
ECOLOGIA

AMANDA VAES STRAZER

**ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO NA
MATA ATLÂNTICA**

Rio Claro - SP
2025

AMANDA VAES STRAZER

ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO NA MATA ATLÂNTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga

Orientador: Amauri Antonio Menegario

Coorientador: Gabriel Ribeiro Castellano

Rio Claro - SP
2025

S913e Strazer, Amanda Vaes
 Estoques de carbono no solo na Mata Atlântica / Amanda
Vaes Strazer. -- Rio Claro, 2025
 34 p. : il., tabs., mapas

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de
Biociências, Rio Claro
 Orientador: Amauri Antonio Menegario
 Coorientador: Gabriel Ribeiro Castellano

 1. Ecologia. 2. Solos florestais. I. Título.

AMANDA VAES STRAZER

ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO NA MATA ATLÂNTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências, Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

Prof. Dr. Melina Borges Teixeira Zanatta

Prof. Gabriel Ribeiro Castellano

Aprovado em: 07 de novembro de 2025

Documento assinado digitalmente
 AMANDA VAES STRAZER
Data: 02/10/2025 16:40:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do discente

Documento assinado digitalmente
 AMAURI ANTONIO MENEGARIO
Data: 02/10/2025 12:29:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do orientador

Documento assinado digitalmente
 GABRIEL RIBEIRO CASTELLANO
Data: 30/09/2025 17:18:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do coorientador

*Este trabalho é dedicado ao meu padrinho Marcelo Strazer
(in memoriam)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Dalila por seu eterno cuidado, pelo incentivo e por me estimular a ser uma mulher independente. Agradeço ao meu pai Maurício por sempre me encorajar a estudar, pelo aconselhamento e pela confiança inabalável em mim. Agradeço ao meu irmão Matheus pela companhia e por conseguir lidar com leveza às adversidades, minha profunda admiração.

Agradeço à Moradia Estudantil da Unesp Rio Claro pela acolhida, em especial a casa 7000 que me recebeu quando fui ingressante e a casa 666 com quem pude conviver recentemente durante meu reingresso. Este lugar foi minha casa durante a graduação e me tornou mais consciente da importância do respeito ao próximo, do convívio em sociedade e das possibilidades que a vivência em coletividade pode proporcionar ao ampliar a visão de mundo de um ser humano em formação, ao contemplar a coexistência de diferentes estilos de vida, de pessoas advindas de tantos lugares diferentes e com diversas culturas. Com certeza modificou meu modo de observar o mundo e também ampliou meus horizontes para querer construir uma sociedade ecologicamente mais equilibrada.

Agradeço aos professores e colegas da Ecologia. A todos aqueles com quem já pude compartilhar uma experiência de saída de campo, trabalhos e atividades em grupo, tantas pessoas que pude conhecer e que de alguma forma me inspiraram a perseverar, e principalmente aos queridos que dividiram a experiência de participar do Centro Acadêmico comigo, serei sempre grata. Dedico à Ecologia!

“Solo sadio mantém as plantas sadias e plantas sadias fornecem uma alimentação sadia que mantém os homens física e mentalmente sadios. E pessoas sadias com um espírito sadio não destroem sua base vital e o ambiente em que vivem, mas o conservam. Não somente cuidam de seus solos e do meio-ambiente, mas também de seus próximos criando bem estar e paz.” (Ana Primavesi, 2009, p.67).

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo caracterizar os estoques de carbono no solo do bioma Mata Atlântica, identificando quais fitofisionomias, usos e tipos de solo possuem o maior potencial de sequestro de carbono, a partir de levantamento bibliográfico sobre o tema. As florestas tropicais estão entre os ecossistemas terrestres com maior potencial de estoque de carbono no solo, desta forma, seu papel é crucial na regulação de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e na regulação global do ciclo biogeoquímico de carbono. Desflorestamento e degradação florestal podem alterar o estoque de carbono do solo, diminuindo a sua concentração no solo. A Mata Atlântica é um bioma brasileiro extremamente alterado e que historicamente mais sofreu desflorestamento. As ações de conservação e restauração da Mata Atlântica são muito importantes para recuperação de serviços ecossistêmicos, conservação da biodiversidade e ciclagem de nutrientes no solo. O presente trabalho busca demonstrar quais áreas possuem maior potencial de sequestro de carbono, para que futuramente estas informações sejam utilizadas para delimitar áreas prioritárias de conservação e restauração da Mata Atlântica.

Palavras-chave: Mata Atlântica; estoque de carbono; solo; floresta.

ABSTRACT

This final course assignment aims to characterize carbon stocks in the soil of the Atlantic Forest biome, identifying which phytophysiognomies, uses and types of soil have the greatest potential for carbon sequestration, based on a bibliographical survey on the topic. Tropical forests are among the terrestrial ecosystems with the greatest potential for storing carbon in the soil, therefore, their role is crucial in regulating greenhouse gasses such as carbon dioxide and in the global regulation of the biogeochemical carbon cycle. Deforestation and forest degradation can alter soil carbon stock, reducing its concentration in the soil. The Atlantic Forest is an extremely altered Brazilian biome that has historically suffered the most deforestation. Conservation and restoration actions in the Atlantic Forest are very important for the recovery of ecosystem services, conservation of biodiversity and nutrient cycling in the soil. This work seeks to demonstrate which areas have the greatest potential for carbon sequestration, so that in the future this information can be used to delimit priority areas for conservation and restoration of the Atlantic Forest.

Keywords: Atlantic Forest; carbon stock; soil; forest.

Title in English: Soil carbon storage in the Atlantic forest.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo geral.....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO TEÓRICA.....	14
3 METODOLOGIA.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Fitofisionomias da Mata Atlântica.....	23
4.2 Usos antropizados do solo da Mata Atlântica.....	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é uma floresta tropical úmida de alta biodiversidade que possui grande endemismo (Myers, 2000) e historicamente o bioma mais desflorestado dentro do território brasileiro (Young, 2006). Atualmente a cobertura vegetal representa menos de 20% de sua área de extensão original (Ribeiro et al., 2009). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC/ONU), em seu relatório recente, aponta que os remanescentes da Mata Atlântica serão impactados pelo desmatamento e fragmentação, com risco de extinção de espécies endêmicas. Além disso, o desflorestamento e degradação do solo também podem afetar os estoques de carbono (IPCC, 2022).

Entre os principais gases do efeito estufa, o dióxido de carbono apresenta incremento na concentração atmosférica desde a revolução industrial, e entre as medidas para mitigar o impacto das emissões de carbono para a atmosfera está o incremento dos estoques de carbono no solo, o que pode acontecer por meio de boas práticas de conservação do solo na agricultura e pela manutenção ou recuperação dos ecossistemas naturais.

Os estoques de carbono no solo são relevantes dentro do ciclo biogeoquímico do carbono e o balanço de carbono global. O estoque de carbono no solo de biomas florestais é de extrema relevância para a diminuir as concentrações de carbono atmosférico (Winjum et al., 1992). Neste cenário a Mata Atlântica enquanto floresta tropical e a caracterização dos estoques de carbono em suas diferentes fitofisionomias específicas são fundamentais para compreender os impactos da mudança do uso do solo e valorar alternativas de reflorestamento e serviços ecossistêmicos capazes de mitigar o aquecimento global (Zanini, 2021).

Dentre as mudanças, a conversão de florestas para a agricultura convencional impacta negativamente os estoques de carbono no solo, enquanto o inverso também ocorre, ou seja, a recuperação florestal contribui com o acúmulo de carbono no solo (Guo & Gifford, 2002). Neste sentido, o reflorestamento em áreas da Mata Atlântica possui grande potencial na assimilação do dióxido de carbono da atmosfera não apenas na vegetação, mas também no estoque de carbono do solo, considerando que o estoque de carbono no solo e nas raízes é maior do que na parte aérea (Zanini, 2021).

Florestas tropicais são consideradas globalmente como os ecossistemas mais biodiversos e produtivos do planeta terra, no entanto, seu papel na regulação do dióxido de carbono e sua dinâmica global ainda não são totalmente elucidadas, apesar de conter 59% da vegetação florestal e 27% da concentração global de carbono no solo (Dixon, 1994). Para o entendimento amplo e aprofundado sobre o ciclo biogeoquímico do carbono na Mata Atlântica, é preciso avaliar e caracterizar a capacidade de armazenamento de carbono no solo, um importante indicador da qualidade ambiental de florestas nativas e restauradas, além de fornecer informações relevantes para planos de restauração neste bioma, levando em conta suas características e especificidades.

De acordo com o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, a conservação e recuperação da Mata Atlântica é um desafio, e o bioma continua sob forte pressão antrópica. Já são conhecidas algumas prioridades de conservação para a Mata Atlântica, mas ainda é necessário traduzir estas prioridades em planos e projetos acessíveis em que o esforço conjunto de diferentes setores sejam direcionados para a efetiva conservação. Desta maneira, é necessário e imprescindível conservar áreas de floresta remanescentes e restaurar fragmentos inadequadamente desflorestados, seja por questões legais ou por características do ambiente (Rodrigues, 2019).

A recuperação da Mata Atlântica, portanto, é relevante, não apenas em relação à sua biodiversidade e outros atributos relacionados, mas também porque desempenha um papel importante na regulação do dióxido de carbono atmosférico. Quanto ao estoque de carbono, a maior parte dos estudos feitos considera principalmente o carbono acima do solo, apesar de serem encontrados maiores estoques subterrâneos. Portanto, é necessário organizar e interpretar as informações sobre estoque de carbono no solo na Mata Atlântica, visando futuramente identificar áreas prioritárias e ações mitigadoras, para o sequestro de carbono neste bioma.

Durante o processo de restauração de solos degradados, as propriedades químicas, físicas e biológicas são gradualmente recuperadas, poucas propriedades físicas do solo se mantêm preservadas. Espécies arbóreas introduzidas para reflorestamento causam mudanças gradativas nas propriedades do solo, resultantes do processo de desenvolvimento arbóreo (Nogueira Jr, 2011).

O estabelecimento da vegetação em terras degradadas, independente da diversidade de espécies de árvores do modelo de restauração utilizado, não altera a textura do solo, provoca, porém, a diminuição da densidade e aumento da porosidade. Áreas reflorestadas após dez anos, apresentaram aumentos na matéria orgânica do solo, na relação C/N, e aumento da biomassa microbiana, que indicam o aprimoramento do processo de ciclagem de nutrientes. Além disso, a restauração com diversidade de espécies nativas pode facilitar a recuperação de propriedades físico-químicas e biológicas. Durante a fase inicial (10 anos) de restauração, modelos com baixa diversidade de espécies promoveram mudanças mais rápidas no solo como resultado do crescimento mais rápido de árvores pioneiras (Nogueira Jr, 2011).

De acordo com o protocolo estabelecido no Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, 15 milhões de hectares de sua cobertura original devem ser restaurados até 2050. Esse processo provoca mudanças no uso da terra, que devem alterar os balanços regional e global de dióxido de carbono. Entre as prioridades do protocolo está a avaliação dos serviços ambientais ou ecossistêmicos prestados à sociedade por seus remanescentes recuperados, reforçando sua importância para a qualidade de vida e meios de produção, aproveitando as oportunidades dos mercados de carbono e de água (Rodrigues, 2009).

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar um levantamento bibliográfico dos artigos científicos que apresentam os estoques de carbono do solo no domínio morfoclimático da Mata Atlântica, identificando fitofisionomias, usos da terra e os tipos de solo que possuem o maior potencial de sequestro de carbono.

1.1 Objetivo geral

Caracterizar a capacidade de acúmulo de carbono no solo pelo bioma da Mata Atlântica através de literatura já publicada.

1.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar os estoques de carbono no solo da Mata Atlântica em diferentes fitofisionomias e usos antropizados.
- b) Caracterizar o potencial de sequestro de carbono no solo da Mata Atlântica pelos diferentes tipos de solo que ocorrem no bioma.

- a) Associar o potencial de sequestro de carbono no solo às diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica.

2 REVISÃO TEÓRICA

As florestas desempenham um papel importante no ciclo de carbono da Terra por apresentarem grande capacidade de sequestro de carbono, em comparação à maioria dos outros ecossistemas terrestres, detendo aproximadamente 40% (cerca de 570 Gt) de todo o carbono terrestre abaixo do solo (Winjum, 1992). É importante avaliar os estoques sob vegetação nativa no Brasil, e os solos brasileiros correspondem a aproximadamente 5% do estoque mundial de C, estimado em 684 Pg C nos 30 cm superiores (Bernoux, 2002).

A ciclagem de carbono atmosférico depende de fatores como mudanças climáticas (temperatura e umidade), emissão de CO₂ atmosférico, aumento da movimentação global de nutrientes, além de fatores antrópicos, como demografia, crescimento econômico, tecnologia, e políticas de gestão de recursos (Dixon, 1994). O potencial de sequestro de carbono pelas florestas nativas pode ser diretamente utilizado nos processos de mitigação do aquecimento global, e por isso áreas florestais poderiam ser geridas em todo o mundo para ajudar a reduzir a acumulação de CO₂ atmosférico (Winjum, 1992). A fixação do carbono pelas florestas nativas é um dos serviços ambientais proporcionados por florestas restauradas, que pode ser avaliado e valorado de modo a obter-se uma equação financeira para o suporte de programas de reflorestamento em toda a Mata Atlântica (Rodrigues, 2009).

Em 2022, o IPCC em seu último relatório sobre mudanças climáticas divulgou que os serviços ecossistêmicos apresentam variações impulsionadas principalmente pela perda de habitat, alterações climáticas, espécies invasoras, exploração excessiva de recursos naturais e poluição em um cenário em que a influência relativa desses fatores varia entre biomas, regiões e países (IPCC, 2022). A restauração florestal pode contribuir para a redução dos gases causadores do efeito estufa, possibilitando outros benefícios como a conservação dos solos e da biodiversidade (Rodrigues, 2009). As áreas menos resilientes das florestas tropicais da América do Sul estão dentro da Mata Atlântica, o que evidencia necessidade de uma política de conservação mais eficaz, incluindo a gestão adaptativa de florestas naturais degradadas e a restauração de áreas desmatadas (Zanini, 2021).

A Mata Atlântica apresenta uma cobertura florestal altamente dinâmica e um histórico de perturbação centenário, onde até mesmo os remanescentes já foram explorados seletivamente em um passado distante, às vezes em tempos anteriores

à colonização europeia (Ribeiro, 2009). A Mata Atlântica perdeu cerca de 69 Tg C entre 2005 e 2014, devido à fragmentação e efeitos de borda, o equivalente a 9–24% da perda total anual de C associada ao desmatamento tropical global (Zanini, 2021).

À medida que a concentração atmosférica de CO₂ aumenta e ocorrem alterações climáticas, as florestas podem tornar-se uma fonte ou um sumidouro de carbono (Winjum, 1992). O acúmulo de carbono no solo em florestas maduras ocorre ao longo de décadas ou séculos, mas os estoques de carbono em solos relativamente jovens, perturbados ou degradados, particularmente em baixas latitudes, pode variar positivamente entre 0.5 a 2.0 Mg.ha⁻¹ ano⁻¹ (Dixon, 1994).

De modo geral, qualquer mudança no uso do solo que diminua o estoque de C pode ser revertida com a prática inversa, através de reflorestamento para recuperação de áreas com uso do solo antropizado que tenham diminuído a capacidade de estocar C no solo (Guo & Gifford, 2002). A restauração florestal procura retornar uma porção degradada da paisagem a uma condição mais próxima possível da original, tanto no aspecto estrutural quanto funcional do ecossistema (Ferretti, 2002).

Conforme consta no último relatório do IPCC sobre as mudanças climáticas, a região sudeste da América do Sul abriga dois importantes *hotspots* de biodiversidade, com altos níveis de endemismo de espécies: o Cerrado e a Mata Atlântica, onde podem ser encontradas cerca de 72% das espécies ameaçadas do Brasil, e estes biomas estão expostos às alterações climáticas:

Cerca de 85% dos sistemas naturais conhecidos por obter *hotspots* de diversidade nas Américas do Sul e Central serão impactados negativamente pelas mudanças climáticas, com enfoque nos vertebrados e plantas na Mata Atlântica e no Cerrado. (IPCC, 2022).

De acordo com Myers (2000), cada um dos cinco principais *hotspots* do planeta contém plantas e vertebrados endêmicos que representam pelo menos 2% do total de espécies do mundo. Estes *hotspots* juntos representam 45% de todas as plantas e vertebrados endêmicos, porém compreendem apenas 0,4% da superfície da Terra, ao mesmo tempo que são alguns dos habitats mais esgotados, sendo a Mata Atlântica brasileira o quarto maior *hotspot* considerado mundialmente (Myers, 2000).

Os fragmentos florestais desempenham papel de grande importância na conservação da biodiversidade remanescente mesmo em regiões muito fragmentadas (Rodrigues, 2009). Cerca de 85% da Mata Atlântica remanescente apresenta baixa capacidade de resiliência e apenas 5% pode ser considerada uma boa fonte de biodiversidade para a colonização de outras áreas (Zanini, 2021). Conservar, restaurar e conectar fragmentos florestais constitui um desafio atualmente, uma vez que áreas significativas dos remanescentes da Mata Atlântica se encontram em propriedades privadas (Rodrigues, 2009). A regeneração florestal em áreas em torno de reservas naturais deve ser estimulada devido ao seu potencial natural de regeneração, reduzindo a atual distribuição desequilibrada da cobertura florestal em relação à proximidade das reservas naturais (Ribeiro, 2009).

Segundo o sexto Panorama Ambiental Global (2019) do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA): práticas agrícolas climaticamente inteligentes e energeticamente eficientes, como o cultivo mínimo, são oportunidades para aumentar o sumidouro de carbono atmosférico nos solos e contribuem para a mitigação das mudanças climáticas. Esforços para reduzir o desmatamento e a degradação florestal, conservar e melhorar os estoques de carbono florestal e as florestas manejadas de forma sustentável em todo o mundo podem contribuir significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

3 METODOLOGIA

A caracterização dos estoques de carbono na Mata Atlântica foi realizada a partir do levantamento bibliográfico de dados dos estoques de carbono em áreas de vegetação nativa e em áreas antropizadas publicadas em referências técnicas e acadêmicas. As profundidades selecionadas foram aquelas mais comuns em projetos de levantamento dos estoques de carbono no solo (0–20 cm, 0–30 cm, 0–40 cm, 0–60cm, 0–1m).

Foram considerados para o projeto trabalhos acadêmicos, circulares técnicas e artigos científicos que apresentaram pelo menos um valor de estoque de carbono para pelo menos uma profundidade das camadas de solo descritas. Foram tabelados valores médios, máximos e mínimos para as diferentes coberturas do solo.

As áreas antropizadas foram divididas em diferentes categorias conforme ocorrência para análise quantitativa: pastagem, cana-de-açúcar, agricultura, agrofloresta e silvicultura. Tais agrupamentos foram feitos com base na descrição do uso do solo nos artigos encontrados.

O levantamento também incluiu a descrição dos tipos de solo da Mata Atlântica conforme os níveis de classificação do SiBCS.

Os estoques de carbono no solo utilizados para este levantamento bibliográfico foram aqueles descritos em resultados expressos por unidade de área: $MgC.ha^{-1}$. Em alguns estudos onde os estoques de carbono foram expressos na forma de concentração de carbono, a conversão para a notação científica de unidade de área foi calculada a partir do valor da porcentagem de concentração de carbono e densidade da camada do solo em determinada profundidade.

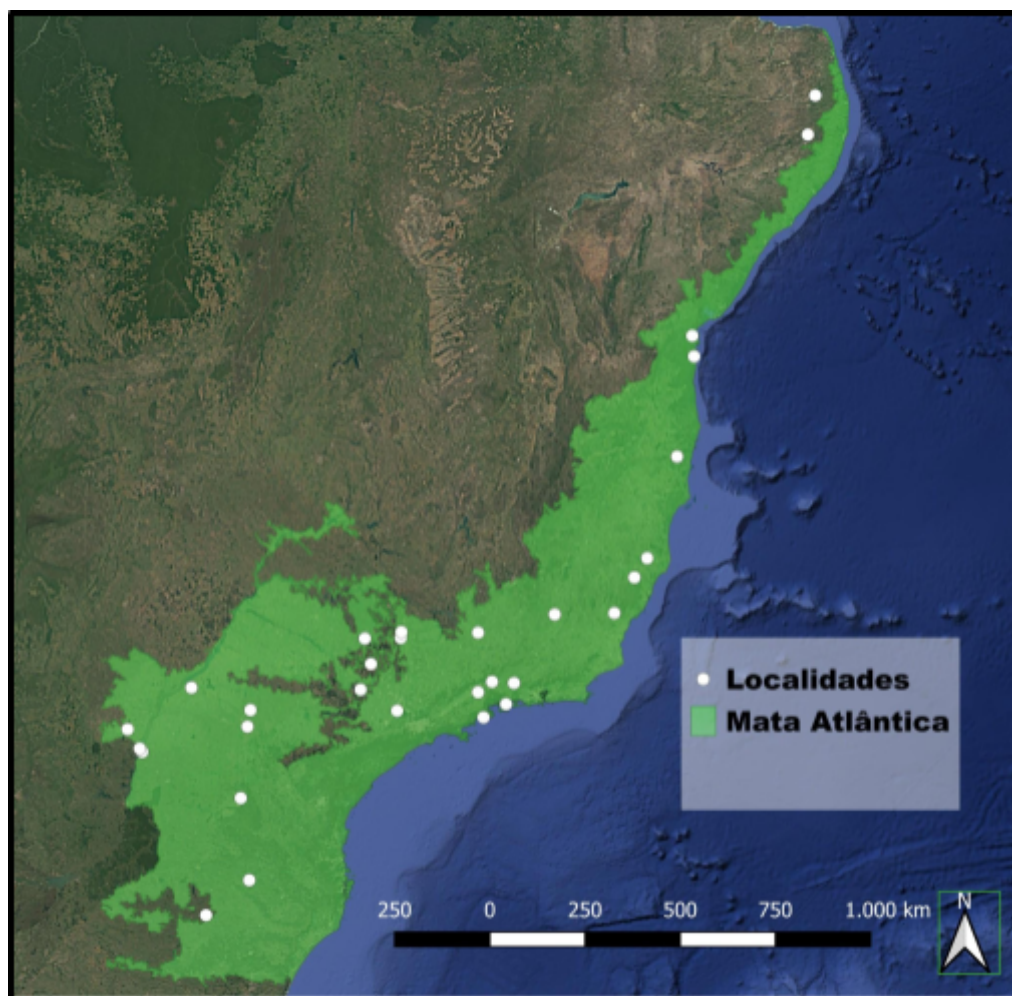
$$Esteque\ de\ C\ (Mg/ha) = C\% \cdot Densidade\ (g/cm^3) \cdot Profundidade\ (cm) \cdot 100$$

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software R, a partir da plataforma RStudio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

35 pesquisas se adequaram ao delineamento inicial proposto. A partir do levantamento encontrado foram reunidos 141 dados referentes ao estoque de carbono no solo da Mata Atlântica. A maior parte das pesquisas não apresentou valores de estoque de carbono para todas as camadas de solo previamente delineadas. Das 35 localidades descritas para este levantamento bibliográfico, 30 são visualmente distinguíveis (figura 1), já que algumas pesquisas foram feitas na mesma cidade, portanto apresentando coordenadas geográficas sobrepostas.

Figura 1. Mapa das localidades consideradas para pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora

Duas localidades estão incongruentes com o bioma (figura 1) por não estarem incluídas sob a Mata Atlântica na plataforma TerraBrasilis, disponibilizada pelo INPE

para elaboração de mapas temáticos, apesar de serem pesquisas¹ com localidades descrevendo a vegetação como Mata Atlântica.

A tabela 1 apresenta todos os dados reunidos sobre estoques de C no solo da Mata Atlântica sem o recorte de uso do solo e tipos de solo, contando os valores totais encontrados correspondentes a cada camada de profundidade do solo (em centímetros).

Tabela 1. Estoques de carbono no solo para o bioma da Mata Atlântica.

Todos os dados		Mg ha ⁻¹ C					
cm	n	min	média	máx.	DesvPad	CV (%)	
0 - 20	114	15.2	44.09	92	18.25	41	
0 - 30	53	31.9	64.42	114	21.53	33	
0 - 40	42	25.4	78.02	142	32.56	41.7	
0 - 60	37	59.88	97.11	189.77	29.99	30.8	
0 -100	55	63.9	132.91	309	53.32	40	

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 2. Estoques de carbono no solo sob vegetação nativa da Mata Atlântica.

Floresta		Mg ha ⁻¹ C					
cm	n	min	media	máx.	DesvPad	CV (%)	
0 - 20	32	26.4	49.90	92	16.28	32.6	
0 - 30	13	35.5	54.27	72.33	9.20	16.9	
0 - 40	10	44.9	70.06	92.6	15.25	21.7	
0 - 60	9	70.48	105.58	189.77	35.40	33.5	
0 -100	14	72.7	152.48	309	74.61	48.9	

Fonte: Dados da pesquisa

¹ De Resende (2006) e Macedo (2025).

Tabela 3. Estoques de carbono em solos agrícolas

Agricultura		Mg ha ⁻¹ C					
	cm	n	min	media	Max.	DesvPad	CV (%)
	0 - 20	38	15.8	46.11	84.5	21.18	45.9
	0 - 30	16	34.3	83.13	114	26.18	31.4
	0 - 40	14	25.4	91.98	142	48.50	52.7
	0 - 60	9	64.9	107.11	185.5	43.03	40
	0 -100	15	93.9	158.56	266.6	49.16	31

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 4. Estoques de carbono no solo em cana-de-açúcar.

Cana		Mg ha ⁻¹ C					
	cm	n	min	media	max	DesvPad	CV (%)
	0 - 20	20	17.02	36.63	55.45	9.41	25
	0 - 30	4	44.38	57.48	66.67	9.40	16.3
	0 - 40	2	43.5	46.55	49.6	4.31	9.2
	0 - 60	10	59.88	87.78	99	15.71	17.9
	0 -100	6	84.25	107.08	130.81	15.86	14.8

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 5. Estoques de carbono no solo em pastagens.

Pastagem		Mg ha ⁻¹ C					
	cm	n	min	med	max	DesvPad	CV (%)
	0 - 20	13	17.92	44.79	75.9	19.08	42.5
	0 - 30	15	38.6	61.83	76.67	12.88	20.8
	0 - 40	9	43.7	76.67	98.8	19.44	25.3
	0 - 60	6	68.5	94.63	114.23	18.49	19.5
	0 -100	13	66.7	117.58	156.78	24.30	20.6

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 6. Estoque de carbono no solo em agroflorestas.

Agrofloresta	Mg ha ⁻¹ C					
	n	min	med	max	DesvPad	
0 - 20	4	15.6	30.73	44.3	14.41	46.9
0 - 30	2	44	57.15	70.3	18.59	32.5
0 - 40	2	68.13	71.61	75.1	4.92	6
0 - 60	2	72.12	77.84	82.57	6.68	8
0 -100	3	64.7	92.19	113.46	24.96	27

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 7. Estoque de carbono em solos em silvicultura.

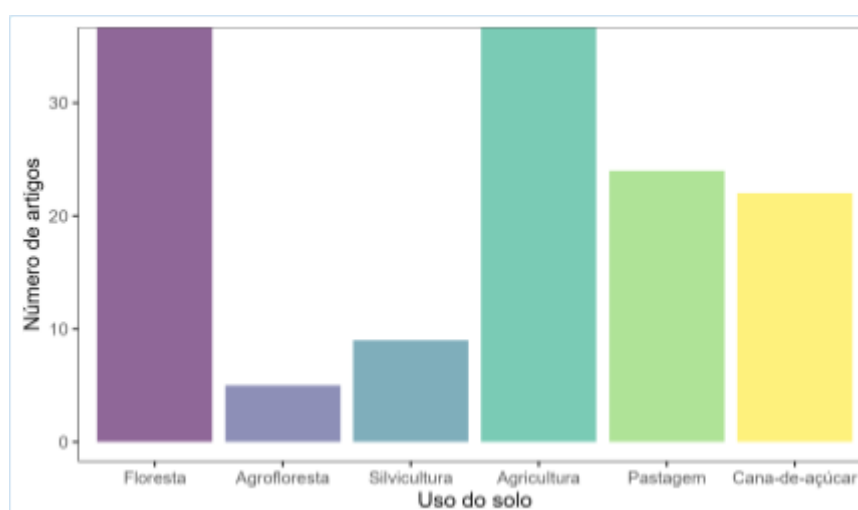
Silvicultura			Mg ha ⁻¹ C				
	cm	n	min	media	máx.	DesvPad	CV (%)
	0 - 20	6	15.2	30.4	55.75	18.48	60
	0 - 30	3	31.9	35.6	40.92	4.7	13
	0 - 40	4	52.54	76.5	105.2	24.3	31.8
	0 - 60	1	77.57	77.57	77.57	-	-
	0 -100	4	63.9	87.3	120.86	27	30.9

Fonte: Dados da pesquisa

Os estoques de carbono no solo da Mata Atlântica apresentaram alta variabilidade espacial e diferenças consistentes ao longo do perfil do solo, refletindo a influência combinada de profundidade e uso do solo. Há um aumento progressivo dos estoques de carbono acompanhando a profundidade em todos os usos de solo avaliados. As áreas sob vegetação nativa apresentaram estoques de carbono elevados em todas as profundidades, reforçando o papel das florestas da Mata Atlântica como importantes reservatórios de carbono no solo. Porém, a elevada variabilidade observada mesmo nessa categoria sugere que outros fatores, como tipo de solo, relevo e formação florestal exercem alguma influência sobre a capacidade de estoque, o que dificulta generalizações baseadas apenas em médias.

Nas categorias de usos antropizados, cana-de-açúcar e silvicultura apresentaram menores estoques de carbono nas camadas superficiais, o que pode estar associado à remoção frequente de biomassa, revolvimento do solo e menor aporte de resíduos orgânicos. Ainda assim, o aumento dos estoques em profundidade sugere que parte do carbono permanece estabilizada em camadas subsuperficiais, independentemente do atual uso do solo. Pastagens e sistemas agroflorestais apresentaram valores intermediários de estoque de carbono, com tendências semelhantes às observadas nos demais usos. No entanto, os baixos tamanhos amostrais em algumas categorias (agroflorestas e silvicultura), limitam a robustez das inferências estatísticas.

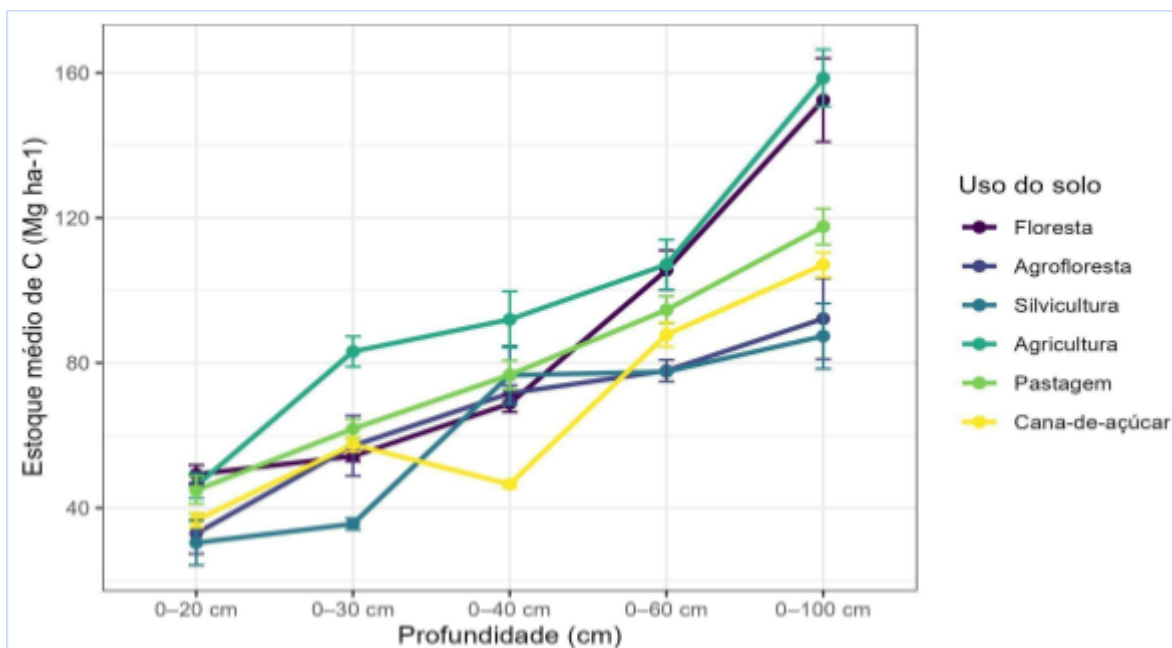
Figura 2. Gráfico de frequência do uso do solo em relação ao número de artigos encontrados.



Fonte: Elaborado pela autora

35 artigos foram considerados para análise (figura 2) e a maioria descreve pelo menos algum valor de estoque de carbono para cobertura do solo em vegetação nativa, categorizada como “Floresta”. Em seguida, a maior parte dos valores de estoque de carbono está descrita sob usos antropizados, “Agricultura” e “Pastagem”. Os valores encontrados para cada um dos usos do solo em cada uma das profundidades consideradas estão apresentados na figura 3, com o estoque médio de C para cada uma das situações descritas

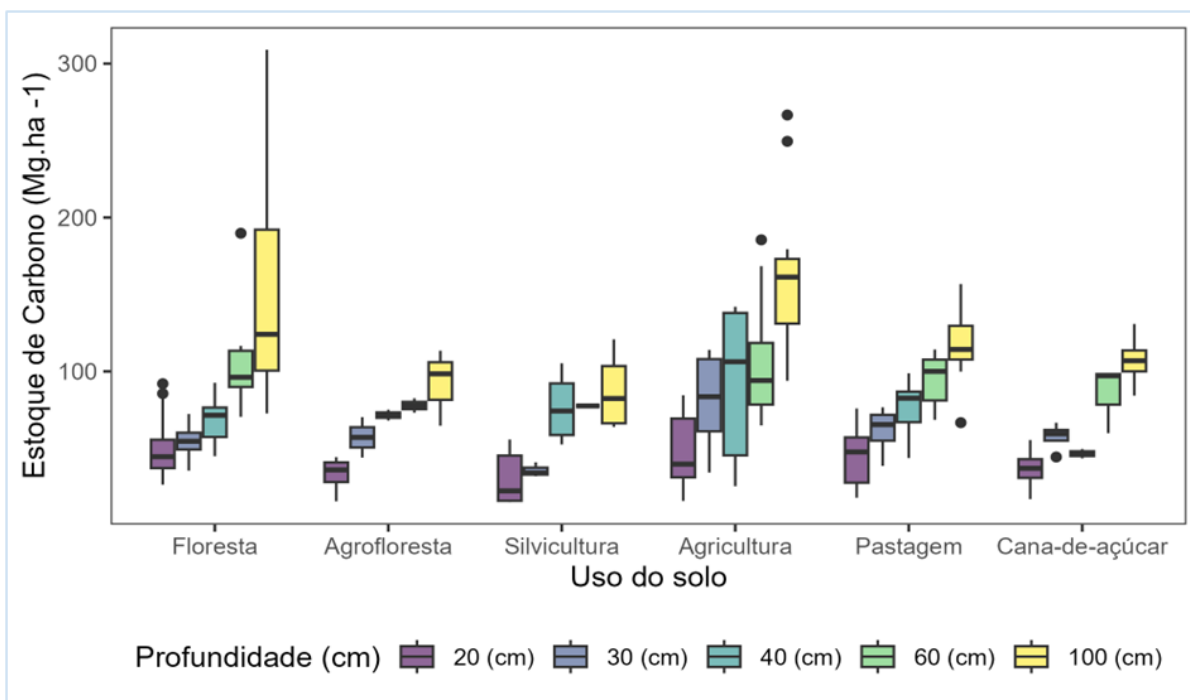
Figura 3. Estoque médio de C em diferentes camadas e uso do solo



Fonte: Elaborado pela autora

Os valores de estoque médio de C na categoria Agricultura são maiores que os valores encontrados na categoria Floresta. Isso pode ser explicado devido a quantidade amostral de dados para solos em Agricultura ser maior em comparação aos solos em Floresta, como é possível observar nas tabelas 2 e 3. A Figura 4 representa os valores totais de estoque de carbono no solo (Mg.ha^{-1}) encontrados em todas as profundidades de camada de solo e em todas as categorias agrupadas em uso de solo.

Figura 4 - Gráfico boxplot de relação entre valores de estoques de carbono (Mg.ha^{-1}), uso do solo e camadas do solo.



Fonte: elaborado pela autora.

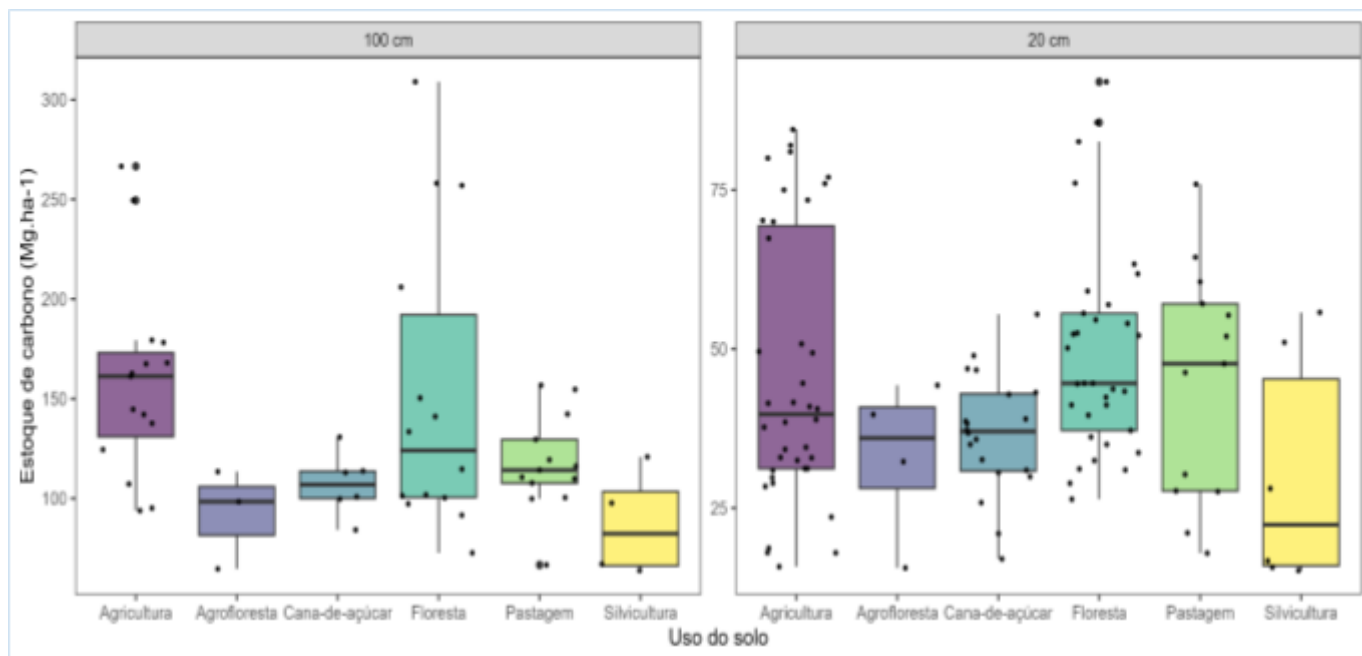
4.1 Fitofisionomias da Mata Atlântica

Para melhor compreensão sobre o potencial de sequestro de C em diferentes áreas da Mata Atlântica, seriam consideradas as fitofisionomias pertencentes ao bioma como: Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Campos de Altitude e Manguezal. No entanto, apenas 27 estudos descrevem vegetação pertencente à Mata Atlântica, em geral florestas secundárias e áreas reflorestadas. Nenhum estudo descreve Restinga, Campos de Altitude ou Manguezal. Portanto, devido à ausência de descrição das fitofisionomias da Mata Atlântica e a fim de comparação dos estoques de carbono no solo da vegetação nativa da Mata Atlântica em relação aos usos antropizados encontrados no levantamento, todas as áreas de vegetação nativa (florestas secundárias, áreas reflorestadas maduras e áreas reflorestadas em processo recente de sucessão ecológica) foram categorizadas como “Floresta”.

4.2 Usos antropizados do solo da Mata Atlântica

A figura 5 apresenta o gráfico obtido com as informações fornecidas nas duas profundidades mais recorrentes encontradas neste levantamento bibliográfico, de 0–20 cm e de 0–100 cm. No eixo x temos as categorias utilizadas para análise de uso do solo, e no eixo y os valores de estoques de carbono nas profundidades. Os pontos representam a ocorrência das categorias de uso do solo consideradas nesta análise. Neste gráfico, a categoria Agricultura apresenta maiores valores de estoque de carbono na camada mais superficial do solo. Na camada mais profunda do solo os estoques de carbono são maiores na categoria Floresta em comparação aos usos antropizados, o que pode estar associado à maior estabilidade de C em camadas subsuperficiais, onde processos de decomposição são mais lentos e a proteção físico-química do carbono é mais efetiva

Figura 5. Análise não paramétrica de Kruskal–Wallis para estoques de carbono nas camadas de profundidade de 0–100 cm e 0–20 cm, respectivamente, em relação ao uso do solo.



Fonte: Elaborado pela autora

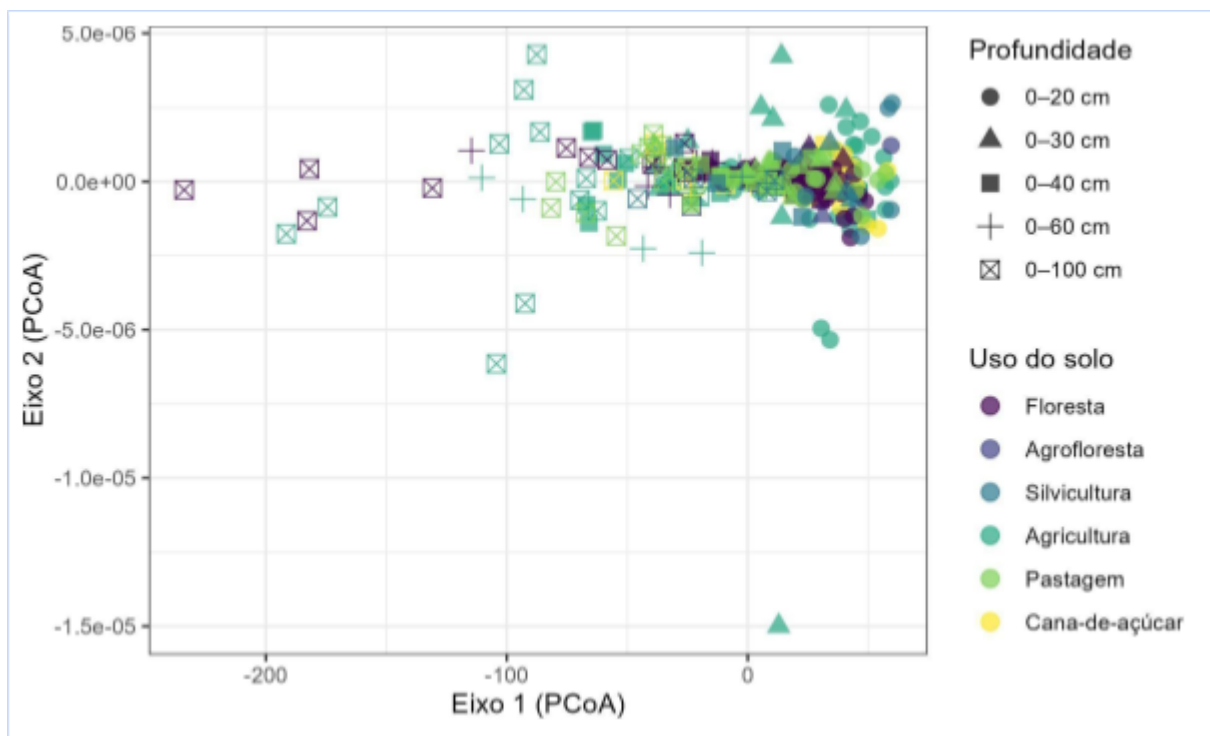
A análise não paramétrica de Kruskal–Wallis indicou diferenças estatisticamente significativas nos estoques de carbono do solo entre os diferentes usos do solo tanto na camada superficial quanto ao longo de todo o perfil avaliado.

Na profundidade de 0–20 cm, observou-se efeito significativo do uso do solo sobre os estoques de carbono ($\chi^2 = 11,401$; gl = 5; $p = 0,0439$). Esse resultado sugere que o manejo e a cobertura vegetal exercem influência direta sobre o acúmulo de carbono nos horizontes mais rasos, os quais são mais sensíveis às mudanças de uso do solo e às práticas antrópicas. Para a profundidade de 0–100 cm, a mesma análise revelou um efeito mais pronunciado do uso do solo ($\chi^2 = 14,302$; gl = 5; $p = 0,0138$), com nível de significância mais elevado em comparação à camada superficial, indicando que as diferenças entre usos do solo tornam-se mais consistentes quando considerado o perfil edáfico mais profundo, refletindo a influência cumulativa e de longo prazo dos sistemas de uso do solo sobre o estoque de carbono.

A comparação entre as duas profundidades evidencia que, embora as diferenças entre usos do solo já sejam detectáveis na camada de 0–20 cm, elas se tornam mais robustas ao integrar o estoque de carbono até 100 cm de profundidade. Esse resultado reforça a importância de considerar perfis mais profundos em estudos de carbono do solo, uma vez que análises restritas às camadas superficiais podem subestimar os efeitos do uso do solo sobre o sequestro e a conservação do carbono.

As outras categorias de uso antropizado do solo (pastagem, cana-de-açúcar, agrofloresta e silvicultura) foram consideradas apesar de apresentarem número amostral muito baixo no levantamento bibliográfico de modo geral.

Devido à desigualdade de variâncias entre os grupos uso do solo e classes de solo, e o delineamento desbalanceado (pela ausência de dados de estoque de C no solo em todas as profundidades propostas), a análise de variância mais adequada para tentar observar alguma correlação entre valores de estoque de C, profundidade e cobertura do solo foi a Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA), por ser uma análise mais robusta a desbalanceamento e heterogeneidade de variâncias. Os resultados da PERMANOVA confirmaram as diferenças significativas nos estoques de carbono entre usos do solo e profundidades ($p < 0,001$), explicando cerca de 62% da variação total ($R^2 = 0,619$), validando a influência do tipo de uso do solo e da profundidade na determinação dos estoques de carbono. O diagrama de ordenação (PCoA), derivado da matriz de distâncias euclidianas, mostrou considerável sobreposição entre os grupos de uso do solo e profundidade, indicando elevada variabilidade interna em cada categoria (Figura 6).

Figura 6 - Análise Permutacional de Variância

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar dessa sobreposição visual, a PERMANOVA demonstrou que as diferenças médias entre os grupos são estatisticamente consistentes, reforçando que tanto o uso do solo quanto a profundidade são determinantes importantes na distribuição dos estoques de carbono do solo. A sobreposição observada sugere que, embora existam diferenças médias entre os grupos, há também elevada variabilidade interna dentro de cada uso do solo e profundidade, o que dificulta uma separação visual nítida no espaço bidimensional do PCoA.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações sobre o estoque no solo da Mata Atlântica ainda são muito escassas. Durante a elaboração deste projeto muitos artigos não se encaixaram no delineamento proposto porque apresentaram outras métricas com as quais não se podia fazer a conversão para o estoque de C em MgC/ha^{-1} . Além disso, a grande maioria dos trabalhos considerados nesta revisão não apresentaram valores de estoque de carbono para todas as camadas do solo. A maioria das informações coletadas provém da camada mais superficial do solo e em áreas de cobertura do solo já antropizadas para agricultura, muitos estudos voltados à produtividade do solo e não ao serviço ecossistêmico que um solo saudável pode oferecer através do seu potencial de sequestro de C. Do ponto de vista da restauração florestal, as medições do estoque de carbono no solo da Mata Atlântica ainda precisam de uma avaliação mais minuciosa para conservação das áreas de vegetação nativa.

REFERÊNCIAS

ASSIS, L. F. F. G.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; MAURANO, L.; ALMEIDA, C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES, J.; MACIEL, A.; CAMARGO, C. **TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping**. ISPRS. International Journal of Geo-Information. 8, 513, 2019. DOI: 10.3390/ijgi8110513.

BARROS OZÓRIO, J. M., ROSSET, J. S., SCHIAVO, J. A., PANACHUKI, E. SOUZA, C. B. da S., MENEZES, R da S., XIMENES, T. S., CASTILHO, S. C. de P., & MARRA, L. M. **Carbon stock and soil aggregation under forest fragments in the Atlantic Forest and Cerrado biomes**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (RCIAMB), v. 53, p. 97-116, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190518>.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. **Brazil's Soil Carbon Stocks**. Soil Science Society of America Journal, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.8880>.

BORDONAL, R. O.; LAL, R.; RONQUIM, C. C.; et al. **Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 240, p 54-65, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.016>.

BRIEDIS, C.; DE MORAES SÁ, J. C.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; DA CRUZ HARTMAN, D.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSAN, P. T.; INAGAKI, T. M.; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. **How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils?**. CATENA, v. 163, p. 13–23, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.003>.

CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; ANDROCIOLI FILHO, A.; CARAMORI, D. C.; ZARO, G. C.; COSTA, A. B. F. **Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee and Mimosa scabrella (bracatinga) in southern Brazil**. Agrometeoros, Passo Fundo, v. 28, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v28.e026705>.

CARVALHO, D. C. D.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; SIMON, C. A.; TOLEDO, L. D. O.; PICCOLO, M. D. C. **Carbono, Nitrogênio e Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ do Solo em Coberturas Florestais**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 24, n. 0, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.009315>.

CASTELLANO, G. R.; MORENO, L. X.; MENEGÁRIO, A. A.; GOVONE, J. S.; GASTMANS, D. **Quantificação das emissões de CO₂ pelo solo em áreas sob diferentes estádios de restauração no domínio da Mata Atlântica**. Química Nova, v. 40, n. 4, p. 407-412, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170036>.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; FELLER, C.; CAMPOS, D.C.; DE LUCA, E.F. & ESCHENBRENNER, V. **Canne à sucre et sequestration du carbone**. In: Academie d'Agriculture de France; Séance du 17 mars de l'Académie d'Agriculture de France: Paris, France, 2004. 15 p.

CERRI, C. E. P; GALDOS, M. V.; CARVALHO, J. L. N.; FEIGL, B. J. & CERRI, C. C. **Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view**. Scientia Agricola, v. 70, n. 5, p. 361-368, 2013. Piracicaba, Brasil. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500011>.

CERRI C.C.; GALDOS M. V.; MAIA S. M. F.; BERNOUX M.; FEIGL B. J.; POWLSON D. & CERRI C. E. P. **Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data**. European Journal of Soil Science, v. 62, n. 1, p. 23-28, 2011. Disponível em: doi:10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x.

COSTA, F. D. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. **Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587–589, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000200041>.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. D.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. **Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1137–1145, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500007>.

COUTINHO, R. P. **Estoques de carbono e emissão de N₂O no sistema solo-planta em região da Mata Atlântica**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2009. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/tede/280>.

CZYCZA, R. V. **Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2010. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-17032010-111859/>.

DE RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; DE OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Long-term Effects of Pre-harvest Burning and Nitrogen and Vinasse Applications on Yield of Sugar Cane and Soil Carbon and Nitrogen Stocks on a Plantation in Pernambuco, N.E. Brazil**. Plant and Soil, v. 281, n. 1–2, p. 339–351, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4640-y>.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; GOMES JUNIOR, D.; GODINHO, T. D. O.; CALIMAN, J. P.; GONÇALVES, E. D. O.; KUNZ, S. H.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. S. D. **Soil attributes and spatial variability of soil organic carbon stock under the Atlantic Forest, Brazil**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1528–1551, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509867028>.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C. & WISNIEWSKI, J. **Carbon pools and flux of global forest ecosystems**. Science, v. 263, n. 5144, p. 185-190, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185>.

DOS SANTOS, C. A.; REZENDE, C. de P.; PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil**. Geoderma, v. 337, p. 394-401, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS (2025). **Sistema de Informação Geográfica QGIS**. Projeto da Fundação Geoespacial de Código Aberto. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

FEREZ, A. P. C.; CAMPOE, O. C.; MENDES, J. C. T.; STAPE, J. L. **Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil**.

Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 350, p. 40–45, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.015>.

FERRETTI, A. R. Fundamentos ecológicos para o planejamento da restauração florestal. *In*: GALVÃO, A. P. M., MEDEIROS, A. C. S. (Ed.). **A restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. p.21-26.

FERRETTI, A. R. Modelos de plantio para a restauração. *In*: GALVÃO, A. P. M., MEDEIROS, A. C. S. (Ed.). **A restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. p.35-43.

FRAZÃO, L. A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. **Soil carbon stocks under oil palm plantations in Bahia State, Brazil**. Biomass and Bioenergy, v. 62, p. 1–7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.031>.

GALDOS, M. V.; CERRI, C.C.; CERRI, C. E. P. **Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil**. Geoderma, v. 153, n. 3–4, p 347-352, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.025>.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; RAMACHANDRAN NAIR, P. K.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. **Carbon Storage in Soil Size Fractions Under Two Cacao Agroforestry Systems in Bahia, Brazil**. Environmental Management, Nova York, v. 45, n. 2, p. 274–283, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9420-7>.

GUO, L. B; GIFFORD, R. M. **Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis**. Global Change Biology, v. 8, p. 345-360, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>. Acesso em: 20 set. 2024.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. **Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brazil**. Soil Research, Victoria, v. 41, n. 4, p. 717, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR02037>.

MACEDO, M. O.; RESENDE, A. S.; GARCIA, P. C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A. **Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 255, n. 5–6, p. 1516–1524, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.11.007>.

MACEDO, R. S., MORO, L., SOUSA, C.d. et al. **Aggregate-Associated Organic Carbon Storage and Iron Oxides Respond to Land Use in Atlantic Forest Patches in Northeastern Brazil**. Eurasian Soil Sc. v. 58, n. 17, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S1064229324600829>.

MACHADO, D. L.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, L. L. D.; DINIZ, A. R.; GUARESCHI, R. F. **Organic Matter And Soil Fertility in Different Successional Stages Of Seasonal**

Semidecidual Forest. Revista Caatinga, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 179–188, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n118rc>.

MACHADO PINHEIRO, É. F.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region.** Plant and Soil, v. 333, n. 1–2, p. 71–80, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0320-7>.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; GROHSKOPF, M. A.; ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; FRIEDERICH, A. **Organic Carbon Contents and Stocks in Particle Size Fractions of a Typic Hapludox Fertilized With Pig Slurry and Soluble Fertilizer.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1161–1171, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140177>.

MAIA, S. M. F.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; LAL, R.; BERNOUX, M.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. C. **Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes.** Soil and Tillage Research, v. 133, p. 75–84, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002>.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; da FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** Nature, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35002501>.

NOGUEIRA JR, L. R.; GONÇALVES, J. M.; ENGEL, V. L & PARROTTA, J. **Soil dynamics and carbon stocks 10 years after restoration of degraded land using Atlantic Forest tree species.** Forest Systems, v. 20, n.3, p. 536–545. 2011. doi.org/10.5424/fs/20112003-11844.

OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M.; PRAES, M. F. F. M.; et al. **Soil carbon dynamics in Brazilian Atlantic forest converted into pasture-based dairy production systems.** Agronomy journal, v. 113, n. 2, p. 1136–1149, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20578>.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. de F. **Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais.** In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. P. 92–100.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **O sexto Panorama Ambiental Global: GEO-6.** Nairobi, 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-6>. Acesso em: 20 jul. 2025.

R CORE TEAM (2023). **_R: A Language and Environment for Statistical Computing_.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

RACHWAL, M. F. G.; ZANATTA, J. A.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; FRANCISCON, L. **Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 42, p. 1–13, 2022. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/2172>.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. **The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation**. Biological Conservation, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.

ROBINSON, S. J. B.; VAN DEN BERG, E.; MEIRELLES, G. S.; OSTLE, N. **Factors influencing early secondary succession and ecosystem carbon stocks in Brazilian Atlantic Forest**. Biodiversity and Conservation, Amsterdam, v. 24, n. 9, p. 2273–2291, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0982-9>.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEM, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo, SP: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica. 2009. Disponível em: http://media.wix.com/ugd/5da841_f47ee6a4872540ee8c532166fbb7e7b0.pdf.

ROSSET, J. S.; LANA, M. D. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. **Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n. 6, p. 3053, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3053>.

SEGNINI, A.; XAVIER, A. A. P.; OTAVIANI-JUNIOR, P. L.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. D. F.; PRAES, M. F. F. M.; RODRIGUES, P. H. M.; MILORI, D. M. B. P. **Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 33–40, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0131>.

SISTI, C. P. J.; DOS SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39–58, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; REZENDE, C. de P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil**. Plant and Soil, v. 234, p. 15–26, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1010533721740>.

TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. D. P.; MARRA, L. M. **Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v. 13, n. 4, p. 1447–1469, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469>.

VILLELA, D.; DE MATTOS, E.; PINTO, A.; VIEIRA S.; MARTINELLI, L. **Carbon and nitrogen fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning**. Brazilian Journal of Biology, v. 72, n. 3, p. 633–642, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400003>.

WINJUM, J. K; DIXON, R. K; SCHROEDER, P. E. **Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon.** Water, Air, and Soil Pollution, v. 64, p. 213-227. 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00477103>.

ZANINI, A. M.; MAYRINCK, R. C.; VIEIRA, S. A.; DE CAMARGO, P. B.; RODRIGUES, R. R. **The effect of ecological restoration methods on carbons stocks in the Brazilian Atlantic Forest.** Forest Ecology and Management, v. 481, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118734>.