



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



**Influência da inundação do solo no estoque de carbono na
biomassa morta em floresta de restinga**

Daniel Mafra Dalago

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no formato de Artigo de Pesquisa ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador^a: Ana Catarina Conte Jakovac

Florianópolis – SC

Novembro/2025

Influência da inundação do solo no estoque de carbono na biomassa morta em floresta de restinga

Daniel Mafra Dalago⁽¹⁾, Ana Catarina Conte Jakovac⁽²⁾

⁽¹⁾ Acadêmico do curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Admar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

⁽²⁾ Professor(a), Depto. De Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina. Rod. Admar Gonzaga,1346, Bairro Itacorubi, Caixa Postal 476, CEP 8840-900, Florianópolis-SC, Brasil.

Autor Correspondente- E-mail: danielmafradalago@hotmail.com

Resumo

O estudo avaliou a influência da inundação do solo sobre o estoque de carbono na biomassa morta, composta por serrapilheira e necromassa lenhosa grossa, em florestas de restinga arbórea da Fazenda Experimental da Ressacada, Florianópolis (SC). Foram amostradas oito parcelas distribuídas ao longo de um gradiente hídrico, mediu-se a profundidade do lençol freático, a biomassa de serrapilheira e a necromassa lenhosa. A análise *Modelo Linear Generalizado (GLM)* com distribuição Gamma indicou relação inversa significativa entre a profundidade do lençol freático e a necromassa ($\beta_1 = -0,8163$; $p = 0,0348$; $R^2 = 0,54$) e tendência marginal para serrapilheira ($\beta_1 = -0,243$; $p = 0,06$; $R^2 = 0,43$). Áreas com lençol raso apresentaram maiores acúmulos de biomassa morta, evidenciando a influência da saturação hídrica na redução das taxas de decomposição sob condições anóxicas. Os estoques médios foram de 6,2 Mg C·ha⁻¹ para a necromassa e 3,9 Mg C·ha⁻¹ para a serrapilheira, correspondendo a cerca de 11,4% adicionais ao carbono da biomassa viva. Tais resultados reforçam o papel destes compartimentos nas florestas de restinga como sumidouros temporários de carbono, especialmente em áreas com lençol freático raso, destacam sua importância ecológica na mitigação das mudanças climáticas e na manutenção dos serviços ecossistêmicos costeiros.

Palavras-chave: Lençol freático, necromassa, serrapilheira, ecossistemas costeiros.

Influence of Soil Flooding on Carbon Stock in Dead Biomass in a Restinga Forest Abstract

The study evaluated the influence of soil flooding on carbon stocks in dead biomass, composed of litter and coarse woody debris, in arboreal restinga forests at the Fazenda Experimental da Ressacada, Florianópolis (SC), southern Brazil. Eight plots were sampled along a hydrological gradient, where water table depth, litter biomass, and coarse woody debris were measured. The analysis using a Generalized Linear Model (GLM) with Gamma distribution indicated a significant inverse relationship between water table depth and coarse woody debris ($\beta_1 = -0.8163$; $p = 0.0348$; $R^2 = 0.54$) and a marginal trend for litter ($\beta_1 = -0.243$; $p = 0.06$; $R^2 = 0.43$). Areas with a shallow water

table showed greater accumulation of dead biomass, highlighting the influence of water saturation in reducing decomposition rates under anoxic conditions. Mean carbon stocks were 6.2 Mg C·ha⁻¹ for coarse woody debris and 3.9 Mg C·ha⁻¹ for litter, corresponding to approximately 11.4% additional carbon compared to living biomass. These results reinforce the role of these compartments in arboreal restinga forests as temporary carbon sinks, especially in areas with shallow water tables, and emphasize their ecological importance in mitigating climate change and maintaining coastal ecosystem services.

Keywords: Water table, coarse woody debris, litter, coastal ecosystems.

Introdução

As florestas tropicais são cruciais para a biodiversidade, abrigando cerca de 50% das espécies de plantas e animais do planeta (Myers et al., 2000) e também desempenham papel central na mitigação das mudanças climáticas pois atuam como sumidouros vitais de carbono (Martins, 2017). Esse acúmulo decorre do sequestro de carbono, processo biológico pelo qual as plantas absorvem CO₂ da atmosfera e o fixam na biomassa vegetal, mediado por processos fisiológicos e bioquímicos, através da fotossíntese e respiração da vegetação, em interação com a respiração do solo (Chang, 2001; Kell, 2012). Estima-se que estas florestas concentrem 229 bilhões de toneladas de carbono, cerca de 30% do carbono terrestre (Pan et al., 2011).

Nas florestas tropicais, aproximadamente 56% do carbono total encontra-se na biomassa viva acima do solo, composta por caules, galhos, folhas e frutos, enquanto 32% está armazenado no solo e cerca de 12% distribui-se entre raízes, madeira morta e serrapilheira (Pan et al., 2011). Essa proporção, contudo, varia conforme as condições ambientais, climáticas, edáficas e de acordo com o nível de inundação (Hofhansl et al., 2020). A biomassa aérea, frequentemente empregada como parâmetro do estoque de carbono, é componente central em estimativas comparativas entre ecossistemas. Todavia, os principais depósitos (pools) de carbono abrangem, além da biomassa viva acima e abaixo do solo, a necromassa lenhosa, a serrapilheira e a matéria orgânica do solo (IPCC, 2019). Portanto, abordagens que consideram apenas a biomassa aérea tendem a subestimar o estoque total do ecossistema, ao desconsiderar a contribuição substantiva dos demais compartimentos.

Nesta perspectiva, a serrapilheira e a necromassa lenhosa grossa são componentes fundamentais na dinâmica da matéria orgânica e no ciclo do carbono em ecossistemas florestais. A serrapilheira, formada pela deposição de folhas, galhos finos e material reprodutivo, constitui a principal via de retorno de nutrientes da vegetação

para o solo, desempenhando papel essencial na reposição da matéria orgânica e manutenção da fertilidade das florestas (Vital et al., 2004; Paula et al., 2009). A necromassa, composta por troncos, galhos e outros fragmentos lenhosos em decomposição, atua como um importante sumidouro temporário de carbono, desempenhando papel essencial na ciclagem dos nutrientes e na manutenção do balanço de carbono, além de fornecer micro-habitats e recursos energéticos para a fauna decompositora (Barbosa et al., 2016). Apesar de sua relevância ecológica, a necromassa lenhosa grossa ainda é pouco estudada no Brasil, com a maioria dos trabalhos concentrada na região Amazônica e poucos registros em florestas ombrófilas do Sudeste (Veiga, 2008). Essa carência de dados regionais limita as estimativas de estoque de carbono e compromete a compreensão do papel desses compartimentos nos ecossistemas da Mata Atlântica (Villela et al., 2012).

O domínio da Mata Atlântica, com 98% de sua extensão localizada em território brasileiro, é um dos biomas tropicais mais biodiversos do planeta e reconhecido como um “hotspot” global de conservação. Constitui um mosaico de fitofisionomias e ecossistemas associados, como florestas ombrófilas densas e mistas, manguezais, campos de altitude, restingas, entre outros e abriga cerca de 35% da população sul-americana, possuindo atualmente apenas 24% de sua cobertura florestal original, dos quais 12,4% correspondem a florestas maduras e bem conservadas (Melo et al., 2013; De Lima et al., 2020; SOS Mata Atlântica & INPE, 2023). Entre os principais serviços ecossistêmicos, destaca-se o sequestro e o armazenamento de carbono na biomassa.

Dentre as formações vegetais da Mata Atlântica, um dos ecossistemas associados menos descritos pela literatura são as restingas (Pereira et al., 2012). As restingas ou formações pioneiras de influência marinha, desenvolvem-se sobre planícies costeiras, dunas e cordões arenosos sob a influência de fatores oceanográficos (Veloso, 1982). Sua vegetação varia de comunidades herbáceas e arbustivas a formações arbóreas, apresentando aumento gradual de complexidade estrutural, riqueza florística e diversidade funcional à medida que se afasta da região pós-praia e avança em direção ao interior da planície costeira (Araújo e Lacerda, 1987; Fernandes, 2006). Esses ecossistemas desempenham papel essencial na proteção litorânea e na conservação da biodiversidade, abrigando espécies adaptadas a condições ambientais extremas como alagamentos, salinidade elevada e ventos intensos (Sevegnani et al., 2013). Além disso, contribuem para a estabilização de sedimentos e redução da erosão costeira (Cordazzo

et al., 2006), também oferecendo abrigo à fauna residente e migratória (CONAMA, 1999). No entanto, encontram-se sob forte pressão antrópica devido à ocupação e urbanização das áreas costeiras, o que acentua sua fragmentação e perda de serviços ecossistêmicos (Almeida, 2012).

Em termos de carbono, as restingas apresentam estoques variáveis na vegetação e no piso florestal, determinados pela estrutura da vegetação e pelas condições ambientais locais. A presença de lençol freático alto e alagamentos sazonais favorecem a formação de um horizonte orgânico superficial e o acúmulo de serrapilheira, uma vez que a anóxia, causada pela saturação hídrica, reduz as taxas de decomposição (menor atividade microbiana devido ao ambiente anaeróbio). Em áreas periodicamente alagadas, a deposição e a decomposição da necromassa lenhosa e serrapilheira respondem a esta dinâmica, gerando estoques mais elevados de carbono na superfície do solo quando comparadas a porções adjacentes mais secas (Pereira et al., 2012). Esse efeito da hidrologia sobre a biomassa morta torna a restinga um modelo útil para investigar como variações micro topográficas e de drenagem modulam a estocagem de C no piso florestal e apesar de sua incontestável importância, os estudos da ciclagem de nutrientes em zonas de restingas são escassos (Paula et al, 2009; Silva e Britez, 2005).

Diante disso, fragmentos de restinga arbórea constituem laboratórios naturais para a quantificação dos estoques de carbono e para o aprimoramento de estratégias de conservação e manejo desses ecossistemas. Dentro desta perspectiva, o trabalho tem como objetivo quantificar os estoques de carbono ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) na serrapilheira e na necromassa lenhosa, bem como avaliar a influência do nível de inundação do solo sobre esses estoques em fragmentos de restinga arbórea localizados na Fazenda Experimental da Ressacada, em Florianópolis, SC.

Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar a influência da inundação do solo no estoque de carbono presente em diferentes compartimentos da biomassa morta de uma floresta de restinga arbórea — serrapilheira e necromassa lenhosa grossa — localizada na Fazenda Experimental da Ressacada (Florianópolis/SC).

Objetivos Específicos

- Quantificar o estoque de carbono na serrapilheira acumulada em áreas de restinga arbórea com diferentes níveis de inundação periódica do solo;

- Quantificar o estoque de carbono na necromassa lenhosa grossa em áreas com diferentes níveis de inundação periódica;
- Classificar a necromassa de acordo com a classe de decomposição;
- Analisar a influência da inundação do solo no estoque de carbono na biomassa

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em fragmentos de vegetação de restinga arbórea, localizados na Fazenda Experimental da Ressacada/CCA/UFSC, no município de Florianópolis/SC, bairro Tapera, com coordenadas geográficas 27° 41' 06.28" S e 48°32' 38.81". O solo da área de estudo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). De acordo com informações disponíveis no site oficial da FER/CCA/UFSC, esse tipo de solo é caracterizado pela predominância de areia, cor escura devido ao elevado teor de matéria orgânica e pela presença frequente de água, resultante do alto nível do lençol freático. (<https://fazenda.ufsc.br/descricao-fisica/>).

Segundo a classificação climática de Köeppen, a área se encontra na região de clima sub-tropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Kottek, 2006). Andrade (2006), apresenta a pluviosidade pelo índice de precipitação anual média de 1400 mm a 1600 mm com as temperaturas médias anuais em torno de 20° junto a costa marítima e 22°C no interior da ilha.

Com base na RESOLUÇÃO nº261, DE 30 DE JUNHO DE 1999, elaborada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, os fragmentos arbóreos alvo do estudo são classificados como Vegetação de Restinga Arbórea, que compreende o conjunto de comunidades vegetais, associados aos depósitos arenosos costeiros quaternários e ambientes litorâneos, apresentando vegetação densa e com fisionomia arbórea, estratos arbustivos e herbáceos desenvolvidos e acúmulo de serrapilheira. São enquadrados como estágio médio de regeneração: predominância de fisionomia arbórea-arbustiva, com presença de arbustos de até quatro metros de altura e árvores com até seis metros de altura, DAP médio de até dez centímetros e presença de epifitismo com maior diversidade de espécies do que os estágio iniciais, trepadeiras presentes, presença de serrapilheira em camada fina e sub-bosque pouco desenvolvido, flora vascular composta por espécies indicadoras como por exemplo: *Guapira opposita*,

Pera glabrata, *Clusia sp.*, *Huberia semiserrata*, *Ilex theezans*, *Ilex dumosa*, *Ilex pseudobuxus*, *Myrcia spp.*, *Eugenia spp.*, *Erythroxylum spp.*, *Ocotea pulchella*, *Andira sp.*, *Cupania vernalis*, *Faramea spp* (Borges, 2022; Baptista, 2022).

Coleta de dados

Para avaliar o estoque de carbono presente na serrapilheira e na necromassa, utilizamos seis fragmentos de floresta de restinga previamente utilizados em estudos anteriores pelo Laboratório de Restauração e Ecologia Florestal (LabReflor/UFSC). Dentro de cada um dos seis fragmentos foi demarcada uma parcela permanente com dimensões de 20 × 20 m (400 m²), distribuídas de forma a representar a heterogeneidade ambiental local.

Foi estabelecida uma amostragem de serrapilheira e necromassa por fragmento, exceto nos fragmentos 4 (Trilha dos Eucaliptos) e 5 (Trilha do Riacho), nos quais, em razão da maior extensão e da ocorrência de ambientes contrastantes (secos e alagados), foram instaladas uma parcela adicional em cada fragmento, respeitando uma distância mínima de 20 m entre parcelas para evitar sobreposição de bordas e garantir independência amostral. Ao todo, foram instaladas oito parcelas de amostragem de serrapilheira e necromassa, totalizando 3.200 m² de área amostral. As coletas foram realizadas entre setembro e outubro de 2025.

Em cada parcela de vegetação de 400 m² foi estabelecido um transecto linear de 28,3 m de comprimento, correspondente à hipotenusa da área de 20 × 20 m, orientado a partir do vértice da parcela. Esse transecto foi utilizado como base para a amostragem da serrapilheira, necromassa lenhosa grossa e profundidade do lençol freático. Os procedimentos específicos de coleta, processamento e análise desses componentes foram detalhados nos seus respectivos subtópicos.

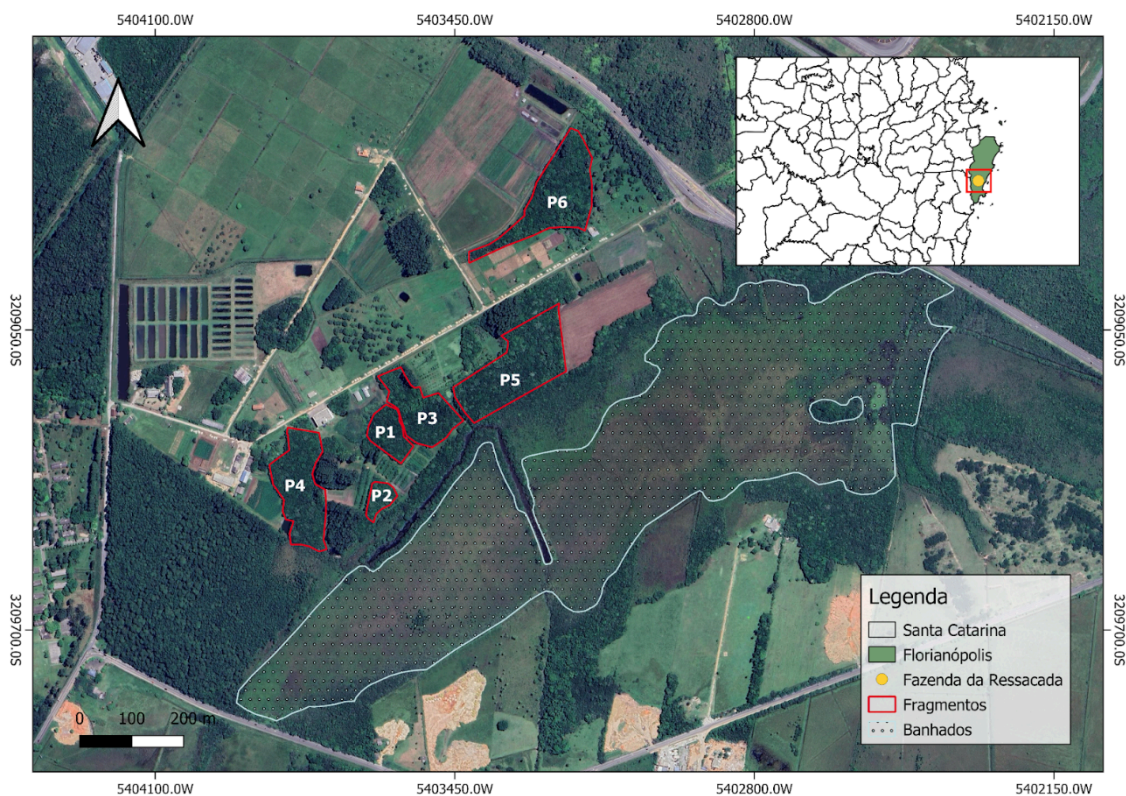


Figura 1. Localização dos fragmentos de restinga arbórea amostrados na Fazenda Experimental da Ressacada (FER), Florianópolis – SC. Os polígonos em vermelho representam os fragmentos amostrados; a área hachurada indica banhados. O ponto amarelo localiza a fazenda no município de Florianópolis, Santa Catarina. Base cartográfica: imagem de satélite (2024), sistema UTM, zona 22S, datum SIRGAS 2000.

Serrapilheira

A serrapilheira é formada pelas folhas, galhos e outras partes das plantas, tais como flores e frutos que caem sobre o solo. Para o Intergovernmental Panel on Climate Change (2019), a serrapilheira inclui toda a biomassa não viva com tamanho maior que o limite da matéria orgânica no solo (sugere-se 2 mm) e menor que o diâmetro mínimo escolhido para a madeira morta (necromassa).

Ao longo do transecto diagonal de cada parcela de vegetação, foram realizadas três amostragens de serrapilheira com auxílio de uma moldura quadrada de PVC, medindo 0,5 × 0,5 m (0,25 m²). Duas amostras foram coletadas nas extremidades do transecto a 1 m dos vértices da parcela de vegetação, e uma no ponto central.

A serrapilheira delimitada pela moldura foi cuidadosamente retirada, evitando a coleta de solo, raízes vivas e galhos maiores que 2,5 cm de diâmetro. Após cada coleta e

identificação, os materiais amostrados foram secos ao ar livre e submetidos a limpeza manual para retirar as impurezas grosseiras. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 72 horas e subsequentemente submetidas a uma nova etapa de triagem com o auxílio de peneiras de diferentes granulometrias (4,0 mm e 1,0 mm) visando à remoção de partículas residuais como pequenas pedras, torrões de solo e areia. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica de precisão (0,01 g). Os resultados de massa seca (g) obtidos foram convertidos em kg·ha⁻¹ e Mg·ha⁻¹.

$$C = B \times CF$$

Em que C é o estoque de carbono (Mg C·ha⁻¹), B corresponde à biomassa seca obtida por hectare (Mg·ha⁻¹) e CF é o fator de conversão da biomassa de serrapilheira em carbono, adotado como 0,37 conforme recomendações do IPCC (2019).

Necromassa lenhosa grossa

A necromassa lenhosa grossa foi amostrada seguindo o protocolo do método de interseção de linhas (*Line Intercept Sampling*) descrito por Van Wagner (1968) e adaptado pelo *Manual de Processamento de Dados do IFN* (2021). Foram registradas todas as partes de madeira morta com diâmetro igual ou superior a 2,5 cm que cruzavam o transecto diagonal. Com auxílio de uma suta florestal, mediu-se o diâmetro no ponto de interseção, na porção proximal e distal, o comprimento total foi medido com fita milimetrada. Também foram registradas as respectivas classes de decomposição.

As classes de decomposição foram registradas em cinco categorias: Classe 1 – madeira recém-caída, sólida, com casca aderida e galhos finos; Classe 2 – madeira ainda densa, mas já sem galhos finos e com início de descascamento; Classe 3 – madeira moderadamente decomposta, sem casca, cor escurecida e menor densidade; Classe 4 – madeira em decomposição avançada, macia, facilmente penetrada por faca e com estrutura friável; Classe 5 – madeira muito decomposta, friável, colapsada, confundindo-se com o horizonte orgânico do solo. Adicionalmente, nos indivíduos classificados como classe 1, procedeu-se à determinação da sua posição (caída no solo ou em pé), da espécie, e da densidade da madeira por meio da coleta de amostra da madeira com um trado específico para essa finalidade.

Para cada transecto, o volume de necromassa por área foi estimado segundo a equação:

$$y_{ij} = \frac{\pi^2 \rho \sum d^2}{8 L}$$

Em que, Y é a necromassa em Mg·ha⁻¹ no transecto j do conglomerado i; d é o diâmetro do galho/tronco caído, em cm; L é o comprimento da linha amostral, em m; é a densidade média da madeira caída, em Mg m⁻³. Finalmente, o estoque de carbono da necromassa lenhosa foi estimado aplicando-se um fator de conversão de 0,47, conforme recomendado pelo IPCC (2019). A densidade média da madeira adotada nos cálculos foi obtida a partir dos valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade de necromassa caída no chão por classe de diâmetro e por classe de decomposição, adaptado de Keller et al. (2004).

| Classe de diâmetro (cm) | Classe de decomposição* | Densidade (Mg.m ⁻³) |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| < 5 | - | 0,36 |
| 5 a 10 | - | 0,45 |
| > 10 | 1 | 0,70 |
| | 2 e 3 | 0,58 |
| | 4 e 5 | 0,28 |

*Classes de decomposição: 1 = material novo, presença de ramos e textura de madeira intacta; 2 e 3 = material em decomposição inicial, resquícios de casca, sem ramos e madeira firme; 4 e 5 = material em decomposição avançada, sem casca, sem ramos e madeira em estado de decomposição com textura esfarelada.

No presente estudo, foram consideradas cinco classes de decomposição da necromassa lenhosa, com o objetivo de representar com maior detalhamento as variações observadas no campo quanto ao estado de decomposição do material. Para o cálculo da necromassa, adotaram-se valores médios de densidade da madeira com base em Keller et al. (2004), sendo atribuídos os seguintes valores: classe 1 = 0,70 Mg·m⁻³, classes 2 e 3 = 0,58 Mg·m⁻³ e classes 4 e 5 = 0,28 Mg·m⁻³.

Caracterização do Lençol freático

A profundidade do lençol freático foi determinada por meio de perfurações no solo realizadas com o auxílio de um trado manual. As medições foram realizadas em

dois pontos dentro de cada parcela, sendo um localizado na cota mais baixa e outro na cota mais elevada, seguindo o transecto linear disposto na diagonal da parcela.

As perfurações foram efetuadas até o alcance do lençol freático, identificado pela presença de água no interior do orifício. Após sua interceptação, aguardou-se o tempo necessário para a estabilização da lâmina d'água, e, em seguida, com o auxílio de uma régua milimetrada, foi aferida a distância vertical entre o nível da água e a superfície do solo. Para garantir a padronização das condições de campo e minimizar variações associadas à oscilação do lençol freático, todas as medições foram realizadas no mesmo dia. Os valores obtidos foram registrados em planilhas de campo para posterior análise comparativa entre parcelas e ambientes.



Figura 2. Perfuração



Figura 3. Medição



Figura 4. Lençol freático

Análise de dados

Os dados obtidos em campo foram inicialmente organizados em planilhas do *Microsoft Excel*, onde passaram por conferência, padronização de unidades e cálculo das médias por parcela. Em seguida, essas informações foram importadas para o *software R 4.5.2*, no qual foram realizadas as análises estatísticas.

Para avaliar a relação entre os estoques de carbono e a inundação, utilizou-se como variável preditora a profundidade média do lençol freático e, como variáveis resposta, a biomassa média de serrapilheira (calculada a partir da média das três amostras em cada transecto) e o estoque total de necromassa (obtido pela soma da necromassa lenhosa em cada transecto). O modelo estatístico ajustado para analisar essas relações foi um *Modelo Linear Generalizado (GLM)* com distribuição Gamma e função de ligação logarítmica (link = “log”). Essa abordagem, amplamente empregada

em estudos ecológicos, mostrou-se adequada por lidar com dados positivos e assimétricos, características típicas de variáveis contínuas como biomassa morta, que não seguem distribuição normal.

O uso da distribuição Gamma permite modelar variâncias proporcionais à média, enquanto o link logarítmico transforma a relação em uma escala multiplicativa, refletindo de forma mais realista o comportamento ecológico do sistema. O modelo ajustado pode ser representado pela seguinte equação:

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

Onde Y_i representa o estoque de necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) observado em cada parcela; X_i corresponde à altura média do lençol freático (m); β_0 é o intercepto, indicando o valor esperado da necromassa quando $X=0$; β_1 representa o coeficiente angular, que expressa o efeito da profundidade do lençol freático sobre a necromassa; e ϵ_i é o erro aleatório, assumindo distribuição Gamma, que reflete a variabilidade não explicada pelo modelo.

No modelo aplicado à serrapilheira, Y_i representa a biomassa de serrapilheira ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), X_i a altura média do lençol freático (m), β_0 o intercepto (valor esperado quando $X=0$), β_1 o coeficiente angular (efeito da profundidade sobre a biomassa de serrapilheira) e ϵ_i o erro aleatório com distribuição Gamma.

Resultados e discussão

Profundidade do lençol freático

As medições indicam variação expressiva na profundidade do lençol freático entre as parcelas, refletindo condições hídricas heterogêneas ao longo do gradiente amostral. As parcelas P3, P7 e P8 apresentaram lençol aflorado ou muito raso ($\leq 0,2$ m), caracterizando ambientes inundados com forte influência da saturação hídrica. As parcelas P1 e P4 situaram-se em condição intermediária (0,3–0,6 m), representando zonas de transição hidrológica que alternam períodos de saturação e drenagem. Já as parcelas P2, P5 e P6 apresentaram lençol profundo ($\geq 0,8$ m), caracterizando ambientes bem drenados. Os valores registrados pela medição da profundidade do lençol freático na cota mais baixa e mais alta de cada parcela estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Profundidade do lençol freático (m) medida nas parcelas de restinga arbórea amostradas. Os valores correspondem às medições realizadas nas cotas mais baixa e

mais altas de cada parcela, sendo a profundidade média obtida pela média aritmética entre ambas.

| Parcela | Coleta na cota mais baixa (m) | Coleta na cota mais alta (m) | Profundidade média (m) |
|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| P1 | 0,43 | 0,61 | 0,52 |
| P2 | >1,0 | >1,0 | 1 |
| P3 | 0,00 (aflorado) | 0,16 | 0,08 |
| P4 | 0,25 | 0,47 | 0,36 |
| P5 | 0,75 | 0,94 | 0,85 |
| P6 | 0,8 | >1,0 | 0,9 |
| P7 | 0,00 (aflorado) | 0,31 | 0,16 |
| P8 | 0,00 (aflorado) | 0,17 | 0,09 |

Estoque de carbono na serrapilheira

As estimativas de carbono na serrapilheira, expressas em quilogramas e megagramas por hectare, variaram entre 2,97 e 4,47 Mg C·ha⁻¹, com média de 3,9 Mg C·ha⁻¹ entre as parcelas. As parcelas P1, P3, P5, P7 e P8 apresentaram os maiores valores de biomassa e, conseqüentemente, de estoque de carbono, com valores próximos de 4 Mg C·ha⁻¹, enquanto as parcelas P2 e P6 apresentaram os menores valores, próximos de 3 Mg C·ha⁻¹. Esses resultados refletem a variação espacial da serrapilheira entre as áreas amostradas, expressando diferenças locais na produção e acúmulo de material orgânico.

Tabela 3. Biomassa e estoque de carbono na serrapilheira das parcelas de restinga arbórea amostradas.

| Parcela | Média de três amostragens (g) | Biomassa (Mg·ha⁻¹) | Carbono (kg C·ha⁻¹) | Carbono (Mg C·ha⁻¹) |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| P1 | 302.20 | 12,09 | 4 472.6 | 4.47 |
| P2 | 200.56 | 8,02 | 2 968.1 | 2.97 |
| P3 | 289.65 | 11,59 | 4 286.8 | 4.29 |
| P4 | 242.70 | 9,71 | 3 592.0 | 3.59 |
| P5 | 272.91 | 10,92 | 4 038.9 | 4.04 |
| P6 | 233.59 | 9,34 | 3 457.3 | 3.46 |
| P7 | 290.27 | 11,61 | 4 296.1 | 4.30 |
| P8 | 287.53 | 11,50 | 4 255.4 | 4.26 |

Efeito da profundidade do lençol freático sobre o estoque de carbono na serrapilheira

O modelo ajustado apresentou coeficiente negativo para a variável altura média do lençol freático ($\beta_1 = -0,243$), indicando uma relação negativa entre essa variável e a biomassa de serrapilheira. O p-valor obtido (0,06) representa significância marginal ($p < 0,10$, Tabela 4), sugerindo uma tendência estatística, embora não significativa ao nível de 5%. Dessa forma, observa-se que valores mais elevados de profundidade do lençol estão associados à tendência de redução da biomassa acumulada na superfície do solo (Figura 5).

Tabela 4. Resultados do modelo estatístico ajustado GLM para serrapilheira.

| Parâmetro | Estimativa (β) | Erro padrão | Valor t | p-valor | R ² |
|---------------------------|------------------------|-------------|---------|---------|----------------|
| Intercepto | 9.380 | 0.06619 | 135.84 | <0,001 | 0.43 |
| Profund. média lençol (m) | -0.243 | 0.10879 | -2.14 | 0,06 | |

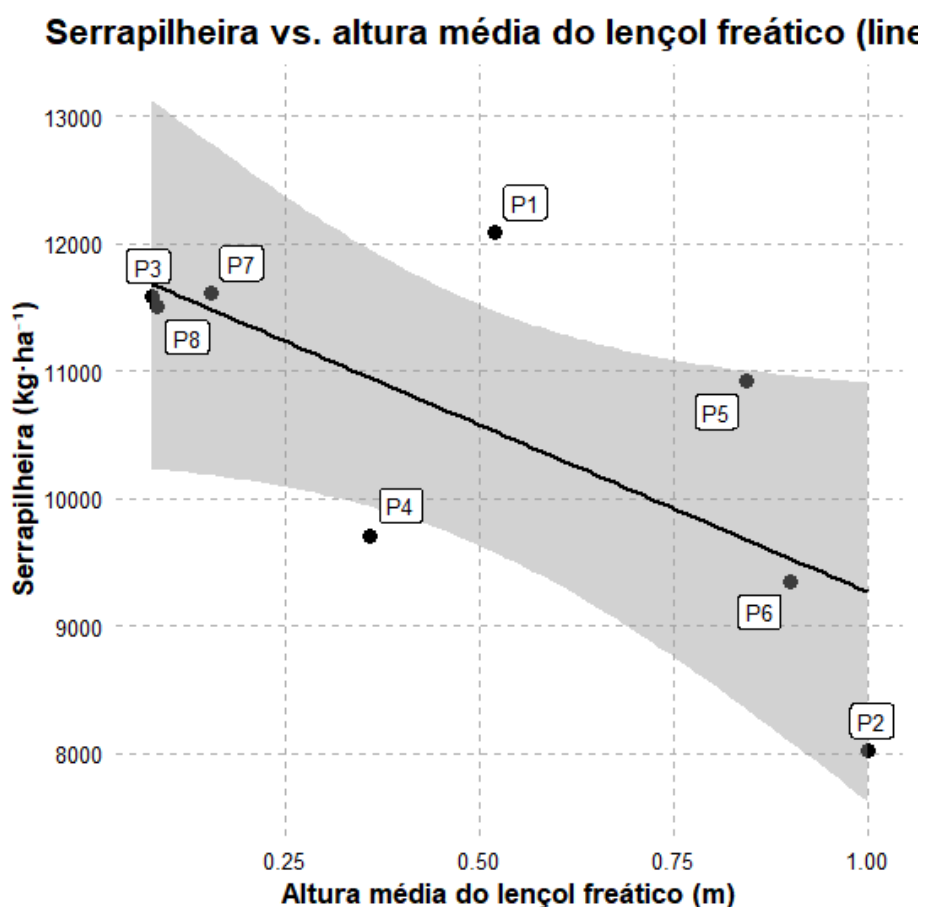


Figura 5. Gráfico: Serrapilheira (kg/ha) x Altura média do lençol freático (m). O gráfico (GLM Gamma – link log) apresentou a curva de ajuste suavizada, com intervalo de confiança em torno da tendência negativa. Os pontos correspondentes às parcelas (P1–P8) foram identificados, demonstrando que as parcelas com lençol freático mais raso (P3, P7 e P8) concentram maiores valores de serrapilheira ($\approx 11\text{--}12 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), enquanto as parcelas mais drenadas (P2, P6) apresentam os menores valores ($\approx 8\text{--}9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). A parcela P1 apresentou valor elevado de serrapilheira ($12,09 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), situando-se em condição intermediária de profundidade do lençol freático ($\approx 0,5 \text{ m}$). Esse valor posiciona a P1 acima da tendência média prevista pelo modelo, sugerindo variação local não diretamente associada ao gradiente hídrico.

Estoque de carbono na necromassa

Os resultados indicam que a necromassa variou entre $3,60$ e $13,29 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com média de $8,27 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, e valores de carbono entre $1,69$ e $6,24 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$, com média de $3,89 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$. A maior quantidade de necromassa foi observada na parcela P3 ($13,29 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), que também apresentou o maior estoque de carbono ($6,24 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$). Em contraste, a parcela P5 registrou o menor valor ($3,60 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $1,69 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$). As demais parcelas apresentaram valores intermediários, situando-se entre aproximadamente 4 e $9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de necromassa.

A moda das classes de decomposição variou de 2 a 4, indicando a presença de material lenhoso em diferentes estágios de decomposição. As parcelas P3 e P8 concentraram-se em classe 2, representando madeira em decomposição inicial, enquanto a parcela P2 apresentou classe 4, indicando material mais avançado no processo de decomposição. A maioria das parcelas (P1, P4, P5, P6 e P7) apresentou classe 3, correspondendo a um estágio intermediário de decomposição. A moda geral apresentou classe 3.

O número de peças de necromassa lenhosa variou de 5 a 12 por parcela. A parcela P4 apresentou o maior número de peças (12), enquanto a parcela P2 registrou o menor valor (5). As demais parcelas apresentaram quantidades intermediárias, entre 6 e 11 peças.

As parcelas localizadas em áreas alagadas (P3, P7 e P8) apresentaram, em média, maiores comprimentos das peças (média de $3,16 \text{ m}$) e DAPs ligeiramente superiores (média de $6,73 \text{ cm}$) em comparação às parcelas mais secas ($2,26 \text{ m}$ e $6,17 \text{ cm}$, respectivamente). De forma geral, os dados evidenciam uma heterogeneidade no

acúmulo e no estado de decomposição da necromassa entre as parcelas, refletindo diferenças locais na produção, deposição e decomposição de madeira morta.

Tabela 5. Valores da necromassa por parcela, com médias de DAP e comprimento, classe modal de decomposição, soma das contribuições por parcela, necromassa total ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e carbono correspondente ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$).

| Parcela | Número de peças | DAP médio (cm) | Moda da classe de decomposição | Soma contribuição total (kg) | Necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) | C na necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) |
|---------|-----------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|---|--|
| P1 | 6 | 7,0 | 3 | 124.149 | 5.470 | 2.571 |
| P2 | 5 | 6,81 | 4 | 100.959 | 4.448 | 2.091 |
| P3 | 11 | 7,48 | 2 | 301.506 | 13.285 | 6.244 |
| P4 | 12 | 6,01 | 3 | 195.627 | 8.619 | 4.051 |
| P5 | 7 | 4,91 | 3 | 81.781 | 3.603 | 1.693 |
| P6 | 10 | 6,11 | 3 | 156.447 | 6.893 | 3.240 |
| P7 | 8 | 6,06 | 3 | 139.138 | 6.131 | 2.882 |
| P8 | 9 | 6,66 | 2 | 204.885 | 9.027 | 4.243 |

Efeito da profundidade do lençol freático sobre o estoque de carbono na necromassa.

O modelo ajustado apresentou coeficiente negativo para a profundidade média do lençol freático ($\beta_1 = -0,8163$), indicando uma relação negativa e estatisticamente significativa entre a variável preditora e a necromassa lenhosa acumulada, com valor obtido de $p = 0,0348$ ($p < 0,05$). Isso demonstra que o aumento da profundidade do lençol freático está associado à redução da quantidade de madeira morta na superfície (Figura 5).

Em escala logarítmica, o coeficiente representa um efeito multiplicativo de 0,44, o que significa que, a cada aumento de 1 metro na profundidade do lençol freático, a necromassa tende a diminuir aproximadamente 56% em relação ao valor anterior. O pseudo- R^2 de McFadden (0,54) reflete um bom ajuste do modelo mesmo considerando o número pequeno de parcelas ($n = 8$).

Tabela 6. Resultados do modelo estatístico ajustado GLM de Necromassa

| Parâmetro | Estimativa (β) | Erro padrão | Valor t | p-valor | R ² |
|---------------------------|------------------------|-------------|---------|---------|----------------|
| Intercepto | 2.3316 | 0.1828 | 12.756 | < 0.001 | |
| Profund. média lençol (m) | -0.8163 | 0.3004 | -2.717 | 0.0348 | 0.54 |

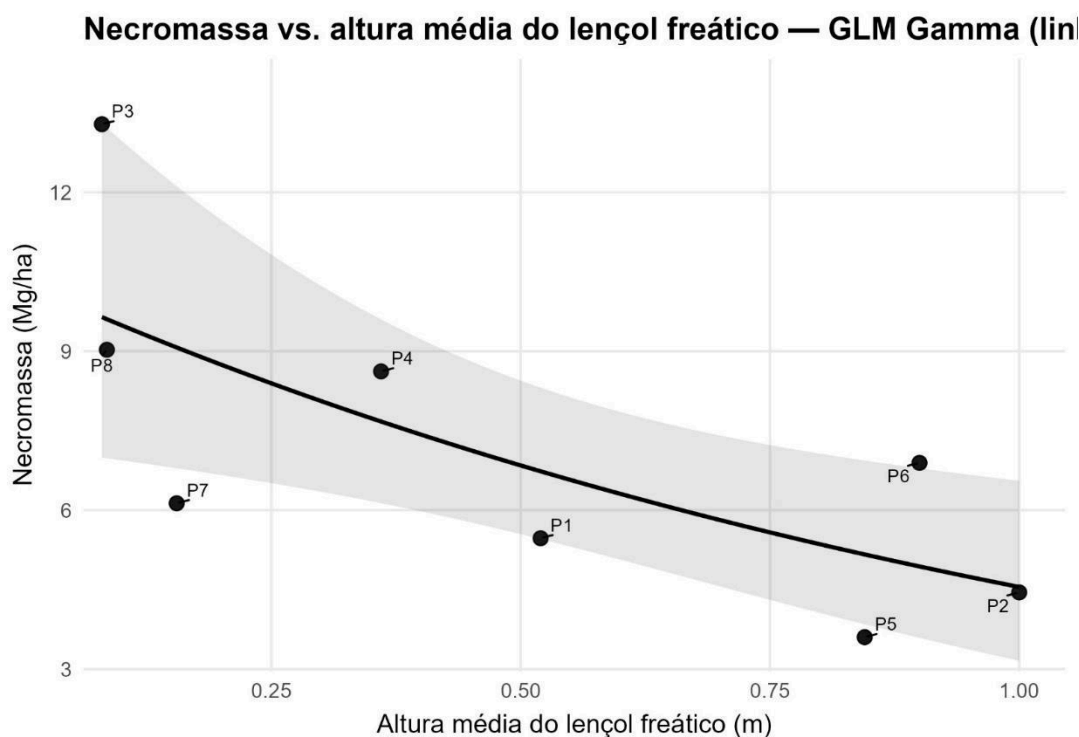


Figura 6. Gráfico: Necromassa lenhosa (Mg\ha) x altura média do lençol freático. O gráfico apresenta a relação entre a necromassa lenhosa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e a profundidade média do lençol freático (m) ajustada por meio de um modelo GLM com distribuição Gamma e link logarítmico. A linha preta representa o ajuste do modelo, enquanto a faixa sombreada indica o intervalo de confiança da estimativa. As parcelas situadas à esquerda do eixo, de menor profundidade média do lençol freático, (P3 e P8) apresentaram maiores valores de necromassa, enquanto aquelas com lençol mais profundo (P2 e P5) exibiram valores menores.

Discussão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram a influência da inundação sobre o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono nos compartimentos superficiais do solo da floresta de restinga da Fazenda Experimental da Ressacada. Em relação à

necromassa, esta influência foi estatisticamente significativa e para serrapilheira a relação foi marginalmente significativa ($p < 0.10$). A necromassa lenhosa apresentou maior acúmulo nas parcelas com lençol freático raso, indicando que a saturação hídrica exerce papel determinante na dinâmica da deposição e no armazenamento de carbono deste compartimento.

Na serrapilheira, os valores médios de biomassa variaram entre 8,02 e 12,09 Mg ha⁻¹, correspondendo a um estoque médio de 3,9 Mg C ha⁻¹. Esses valores são semelhantes aos registrados em formações florestais da Restinga da Marambaia (RJ), onde Pereira et al. (2012) estimaram uma produção anual de serrapilheira de 7,64 Mg ha⁻¹, enquanto Paula et al. (2009) relataram valores entre 10,8 e 11,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas com três diferentes níveis de saturação hídrica. De forma convergente, em uma restinga na Ilha do Mel (PR), Pires et al. (2006) observaram aporte anual de serrapilheira de aproximadamente 5,1 Mg ha⁻¹, valores próximos aos observados neste estudo. Apesar de alguns dos estudos anteriores abordarem produção anual e o presente trabalho tratar de estoques acumulados, os valores situam-se na mesma ordem de grandeza, o que reforça o efeito da inundação sobre a dinâmica de acúmulo e decomposição. Segundo Silva e Britez (2005) a variação do aporte de serrapilheira em ambientes de restinga deve resultar da grande heterogeneidade ambiental, as quais apresentam distintas composições florísticas, estruturais e funcionais, além de fatores como o nível do lençol freático e da distância do oceano.

As parcelas com lençol freático aflorado ou muito raso ($\leq 0,2$ m) apresentaram tendência a acumular maiores quantidades de serrapilheira, comportamento compatível com o observado por Paula et al. (2009), que registraram maiores aportes de serrapilheira nas áreas com maior saturação hídrica, e por Pereira et al. (2008), que destacaram a menor taxa de decomposição sob condições de anóxia.

Em relação a necromassa lenhosa, os resultados variaram entre 3,60 e 13,29 Mg·ha⁻¹, com carbono associado entre 1,69 e 6,24 Mg C·ha⁻¹. Essa amplitude reflete a heterogeneidade dos ambientes da restinga. Em termos de magnitude, os valores se situam dentro da faixa relatada para estes ecossistemas. Guimarães (2015) identificou 2,83 Mg·ha⁻¹ de necromassa estudando restingas fluminenses, enquanto Veiga (2008) registrou valores entre 1,14–7,57 Mg·ha⁻¹ na Mata Atlântica paulista, ambos comparáveis aos resultados deste estudo.

Com relação às classes de decomposição, observou-se um comportamento distinto entre as parcelas inundadas e as não inundadas. Nas parcelas P3 e P8

predominou a classe 2, enquanto na P7 prevaleceu a classe 3. Nas demais parcelas, a necromassa concentrou-se principalmente na classe 3, sendo que a P4 apresentou ocorrência da classe 4. Esses resultados sugerem que, nas parcelas sujeitas à inundação e à presença de condições anóxicas, a atividade microbiana decompositora é reduzida, o que implica maior tempo de permanência da necromassa lenhosa nesses ambientes. Conseqüentemente, essas áreas atuam como sumidouros temporários de carbono mais eficientes, devido à decomposição mais lenta. Tais resultados estão em consonância com os de Barbosa et al. (2017), que verificaram taxas de decomposição da necromassa cerca de 19% mais lentas em florestas sazonalmente alagadas do que em áreas não alagadas. Segundo os autores, essa diferença decorre da predominância de espécies com madeira de alta densidade e das limitações impostas à ação microbiana pela anóxia em solos saturados, onde a escassez de oxigênio restringe o metabolismo de fungos e bactérias lignolíticas e celulolíticas responsáveis pela decomposição.

Quanto à mortalidade (número de peças de madeira morta por parcela), observou-se variação entre 5 e 12. Embora a parcela P4 tenha apresentado o maior número de peças, a parcela P3 foi a que registrou as maiores quantidades de necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e carbono ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguida pela parcela P8, ambas sob condição de inundação. Isso indica que nas parcelas P3 e P8 predominam peças de maiores dimensões, com maiores diâmetros e comprimentos, fato também constatado durante as coletas de campo. Nas áreas alagadas, verificou-se maior presença de árvores caídas e mortas com porte superior em comparação às áreas adjacentes mais secas.

Nesses ambientes, o sistema radicular encontra a barreira imposta pelo lençol freático superficial, cuja profundidade varia conforme a precipitação, afetando o crescimento e a distribuição das raízes no solo. De acordo com Pinto et al. (2025), as raízes tendem a se desenvolver de forma mais superficial nas florestas de restingas, o que reduz a estabilidade das árvores em solos arenosos e pouco profundos que, por natureza, apresentam condições físicas desfavoráveis à sustentação radicular.

Os resultados obtidos neste estudo, somados aos de Doria (2024), proporcionam uma visão mais abrangente da distribuição do carbono nos diferentes compartimentos da restinga arbórea da Fazenda Experimental da Ressacada. Enquanto a autora estimou estoques médios de $177,75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomassa viva acima do solo, equivalentes a cerca de $88,9 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ (considerando o fator 0,47; IPCC, 2019), o presente estudo quantificou estoques médios de $3,9 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ na serrapilheira e $6,2 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ na necromassa lenhosa, totalizando $10,1 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dessa forma, a fração de carbono

acumulada na biomassa morta superficial representa cerca de 11,4% adicionais em relação ao estoque estimado para o ecossistema levando em consideração somente a biomassa viva, embora essa proporção varie conforme o nível de saturação hídrica do ambiente. Por exemplo, na parcela P3 deste estudo (correspondente à parcela P2 no estudo de Doria (2024)) foi estimado um estoque total de 54,0 Mg C·ha⁻¹ de carbono na biomassa viva, enquanto os estoques de serrapilheira (4,29 Mg C·ha⁻¹) e necromassa (13,29 Mg C·ha⁻¹) totalizaram 17,58 Mg C·ha⁻¹, correspondendo a 24,6% adicionais. Esses valores reforçam o papel dos ambientes alagados no estoque de carbono.

Os resultados corroboram a hipótese de que áreas com lençol freático superficial atuam como sumidouros temporários de carbono, acumulando necromassa e serrapilheira em virtude da baixa decomposição sob condições anóxicas. Entretanto, variações climáticas que alterem o regime hídrico podem inverter essa função: períodos secos prolongados tendem a acelerar a decomposição e converter essas áreas em fontes de CO₂, enquanto o aumento do alagamento em florestas originalmente mais drenadas pode elevar a mortalidade arbórea e, conseqüentemente, o aporte de necromassa.

Estudos futuros podem ampliar a compreensão das relações entre o lençol freático e o acúmulo de carbono ao incorporar monitoramento contínuo das condições hídricas por meio da instalação de piezômetros, associando-o a ensaios de decomposição e armadilhas de serrapilheira (litterfall traps). A integração dessas abordagens permitiria avaliar a produção, decomposição e estoque de carbono, fornecendo uma visão mais dinâmica e representativa dos processos que regulam o ciclo da matéria orgânica nas florestas de restinga. Além disso, a ampliação das áreas e amostragens periódicas podem contribuir para captar variações sazonais e espaciais, fortalecendo a robustez dos resultados.

Conclusão

O presente estudo destaca que a inundação é um fator determinante para o estoque de carbono nos compartimentos superficiais de biomassa morta da floresta de restinga arbórea da Fazenda Experimental da Ressacada. A necromassa lenhosa apresenta maior acúmulo nas áreas inundadas, enquanto a serrapilheira tende a seguir o mesmo padrão. Esses resultados indicam que a saturação hídrica reduz as taxas de decomposição da matéria orgânica e favorece o acúmulo de biomassa morta, consolidando o papel das áreas com lençol freático raso como sumidouros temporários de carbono. Contudo, alterações no regime hídrico associadas às mudanças climáticas

podem modificar essa dinâmica, transformando sumidouros em potenciais fontes de CO₂. A pesquisa amplia a compreensão sobre a dinâmica da biomassa morta em florestas de restinga e reforça sua importância na regulação do ciclo do carbono em ecossistemas costeiros.

A quantificação desses compartimentos é essencial para compreender o ciclo do carbono em ecossistemas de restinga, pois, a biomassa morta constitui um importante reservatório de matéria orgânica em transição entre a biomassa viva e o solo. A mensuração da serrapilheira e da necromassa lenhosa fornece subsídios para estimativas mais precisas dos estoques de carbono e contribui para reduzir as incertezas nos balanços regionais e globais, especialmente em ecossistemas tropicais ainda pouco representados na literatura.

Referências

ALMEIDA, D. Q. A. de. **Ciclagem de carbono e nitrogênio no solo sob restinga do Estado de São Paulo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de concentração: Ecologia Aplicada) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ANDRADE, S. F. de; LAMBERTS, R. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 1996.

ARAÚJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. **A natureza das restingas**. *Ciência Hoje*, v. 6, n. 33, p. 42–48, 1987.

BAPTISTA, G. A. P. **Inventário florístico e estrutura fitossociológica de fragmentos da restinga arbórea em Florianópolis/SC – Fazenda Experimental da Ressacada/UFSC**. 2022. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2022.

BARBOSA, R. I. *et al.* **Protocolo de necromassa: métodos padronizados para amostragem e análise**. Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2016.

BARBOSA, R. I. *et al.* **Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro–Rio Branco Basin in Roraima, Brazil.** *Forest Ecology and Management*, v. 397, p. 1–9, 2017.

BORGES, T. M. **Avaliação do estoque de carbono na vegetação de restinga arbórea na Fazenda Experimental da Ressacada – Florianópolis/SC.** 2022. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2022.

CHANG, M. Y. **Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas.** 2001. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999.**

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 417, de 23 de novembro de 2009.**

CORDAZZO, C. V.; BARBOSA, F. S.; FRANÇA, F. E. R. **Erosão costeira e a vegetação de restinga.** *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 54, n. 3, p. 191–201, 2006.

DE LIMA, R. A. F. *et al.* **The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot.** *Nature Communications*, v. 11, art. 6347, 2020.

Descrição física e ambiental. Fazenda Experimental da Ressacada – CCA/UFSC. Disponível em: <https://fazenda.ufsc.br/descricao-fisica/>. Acesso em: 10 set. 2025.

DORIA, I. M. **Estimativa do estoque de carbono em fragmentos de floresta de restinga em Florianópolis.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2024.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira: províncias florísticas.** Fortaleza: Realce, 2006.

FERNANDES, M. M. *et al.* **Aporte e decomposição de serrapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 163–175, jul./dez. 2006.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2022–2023.** 2023. Disponível em: <https://mapas.sosma.org.br>. Acesso em: 2 out. 2025.

HOFHANSL, F. *et al.* **Climatic and edaphic controls over tropical forest diversity and vegetation carbon storage.** *Scientific Reports*, v. 10, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-61868-5.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Geneva: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/>. Acesso em: 14 out. 2025.

JOLY, C. A. *et al.* **The Brazilian Atlantic Forest: The role of ecological restoration in a global biodiversity hotspot.** *Natureza & Conservação*, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2014.

KELL, D. B. **Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Londres, v. 367, n. 1595, p. 1589–1597, 2012.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G. P.; PEREIRA, R.; SILVA, J. N. M. **Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon.** *Global Change Biology*, v. 10, p. 784–795, 2004.

KOTTEK, M. *et al.* **World Map of the Köppen–Geiger climate classification update.** *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

MARTINS, T. O. **Relação vegetação–variáveis edáficas, fitossociologia e diversidade em formação florestal do Cerrado.** 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

- MELO, F. P. L. *et al.* **Priority setting for scaling-up tropical forest restoration projects: early lessons from the Atlantic Forest Restoration Pact.** *Environmental Science & Policy*, v. 33, p. 395–404, 2013. DOI: 10.1016/j.envsci.2013.07.013.
- MYERS, N. *et al.* **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** *Nature*, v. 403, p. 853–858, 2000.
- PAN, Y. *et al.* **A large and persistent carbon sink in the world's forests.** *Science*, v. 333, p. 988–993, 2011.
- PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. **Aporte de nutrientes e decomposição da serrapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 139–148, abr./jun. 2009.
- PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SCHULTZ, N. **Aporte e decomposição da serrapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 443–454, out./dez. 2008.
- PEREIRA, M. G. *et al.* **Aporte e decomposição de serrapilheira em floresta periodicamente inundável na Restinga da Marambaia, RJ.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 59–67, jan./mar. 2012.
- PINTO, M. M.; AGUIAR, I. B.; GIUDICE-NETO, J.; VALERI, S. V. **Correlações entre características do solo e da vegetação na Ilha do Cardoso, Cananéia, Brasil.** *Hoehnea*, v. 52, e462024, 2025.
- PIRES, L. A.; BRITTEZ, R. M.; MARTEL, G. E.; PAGANO, S. N. **Produção, acúmulo e decomposição da serrapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil.** *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 173–184, jan./jun. 2006.
- SEVEGNANI, L.; ARAÚJO, A. F.; LACERDA, L. D. **A vegetação de restinga: biodiversidade e conservação.** *Revista Brasileira de Botânica*, v. 36, n. 2, p. 215–226, 2013.
- SILVA, S. M.; BRITTEZ, R. M. **A vegetação da planície costeira.** In: MARQUES, M. C. U.; BRITTEZ, R. M. (orgs.). **História natural e conservação da Ilha do Mel.** Curitiba: Ed. da Universidade Federal do Paraná, 2005. p. 49–84.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical.** *Boletim Técnico Projeto RADAMBRASIL*, Sér. Vegetação, n. 1, p. 3–79, 1982.

VEIGA, L. G. **Variação do estoque de madeira morta em diferentes altitudes de Floresta Ombrófila Densa Atlântica.** 2008. 26 f. Monografia (Graduação em Biociências) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Botucatu, 2008.

VILLELA, D. M.; DE MATTOS, E. A.; PINTO, A. S.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, L. A. **Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning.** *Brazilian Journal of Biology*, v. 72, n. 1, p. 1–10, 2012.

VITAL, A. R. T. *et al.* **Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793–800, nov./dez. 2004.