo de degradação do solo e emissão de GEE, tendo como consequência o acúmulo de carbono.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade Federal Fluminense, Universidade de Santiago de Compostela.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi, D.M. (2002) - Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, vol. 29, n. 3, p. 331-349. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000231>
- Araújo, D.S.D. & Maciel, N.C. (1979) - *Os Manguezais do Recôncavo da Guanabara*. Rio de Janeiro, FEEMA.
- Badiou, P.; McDougal, R.; Pennock, D. & Clark, B. (2011) - Greenhouse gas emissions and carbon sequestration potential in restored wetlands of the Canadian prairie pothole region. *Wetlands Ecology and Management*, vol. 19, n. 3, p. 237-256. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9214-6>
- Bouillon, S.; Borges, A.V.; Castañeda-Moya, E.; Diele, K.; Dittmar, T.; Duke, N.C.; Kristensen, E.; Lee, S.Y.; Marchand, C.; Middelburg, J.J.; Rivera Monroy, V.H.; Smith, T.J. & Twilley, R.R. (2008) - Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, n. 2, art. GB2013. <https://doi.org/10.1029/2007GB003052>
- Duarte, C.M. & Cebrián, J. (1996) - The fate of marine autotrophic production. *Limnology and Oceanography*, vol. 41, n. 8, p. 1758-1766. <https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.8.1758>
- Duarte, C.M.; Middelburg, J.J. & Caraco, N. (2005) - Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* vol. 2, n. 1, p. 1-8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>
- Euliss, J.N.H.; Gleason, R.A.; Olness, A.; McDougal, R.L.; Murkin, H.R.; Robarts, R.D.; Bourbonniere, R.A. & Warner, B.G. (2006) - North American prairie wetlands are important nonforested land-based carbon storage sites. *Science of The Total Environment*, vol. 361, n. 1-3, p. 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.06.007>
- Ferreira, T.O.; Otero, X.L. & de Souza Junior, V.S. (2010) - Spatial patterns of soil attributes and components in a mangrove system in Southeast Brazil (São Paulo). *Journal of Soils and Sediments*, vol. 10, p. 995-1006. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0224-4>

- Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1986) - Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.) - *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p. 383-411. (Agronomy Series, 9).
- Gilman, E.L.; Ellison, J.; Duke, N.C. & Field, C. (2008) - Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, vol. 89, n. 2, p. 237– 250. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>
- Giri, C. (2008) – Mapping and monitoring of mangrove forests of the world using Remote Sensing. In: Windhammyers, L.; Crooks, S. & Troxler, T.G. (Ed.) - *A Blue Carbon Primer: The State of Coastal Wetland Carbon Science, Practice and Policy*. CRC Press. p. 163– 177. <https://doi.org/10.1201/9780429435362-13>
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J. & Duke, N. (2011) - Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 20, n. 1, p. 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Howard, J.; Hoyt, S.; Isensee, K.; Telszewski, M. & Pidgeon, E. (2014) - *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature: Arlington, VA, USA.
- IPCC (2013) - Resumo para Decisores. In: Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. & Midgley, P.M. (Eds.) - *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.
- IPCC (2018) - Resumo para Decisores. In: *Relatório Especial do IPCC sobre o Aquecimento Global de 1,5°C aprovado pelos governos*.
<https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-onglobal-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>
- Kolka, R.; D'Amato, A.; Wagenbrenner, J.; Slesak, R.; Pypker, T.; Youngquist, M.; Grinde, A. & Palik, B. (2018) - Review of Ecosystem Level Impacts of Emerald Ash Borer on Black Ash Wetlands: What Does the Future Hold? *Forests*, vol. 9, n. 4, art. 179. <https://doi.org/10.3390/f9040179>
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T. & Marchand, C. (2008) - Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, vol. 89, n. 2, p. 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.AQUABOT.2007.12.005>
- Nóbrega, G.N.; Ferreira, T.O.; Siqueira Neto, M.; Queiroz, H.M.; Artur, A.G.; Mendonça, E.D.S.; Silva, E.D.O. & Otero, X.L. (2016) - Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil). *Science of the Total Environment*, vol. 542, part A, p. 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.108>
- Otero, X.L. & Macias, F. (2002) - Variation with depth and season in metal sulfides in salt marsh soils. *Biogeochemistry*, vol. 61, p. 247–268. <https://doi.org/10.1023/A:1020230213864>
- Otero, X.L.; Araújo Jr., J.M.C.; Barcellos, D.; Queiroz, H.M.; Romero, D.J.; Nóbrega, G.N.; Siqueira Neto, M. & Ferreira, T.O. (2020) - Crab Bioturbation and Seasonality Control Nitrous Oxide Emissions in Semiarid Mangrove Forests (Ceará, Brazil). *Applied Sciences*, vol. 10, n. 7, art. 2215. <https://doi.org/10.3390/app10072215>
- Pansu, M. & Gautheyrou, J. (2006) - *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. Springer.
- Pellens, R. (2001) - *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental*. Relatório Técnico APA Guapi-mirim.
- Ponnamperuma, F.N. (1972) - The Chemistry of Submerged Soils. *Advances in Agronomy*, vol. 24, p. 29-96. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60633-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1)
- Queiroz, H.M.; Artur, A.G.; Taniguchi, C.A.K.; Silveira, M.R.S.; Nascimento, J.C.; Nóbrega, G.N.; Otero, X.L.; Ferreira, T.O. (2019) - Hidden contribution of shrimp farming effluents to greenhouse gas emissions from mangrove soils. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 221, p. 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.011>
- Rahmstorf, S. (2010) - A new view on sea level rise. *Nature Climate Change*, vol. 1, p. 44–45. <https://doi.org/10.1038/climate.2010.29>