

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUCCA SILVEIRA MOUSINHO MOSSIO

ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA ZONA DA
MATA SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO

RECIFE,
2021

LUCCA SILVEIRA MOUSINHO MOSSIO

**ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA ZONA DA
MATA SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire; Coorientador: Prof. Dr. Tarcísio Viana de Lima

Recife,
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F363c

Mossio, Lucca

Estoque de carbono em fragmento florestal na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco /
Lucca Mossio. - 2021. 44 f. : il.

Orientadora: Maria Betânia Galvão dos Santos
Freire.
Coorientador: Tarcísio Viana de Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2021.

1. Estoque de carbono. 2. Biomassa aérea vegetal. 3. Solos florestais. I. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos,
orient. II. Lima, Tarcísio Viana de Lima, coorient. III. Título

CDD 634.9

LUCCA SILVEIRA MOUSINHO MOSSIO

**ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTO FLORESTAL NA ZONA DA
MATA SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire; Coorientador: Prof. Dr. Tarcísio Viana de Lima

Aprovado em: 25 de fevereiro de 2021

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Me. Clarissa Buarque Vieira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Orientadora - Prof. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos

Freire

Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE - PE

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família, por sempre me proporcionarem oportunidade de uma educação privilegiada, que contribuiu demais no meu desenvolvimento científico e como pessoa e por todo o apoio que me foi dado ao longo deste processo.

Agradeço também aos meus orientadores Prof. Betânia e Prof. Tarcísio por todo o comprometimento e carinho, me auxiliando em todos os momentos para que eu pudesse chegar ao final deste curso. Todas as iniciações científicas, discussões e aulas contribuíram para meu conhecimento.

Sou grato a minha namorada, Giovana, por todo o apoio e comprometimento para me auxiliar no dia-a-dia com as análises em laboratório e com a capacidade de me acalmar nos momentos de nervosismo.

Agradeço ao povo brasileiro por contribuir com a minha formação, tornando possível minha formação numa universidade pública conceituada. Espero poder contribuir e retornar todo o investimento de maneira coerente e sustentável.

Sou grato aos meus amigos que desde o início do curso estão nesta luta comigo: Jorge, Vitória, Elcio, Yasmim, Duda, Tiago, Alisson, Cláudio, Léo, Evelyn, Bruno e Taci. Toda correria e troca de conhecimento ao longo do curso foi essencial para formar quem sou agora.

Agradeço aos meus companheiros de laboratório, que sempre me ajudaram e me direcionaram, auxiliando nas análises e tirando minhas dúvidas sempre que precisei: Paulo, Adriano, Clarissa, Patryk, Manu e Flávio.

Sou grato à todos os professores que me forneceram seus conhecimentos ao longo da minha formação, principalmente os professores do Departamento de Ciências Florestais por todo apoio, suporte e confiança no meu esforço.

São tantos envolvidos na minha formação que não consigo colocar em apenas uma página, mas de antemão, sou grato por todos que estiveram comigo neste processo, contribuindo sempre para meu desenvolvimento.

RESUMO

As florestas nativas têm uma forte atuação na mitigação das mudanças climáticas do planeta, principalmente com o sequestro de carbono. No entanto, a Mata Atlântica sofreu um processo de fragmentação histórica, ligada a exploração, resultando na modificação do estoque de carbono. Desta forma, o trabalho objetivou avaliar os estoques de carbono no solo e na vegetação em um fragmento de floresta Atlântica na Zona da Mata de Pernambuco, atribuindo um comparativo para áreas de borda e mata. O estudo foi realizado em uma área da Usina Trapiche, em Sirinhaém, Pernambuco, em um fragmento de Floresta Atlântica. Foram avaliados os estoques de carbono, o carbono orgânico total, o carbono lábil, biomassa arbórea e da serapilheira nas situações de borda e interior do fragmento, em parcelas de 250 m². Em cada parcela, foram coletadas amostras de solo em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm); coletando-se também a serapilheira em gabarito de 0,25 m² e utilizados dados de estudo fitossociológico para a estimativa da biomassa vegetal acima do solo. Para a análise estatística foram realizados teste F e teste de Tukey, a 5% de probabilidade, após tratamento dos dados por teste de normalidade e homocedasticidade, no SAS e Sisvar. Houve diferença significativa dos teores de carbono orgânico total (C.O.T) e do estoque de carbono do solo entre as situações de borda e interior do fragmento, aceitando a hipótese de haver algum efeito de borda ocasionado pela fragmentação do ambiente. Todavia, este efeito é insuficiente para haver diferença no carbono lábil. Foi observado maior teor e estoque nas camadas superficiais do solo (0 – 10 cm), o que é comum em ambientes florestais, principalmente pela maior deposição de matéria orgânica na camada superficial. A biomassa aérea vegetal do fragmento e a biomassa de serapilheira apresentaram diferença significativa para borda e interior, possivelmente por se tratar de um ambiente heterogêneo e pela existência de efeito de borda no fragmento. Mesmo com a fragmentação, observa-se que o compartimento solo ainda estoca mais carbono que a vegetação, sendo a perturbação no local, até os limites estabelecidos por este estudo, insuficiente para alterar o armazenamento de carbono e os serviços ecossistêmicos de uma área conservada. Assim, compreende-se a importância do conhecimento e da preservação de florestas nativas para o funcionamento ambiental como reservatório de carbono.

Palavras-chave: Sequestro de carbono, Biomassa aérea vegetal, Solos florestais.

ABSTRACT

Native forests have a strong presence in climatic change mitigation on the planet, mainly on carbon sequestration. However, Atlantic Forest suffered a historical fragmentation process linked to exploration, resulting in carbon stock modification of this ecosystem. Thus, the objective of this research was to evaluate the carbon stocks in soil and vegetation of an Atlantic Forest fragment in Pernambuco, Brazil, assigning a comparative relation for edge and forest areas. The study was performed in an area from Usina Trapiche, in Sirinhaém, Pernambuco, in an Atlantic Forest fragment. Were evaluated the carbon stocks, soil organic carbon, soil labile carbon, tree and litter biomass in edge and forest situations, in plots of 250 m². In each plot, soil samples were collected in three different depths (0-10, 10-20 and 20-40 cm), also collecting 0,25 m² of litter in each plot and data from a phytosociological study were used to estimate the above-ground plant biomass. For statistical analysis, were performed F test and Tukey test, at 5% probability, after data treatment for normality test and homoscedasticity, on SAS and Sisvar software. There was significant difference in contents of soil organic carbon (S.O.C) and carbon stocks of soil in situation of edge and forest of the fragment, accepting the hypothesis of edge effect caused by fragmentation. However, this effect was not sufficient to have a difference in labile carbon. Was observed a major content and stock in the superficial layer of soil (0-10 cm), which is common in forest environments, mainly for the larger deposition of organic matter in surface. The above-ground biomass and litter biomass presented significant difference between edge and forest, possibly for being a heterogeneous environment and for edge effect existence in the fragment. Even with fragmentation, was observed that soil reservoir keeps stocking more carbon than vegetation reservoir, being the disturbance, up to the limits established by this study, less enough to alter the carbon storage and ecosystems services in a conserved area. So, understand the importance of the knowledge and preservation of native forests for the environment functioning as a carbon tank.

Keywords: Carbon sequestration, Vegetation biomass, Forest soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do município de Sirinhaém, Pernambuco	21
Figura 02 – Demarcação do fragmento Coelhas, na Usina Trapiche.....	21
Figura 03 – Croqui do fragmento Coelhas, na Usina Trapiche	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valores de densidade do solo nas parcelas utilizadas para caracterização do fragmento de Mata Atlântica em área da Usina Trapiche (Sirinhaém – Pernambuco)	23
Tabela 02 – Valores médios dos dados fitossociológicos para as espécies mais representativas do fragmento de Mata Atlântica, em Sirinhaém, Pernambuco	25
Tabela 03 – Teores médios de carbono orgânico total em função da posição de borda ou interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas	27
Tabela 04 – Teores médios de carbono lábil em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas	29
Tabela 05 – Valores médios de estoque de carbono estimados pela equação de Gatto (2005), em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas	30
Tabela 06 – Valores médios de biomassa aérea vegetal estimada com a equação de Chave <i>et al.</i> (2005), em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco	31
Tabela 07 – Valores médios de estoque de carbono na biomassa acima do solo, por parcela, nas situações de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco, estimados com o fator de Blanc <i>et al.</i> (2009)	32
Tabela 08 – Valores médios de estoque de carbono na biomassa de serapilheira, por parcela, nas situações de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco.....	33

SUMÁRIO

1 Introdução	11
2 Hipóteses	13
3 Objetivos	13
3.1 Objetivo geral	13
3.2 Objetivos específicos	13
4 Referencial Teórico	14
4.1 Industrialização e a questão climática	14
4.2 Mercado de carbono como alternativa de preservação	15
4.3 Sequestro de carbono nas florestas e o efeito da fragmentação florestal	16
4.4 Estoque de carbono: sistema solo-planta	19
5 Material e Métodos	21
5.1 Localização e caracterização da área de estudo	21
5.2 Coleta e preparo do solo	22
5.3 Análises de carbono orgânico total (C.O.T) e estoque	24
5.4 Avaliação da biomassa arbórea aérea e serapilheira	24
5.5 Análise Estatística	25
6 Resultados e Discussão	27
6.1 Carbono orgânico do solo no fragmento florestal	27
6.2 Carbono lábil do solo no fragmento florestal	28
6.3 Estoque de carbono no solo e na vegetação	29
6.4 Carbono da serapilheira depositada na superfície do solo	33
7 Considerações Finais	35
8 Referências Bibliográficas	36
9 Anexos	45

1 Introdução

Com a expansão industrial, desmatamentos, queimadas, crescimento das áreas urbanas e expansão da pecuária, constata-se o aumento de gases nocivos na atmosfera, representados sobretudo pelo dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (CONTI, 2011). Essa concentração potencializada de gases provoca o efeito estufa, responsável juntamente com outros fatores (desmatamento, acúmulo de lixo, etc), pelo aquecimento global, trazendo como consequência as mudanças climáticas em curso (TILIO NETO, 2010).

Neste contexto, os ecossistemas florestais cumprem papel fundamental no auxílio a mitigação das mudanças climáticas ocasionadas pelos processos antrópicos, através de serviços ecossistêmicos como o sequestro de carbono e conservação da biodiversidade (MEIRA *et al.*, 2020). Por isso, é fundamental a manutenção de ambientes conservados em propriedades com utilização de terra, promovendo a fixação de carbono e contribuindo com os serviços ambientais (RUSCHEL e DEMANBORO, 2020).

No Brasil, 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas são responsáveis por sequestrar, aproximadamente 1,7 bilhões de toneladas de CO₂, além do potencial das áreas de Reserva Legal, Área de Preservação Permanente e outros tipos de áreas de conservação, que totalizam uma área de 5,6 milhões de hectares e têm a capacidade de sequestrar e estocar cerca de 2,5 bilhões de toneladas de CO₂ (IBÁ, 2017). Além das áreas de conservação, práticas como o manejo florestal sustentável, a regeneração natural, o florestamento e o reflorestamento contribuem para a mitigação dos efeitos gerados no clima pela emissão de gases (MEIRA *et al.*, 2020).

Concomitante ao apelo pela conservação dos recursos e biodiversidade, surge o mercado de créditos de carbono. Logo, a estimativa de carbono pode contribuir com o desenvolvimento econômico de florestas, tendo em vista o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) estabelecido no Protocolo de Kyoto, onde estes créditos podem ser comercializados no mercado de carbono e ainda contribuem para a manutenção de serviços ambientais (RIBEIRO *et al.*, 2009). Os serviços de sequestro de carbono atuam no combate ao desmatamento, atribuindo um valor financeiro aos que preservarem remanescentes de vegetação em sua propriedade (PAIVA, 2018).

Entende-se que as florestas constituem os ecossistemas terrestres com um dos maiores reservatórios de carbono do planeta, principalmente os solos florestais, ficando atrás dos oceanos. Estas florestas atuam como verdadeiros sumidouros de carbono (CAMPOS, 2001). Dessa forma, a capacidade de fixação de carbono das florestas tropicais é uma das

maiores dentre os domínios existentes, com alta capacidade de estocagem de carbono, influenciada, principalmente, pela biodiversidade encontrada nesses ecossistemas (DE PAULA, 2009).

Todavia, a fragmentação histórica da Floresta Atlântica brasileira desencadeia modificações no ambiente, promovendo alterações biológicas, com a modificação de estruturas bióticas faunísticas e florísticas, além de alterações ambientais na dinâmica dos processos edáficos e modificações microclimáticas induzidas, principalmente, pelo aparecimento de borda em fragmentos, causando o efeito de borda, acentuando-se em pequenos fragmentos (BORGES *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2017).

A fragmentação provoca o aumento da emissão de carbono na atmosfera, sendo o desflorestamento e o efeito de borda os principais causadores desse aumento, promovendo a emissão de cerca de 10 Gt de carbono em florestas tropicais (BRINCK *et al.*, 2017). Entretanto, a sucessão florestal é mais evidenciada em fragmentos por causa das modificações abióticas, havendo incremento no crescimento de diferentes estágios sucessionais na vegetação, o que promove modificações no acúmulo de carbono (LAURENCE *et al.*, 2006).

No solo, devido à modificação microclimática ocasionada pela fragmentação, há um maior incremento de necromassa na superfície do solo, e também pode ser observada alterações no processo de decomposição deste material, atribuído às mudanças comportamentais de inúmeros micro-organismos e componentes faunísticos que atuam na decomposição, o que provoca uma diferente dinâmica no estoque de carbono no solo em pontos do fragmento (BARROS & FEARNSSIDE, 2016; ISLAM *et al.*, 2017).

Com base nas modificações estruturais provocadas pela fragmentação de florestas, este trabalho procura entender o estoque de carbono na biomassa aérea do fragmento, na necromassa e no solo, buscando evidenciar se em áreas fragmentadas, devido a suscetibilidade a diferentes estágios sucessionais na vegetação, a cobertura vegetal tende a estocar mais carbono que o solo. Além de trazer a importância da conservação destas áreas para a qualidade ambiental, não só local, mas global.

2 Hipóteses

H0: aceita que a distância borda-interior de 100 metros evidencia alguma alteração no estoque de carbono;

H1: rejeita H0.

H0: aceita que em um ambiente fragmentado a vegetação pode estocar mais carbono que o solo;

H1: rejeita H0.

H0: aceita a ocorrência de efeito de borda no fragmento;

H1: rejeita H0.

3 Objetivos

3.1 Objetivo geral

➤ Avaliar o estoque de carbono no solo e na floresta em fragmento de Mata Atlântica na Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco.

3.2 Objetivos específicos

➤ Avaliar as concentrações de carbono no solo e na vegetação arbórea nas posições de interior e borda de um fragmento de Floresta Atlântica;

➤ Avaliar a possibilidade de ocorrência de efeito de borda no fragmento;

➤ Quantificar a reserva total de carbono no sistema solo-vegetação para o fragmento;

➤ Estudar o acúmulo de carbono comparando a biomassa aérea e o solo como reservatórios;

➤ Fortalecer a ideia da necessidade de preservação dos fragmentos florestais para a melhor manutenção da vida dentro e fora destes sistemas.

4 Referencial Teórico

4.1 Industrialização e a questão climática

As mudanças climáticas são, em parte, consequência do efeito estufa, que é considerado uma barreira atmosférica gasosa que auxilia na regulação térmica da Terra. Entretanto, a constante e contínua queima de combustíveis fósseis, usados nas mais variadas atividades humanas, vem sistematicamente contribuindo para o aumento do volume desses gases em suspensão induzindo o superaquecimento do ar e da água dos oceanos, modificando, assim, o equilíbrio climático do planeta (ABREU, ALBUQUERQUE e FREITAS, 2014).

Atividades antrópicas influenciam diretamente no clima, afetando os processos migratórios e a economia mundial, além de limitar o desenvolvimento dos países (JACOBI *et al.*, 2011). Essas modificações climáticas promovem a chamada crise de efeito múltiplo, que consiste no impacto causado aos recursos naturais do planeta, o que poderá afetar o modo de vida de populações inteiras (BLANK, 2015).

Ao longo de milhões de anos, o sistema Terra sofreu várias flutuações na concentração de carbono atmosférico (na forma de dióxido de carbono), o que perdura até os dias atuais e que continuará ocorrendo no futuro. Cerca de 10 Gt de carbono eram liberados na atmosfera anualmente pelas atividades humanas, em virtude da utilização de combustíveis fósseis nos últimos séculos, o que provocou aumento de cerca de 27% da concentração de carbono na atmosfera na década de 90 (PACHECO e HELENE, 1990).

As mudanças climáticas, destacadas pelo aumento na temperatura e irregularidade nas precipitações, foram estimadas para ocorrer dentro de 50 anos a partir do final da década de 90. Neste sentido, o CO₂ é destacado como o principal responsável, com uma liberação para atmosfera entre 350 mg L⁻¹ e 700 mg L⁻¹, através das atividades antrópicas (HALL *et al.*, 1995).

No período de 2000 a 2005, houve um aumento considerável de CO₂ na atmosfera alcançando cerca de 379 ppm, o que estava dentro da estimativa para os anos seguintes. Com o avanço nas atividades industriais, este número tende a aumentar, configurando maiores mudanças climáticas (IPCC, 2007).

Segundo Paines, Cauduro e Possamai (2019), as oscilações climáticas referentes à temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e radiação solar estão diretamente ligadas às concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, principalmente pelas atividades

econômicas das cidades. A queima e a degradação das florestas são uma das principais fontes de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano para a atmosfera (PRIMIERY *et al.*, 2017).

O dióxido de carbono é fundamental na manutenção da temperatura global, pois sua ausência, atrelada a dos outros gases responsáveis pelo efeito estufa, o planeta sofreria um resfriamento gradual em sua temperatura. Entretanto, o aumento de concentração desses gases na atmosfera terrestre induz um aquecimento gradual, fato que vem se constatando na atualidade, pelas mudanças visíveis no comportamento climático da biosfera (UCAR, 2006).

As moléculas de CO₂, liberadas naturalmente ou por vias antrópicas, têm a capacidade de absorção e transmissão de radiação. Transmitem comprimentos de onda curtos para a atmosfera e absorvem comprimentos de onda longos da superfície terrestre, sendo este fenômeno uma das maiores influências das flutuações da temperatura global (TOPHAM *et al.*, 2014).

A vegetação, especialmente em ambientes florestais, tem a capacidade de captar este carbono atmosférico, incorporando-o na forma de biomassa, atuando como regulador térmico. Dessa forma, as florestas desempenham papel fundamental no sequestro de carbono da atmosfera, incorporando-o ao solo como parte da ciclagem deste elemento (FERREIRA *et al.*, 2007; ZHOU *et al.*, 2018).

A ciclagem do carbono é denominada de biogeoquímica, já que passa por estruturas vivas e não vivas da biosfera com variados graus de complexidade. Atividades humanas causadoras de impactos relevantes no ciclo do carbono, como por exemplo as que geram energia para usos industriais, podem delinear novos caminhos e rotas para os átomos de carbono na ciclagem (UCAR, 2007).

Logo, evidencia-se que a dinâmica da ciclagem do carbono é complexa, pois quaisquer modificações que possibilitem a retirada de átomos deste elemento de um dado compartimento, constata-se aumento na concentração do mesmo noutro compartimento que integre o ciclo. Como consequência direta dessa irregularidade observam-se alterações nos níveis climáticos do planeta em função do acúmulo de carbono na atmosfera (RIEBEEK, 2011).

4.2 Mercado de carbono como alternativa de preservação

A crescente industrialização mundial tem promovido o aumento na emissão de gases para a atmosfera, o que tem gerado muitos apelos sociais às grandes indústrias e órgãos

governamentais para a diminuição da emissão, de modo a manter a qualidade ambiental para gerações futuras. Dessa forma, surgiu o chamado crédito de carbono, constituindo alternativa de novo comércio, além de ser fundamental para a mitigação de mudanças climáticas (ALVES, OLIVEIRA e LOPES, 2013).

O crédito de carbono constitui uma certificação eletrônica que comprova a redução da emissão de CO₂ por parte de pessoa física ou jurídica. O responsável pela redução pode vender estes créditos a terceiros, de maneira que estes possam usufruir como uma compensação por suas atividades. É uma forma de incentivar as atividades industriais e o controle dos impactos ambientais (BORGES *et al.*, 2016). Foi desenvolvido no Protocolo de Kyoto, através dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), podendo ser negociados pelos países desenvolvidos que possuem metas estabelecidas de redução da emissão de gases do efeito estufa (EIBEL e PINHEIRO, 2015).

Uma tonelada de gás carbônico liberada na atmosfera corresponde a um crédito de carbono (GUPTA, 2011). A lucratividade varia de acordo com o projeto, ou seja, o preço do crédito flutua entre diferentes empreendimentos e diferentes formas de vender os créditos, sendo a proteção de florestas o método mais lucrativo (EKSTEIN, 2019).

Dessa forma, o mercado de carbono influencia de maneira positiva o desenvolvimento das indústrias, envolvendo crescimento econômico sustentável, fazendo com que mais florestas sejam preservadas ou, também, com que sejam criados novos povoamentos florestais com o objetivo de sequestrar carbono (GUTIERREZ, 2009).

4.3 Sequestro de carbono nas florestas e o efeito da fragmentação florestal

As florestas do mundo representam um grande reservatório de carbono, tanto na biomassa vegetal como no solo (GIBBS *et al.*, 2007). Há também os reservatórios do oceano e da atmosfera que, da mesma forma que o litosférico, recebem influência da queima dos combustíveis fósseis e dos diferentes usos e manejos do solo (PAN *et al.*, 2011). Fazendo parte das coberturas vegetais do mundo, as florestas tropicais constituem cerca de 37% dos reservatórios terrestres de carbono (MARTIN, NEWTON e BULLOCK, 2013).

Estas florestas podem emitir ou sequestrar volumes significativos de dióxido de carbono, dependendo de como são utilizadas (HOUGHTON, BYERS e NASSIKAS, 2015). Enquanto o crescimento da vegetação nas florestas promove a fixação do CO₂ atmosférico, o desmatamento e a degradação florestal conduzem à liberação adicional de CO₂ para a atmosfera, contribuindo para a intensificação do efeito estufa.

Além da capacidade de produção de biomassa e sequestro de carbono na vegetação, tem sido demonstrado que o solo pode ser um compartimento fundamental e com grande capacidade para estocar carbono em regiões tropicais (GATTO *et al.*, 2010).

A importância das florestas tropicais como compartimentos de carbono, é sua contribuição para a redução das mudanças climáticas, onde há o sequestro de carbono, pelas plantas, para a realização de suas atividades metabólicas. As próprias florestas necessitam de climas específicos para se desenvolverem, de maneira que não precisem de adaptações morfológicas e fisiológicas para sobreviver, tornando-se mais ativas no sequestro de carbono da atmosfera e promovendo reservatórios consideráveis de carbono no solo e nas estruturas vegetais (ZELAZOWSKI *et al.*, 2011).

Assim, a medida que as plantas sequestram o carbono da atmosfera e utilizam-no para a fotossíntese, depositam material orgânico com o acúmulo de serapilheira no solo, onde haverá atuação dos micro-organismos que irão mineralizar esse material e disponibilizar carbono e nutrientes para manutenção das atividades bioquímicas dos organismos vegetais, continuando a atividade cíclica e o processo de autossuficiência e autorregulação (Ó *et al.*, 2016).

Todavia, mudanças na estrutura florestal podem ocorrer, de maneira natural, a partir do desenvolvimento ou degradação de um ecossistema, ou até mesma na forma antrópica, para os diferentes tipos de uso do solo, interferindo no ciclo, ou seja, modificações alteram a dinâmica do sequestro e estoque de carbono em diferentes formações florestais (ROMÃO, 2013).

Uma alteração comum nas florestas Atlânticas é a fragmentação, que no caso do Brasil, decorreu de um processo histórico que comprometeu a biodiversidade florestal e o comportamento dos organismos, em razão do efeito de borda gerado pela modificação do ambiente (SANTOS *et al.*, 2017). De acordo com Tabarelli *et al.* (2008), a fragmentação das florestas tropicais promove a proliferação de espécies invasoras, a ruptura de populações e conexões biológicas e alterações nos serviços ecossistêmicos como a ciclagem de nutrientes e o armazenamento de carbono.

O processo de fragmentação florestal altera a reserva de carbono na vegetação e no compartimento solo, havendo a inserção de efeito de borda e modificações bióticas e abióticas, o que provoca a variação da densidade de carbono da área fragmentada (MA *et al.*, 2017). Faz-se importante compreender estas alterações para um melhor manejo destas áreas, visando a manutenção dos serviços ecossistêmicos que podem ser atribuídos no ambiente (CHAPLIN-KRAMER *et al.*, 2015).

Os ambientes com vegetação nativa possuem uma maior estabilidade no estoque de carbono e nitrogênio. Isto se deve a maior deposição de matéria orgânica no solo, o que influencia diretamente na relação C/N do ambiente, levando em consideração as entradas e saídas desses elementos do sistema solo-floresta-atmosfera (WINK, 2013). A relação C/N indica o nível de decomposição que o material orgânico pode ter, sendo influenciada pela ação de micro-organismos que conduzem à mineralização e/ou imobilização dos elementos a partir da oferta e demanda dos resíduos depositados no solo (SELLE, 2007; MORAES *et al.*, 2015).

Por isso, o manejo de formações florestais, sejam elas nativas ou plantadas, propicia grande potencial de estoque de carbono no solo, pelo fato da cobertura vegetal funcionar como sequestradora de carbono atmosférico, tornando-se ótimo reservatório de carbono (DENARDIN *et al.*, 2014).

O sequestro de carbono dessas florestas é um contrabalanço do que é emitido nas atividades humanas e na degradação de outros ambientes. Assim, a preservação e manejo adequado das florestas podem suprir parte do que é emitido na atmosfera de maneira a diminuir os impactos climáticos, tanto entre os trópicos, como no mundo (CHAZDON *et al.*, 2016).

O sequestro ocorre de maneira mais evidenciada no desenvolvimento e crescimento da floresta. Nesta fase, a captura de carbono por parte das plantas é de maior dimensão devido as florestas tropicais possuírem características de crescimento rápido em comparação com florestas de outras regiões do globo. Pode-se destacar a manutenção de carbono nessas fitofisionomias tropicais, servindo de grandes reservatórios de carbono (LOPES e MIOLA, 2010).

Assim, em fragmentos, a maior incidência luminosa e aumento de temperatura são ocasionadas pelo efeito de borda, onde se dispõe de um maior número de espécies pioneiras nas bordas e um menor número de espécies maduras. Isso que pode acarretar no decréscimo de biomassa nessas áreas, diferentemente do que ocorre no interior das florestas, onde, além de haver maior densidade de indivíduos, a biomassa tende a ser superior (SOUZA, 2011).

Então, pode-se observar uma variação entre o estoque de carbono que se encontra no interior da floresta e na borda, dependendo também do estágio de desenvolvimento dos indivíduos vegetais presentes, podendo essa interação local-desenvolvimento diferenciar os teores de carbono encontrados, trazendo à tona a importância de se conhecer o comportamento dessas florestas a respeito da interação solo-planta (COSTA, 2015).

A variação de estágios sucessionais nos ambientes florestais fragmentados promove

diferentes formas de deposição de material orgânico na superfície do solo, o que colabora com a diminuição de carbono estocado nas áreas com pouco acúmulo deste material (COSTA, SILVA e RIBEIRO, 2013). Estas disparidades são mais evidenciadas em distâncias borda-interior elevadas, fazendo com que tanto a vegetação como o solo apresentem mudanças no estoque em diferentes posições nos fragmentos (RIGUEIRA *et al.*, 2012).

4.4 O estoque de carbono: sistema solo-planta

No solo, a dinâmica do carbono sofre influência da atividade microbiana e da disponibilidade de outros elementos (nitrogênio, fósforo e enxofre), associados aos processos de decomposição do material orgânico provenientes da fauna e flora, da imobilização desse carbono a partir de micro-organismos ou, até mesmo, da mineralização das moléculas que contém carbono provindas de materiais orgânicos, a partir de micro-organismos, dependendo das relações C/N, C/S e C/P (BRÖRING, 2013).

Em termos de estoque de carbono, os solos representam as maiores reservas nos ecossistemas terrestres do planeta e, enquanto a quantificação em grande escala de biomassa acima do solo em florestas tropicais tem aumentado recentemente, a dinâmica de carbono do solo continua a ser uma das maiores fontes de incerteza (CUSACK *et al.*, 2018).

A fixação de carbono é um serviço ecossistêmico que cumpre funções importantes para o bem-estar humano, com base no processo de transformação de carbono atmosférico para carbono orgânico armazenado nos sistemas vegetais (folhas, caules e raízes) e no solo (CANO e VILLANUEVA, 2013).

Todavia, o reservatório pode sofrer variações de acordo com diferentes climas e regiões, não havendo existência de padrões em termos de estoque para a floresta e o solo, todavia, normalmente o estoque do solo é maior que o da vegetação, incluindo a necromassa. Entretanto, formas de manejo diferentes induzem estoques variados, podendo uma área alcançar um maior nível de armazenamento de carbono se bem manejada (HARRISON *et al.*, 1995; D'AMORE e KANE, 2016).

A deposição e manutenção da necromassa vegetal (serapilheira) consiste numa estrutura funcional para ecossistemas florestais, que representa importante compartimento de carbono, contribuindo para a modificação da ciclagem de carbono em florestas (ZANINOVICH, FONTANA e GATTI, 2016). Compreende a camada superficial composta por restos vegetais que se acomoda acima do solo, constituindo o material orgânico

proveniente da cobertura vegetal florestal, composta por vários grupos sucessionais (SCORIZA *et al.*, 2012).

A captura do carbono pode ser influenciada pelos diferentes níveis e grupos ecológicos e biológicos de uma floresta, associados também ao solo (SEDJO e SOHNGEN, 2012). Além da biodiversidade ser fator importante para um incremento no estoque de carbono, deve-se também levar em consideração outros componentes do solo, associados à microrganismos, como concentração de nitrogênio e pH do solo, que podem afetar negativamente o compartimento de carbono do sistema (CHEN *et al.*, 2018).

Além dos serviços ambientais de redução das mudanças climáticas a partir do sequestro de carbono, a matéria orgânica e o estoque de carbono das florestas também atuam na qualidade do solo, funcionando como indicadores de sítio, onde se obtém benefícios com o condicionamento físico do solo, a estimulação da atividade microbiana, o controle térmico e retenção de água, o que pode amortecer os efeitos da fragmentação florestal (COSTA, SILVA e RIBEIRO, 2013; SHEN *et al.*, 2019).

5 Material e Métodos

5.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Sirinhaém (Figura 1), em Pernambuco, em área fragmentada do Domínio Floresta Atlântica, na Zona da Mata Sul (Engenho Jaguaré/Usina Trapiche S/A), conhecido como Fragmento Coelhas ($8^{\circ}33'08''S$, $35^{\circ}08'50''O$, 109 m), com área aproximada de 45 hectares (Figuras 2 e 3).

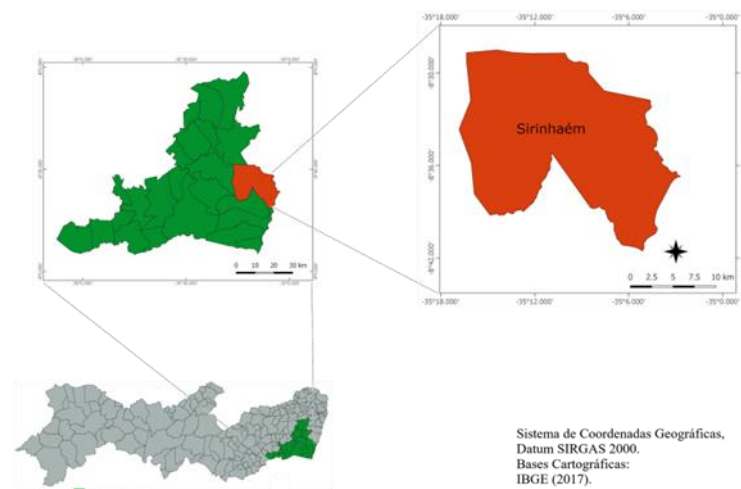


Figura 01 – Localização do município de Sirinhaém, Pernambuco. Fonte: QGIS 3.4.13 (2019).



Figura 02 – Demarcação do fragmento Coelhas, na Usina Trapiche. Fonte: Google Earth (2019).



Figura 03 – Croqui do fragmento Coelhas, na Usina Trapiche. Fonte: Google Earth (2019).

Em relação aos atributos abióticos da área estudada, o fragmento constitui formação florestal do tipo Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (IBGE, 2012). O clima é do tipo Am, segundo classificação de Köppen, onde a temperatura varia entre 24 e 26°C, e a precipitação média anual entre 1300 e 1600 mm, apresentando altitude próxima de 100 metros (ALVARES *et al.*, 2013). Os solos que predominam na região são do tipo Latossolos, Argissolos, Planossolos, Cambissolos, Gleissolos e Vertissolos (SILVA *et al.*, 2001).

5.2 Coleta e preparo de solo

O estudo foi desenvolvido em ambientes de borda (transição entre plantio de cana-de-açúcar e mata) e interior, cerca de 100 m mata adentro, conforme Barros e Fearnside (2016), do fragmento. Os dados foram obtidos em 10 parcelas instaladas em cada ambiente (borda e interior) de 25 x 10 m, totalizando uma área de 250 m²/parcela.

O solo foi coletado em 20 unidades amostrais (10 no interior e 10 na borda da floresta). Foram coletadas oito amostras simples para formação de uma amostra composta por profundidade de solo (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Estas amostras com estrutura deformada foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) para as análises químicas e físicas de caracterização do solo (EMBRAPA, 2009).

Foram também coletadas amostras com estrutura preservada, em anel volumétrico, em cada uma das profundidades por unidade amostral para a determinação da densidade do

solo pelo método do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017), cuja caracterização está disposta na Tabela 1.

A densidade é uma propriedade que interage diretamente com a matéria orgânica do solo, promovendo a formação e estabilização de agregados no solo, obtidos por toda sua dinamicidade no processo de estruturação do solo (REICHERT, REINERT e BRAIDA, 2003; STEFANOSKI, 2013). A partir desta relação, os dados de densidade foram utilizados para a estimativa do estoque de carbono em cada profundidade do solo.

Tabela 1. Valores de densidade do solo nas parcelas utilizadas para caracterização do fragmento de Mata Atlântica em área da Usina Trapiche (Sirinhaém – Pernambuco)

Borda			Interior		
Amostra	Profundidade cm	Densidade g cm ⁻³	Amostra	Profundidade	Densidade g cm ⁻³
P10*	0-10	1,36	P11*	0-10	1,34
	10-20	1,16		10-20	1,28
	20-40	1,53		20-40	1,55
P13*	0-10	1,43	P12*	0-10	1,32
	10-20	1,19		10-20	1,28
	20-40	1,40		20-40	1,60
P14*	0-10	1,43	P25*	0-10	1,28
	10-20	1,48		10-20	1,31
	20-40	1,67		20-40	1,54
P15*	0-10	1,27	P26*	0-10	1,21
	10-20	1,52		10-20	1,47
	20-40	1,32		20-40	1,56
P16*	0-10	1,57	P28*	0-10	1,31
	10-20	1,41		10-20	1,35
	20-40	1,54		20-40	1,57
P27*	0-10	1,29	P29*	0-10	1,42
	10-20	1,26		10-20	1,36
	20-40	1,44		20-40	1,71
P31*	0-10	1,31	P30*	0-10	1,27
	10-20	1,27		10-20	1,50
	20-40	1,57		20-40	1,61
P32*	0-10	1,40	P36*	0-10	1,31
	10-20	1,41		10-20	1,15
	20-40	1,62		20-40	1,65
P33*	0-10	1,43	P37*	0-10	1,73
	10-20	1,24		10-20	1,73
	20-40	1,53		20-40	1,42
P34*	0-10	1,38	P38*	0-10	1,35
	10-20	1,50		10-20	1,33
	20-40	1,64		20-40	1,54

* Parcelas onde foi realizada amostragem do solo e serrapilheira.

5.3 Análises de carbono orgânico total (C.O.T) e estoque de carbono

As análises foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, utilizando-se de reagentes e equipamentos disponíveis neste laboratório.

Para a determinação do carbono orgânico total (C.O.T), foi utilizado o método de oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e aquecimento externo. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) (EMBRAPA, 2011).

As concentrações de carbono foram convertidas em estoque de carbono para cada intervalo de solo coletado, pela fórmula (GATTO, 2005):

$$\text{Estoque-C (Mg ha}^{-1}\text{)} = (\text{COT.Ds.h}) / 10$$

Em que: COT é o teor de carbono orgânico das amostras de solo (g kg^{-1}), Ds é a densidade do solo (kg dm^{-3}), e h é a espessura da camada de solo coletada (cm). O estoque de C até 40 cm de profundidade será totalizado pela soma dos valores estocados em todas as camadas avaliadas.

Os teores de carbono orgânico lábil (C.O.L), foram determinados em agregados triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm, sendo o carbono quantificado por oxidação com KMnO_4 33,0 mmol L^{-1} (SHANG e TIESSSEN, 1997) e 15,6 mmol L^{-1} .

5.4 Avaliação da biomassa arbórea aérea e serapilheira

A biomassa acima do solo foi estimada por meio de equação alométrica com base em diâmetro, densidade da madeira e altura, desenvolvida por Chave *et al.* (2005), ajustada para florestas úmidas pantropicais e com boa reprodutibilidade para a Floresta Atlântica:

$$\text{BAS} = 0,0509 \times pD^2 \times H$$

Onde:

BAS = Biomassa acima do solo das árvores (Mg)

p = peso específico da madeira (g cm^{-3})

D = diâmetro da árvore medido à altura do peito (cm)

H = altura das árvores (m)

Os valores de peso específico da madeira de espécies arbóreas do fragmento florestal

foram obtidos de acordo com Zanne *et al.* (2009), e os valores do diâmetro à altura do peito e da altura das árvores foram obtidos através de estudos fitossociológicos anteriores, conforme Lima *et al.* (2019). Valores das cinco espécies mais representativas podem ser encontrados na abaixo.

Tabela 2. Valores médios dos dados fitossociológicos das espécies mais representativas do fragmento de Mata Atlântica, em Sirinhaém, Pernambuco

Espécie	Família	Dados Fitossociológicos				
		Nº indivíduos	Altura	Dens. Madeira	CAP	DAP
<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	Lecythidaceae	51	7,04	0,90	30,48	9,70
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae	134	8,90	0,62	43,60	13,88
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Anacardiaceae	246	8,17	0,63	33,98	10,82
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Moraceae	55	6,62	0,84	29,15	9,28
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	39	5,97	0,82	23,24	7,40

A estimativa de estoque de carbono na floresta foi realizada utilizando o resultado encontrado na equação multiplicado pelo fator 0,48, valor comumente utilizado pelos autores que trabalham com biomassa e carbono, considerando que o carbono representa cerca de 50% da matéria vegetal, conforme Blanc *et al.* (2009).

Para estimar a biomassa de serapilheira de borda e interior, foi coletada uma amostra de serapilheira por parcela, numa área de 0,25 m² (SANTOS-NETO, 2015). A partir de método gravimétrico, foi determinada a biomassa da serapilheira em Mg ha⁻¹, conforme Soares, Paula Neto & Souza (2012), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{EstCserapilheira} = [((\text{Pu} - \text{Ps})/\text{Pu})/1000] \times (10000/\text{A})$$

Onde:

EstCserapilheira = estoque de biomassa da serapilheira;

Pu = peso de matéria úmida, em kg;

Ps = peso de matéria seca da amostra, em kg;

A = área do gabarito (0,25 m²).

5.5 Análise Estatística

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise da variância (teste F) e teste de Tukey para comparação de médias em função das posições: interior e borda, e também das profundidades de solo avaliadas, a 5% de probabilidade, utilizando-se os softwares Sisvar e SAS, onde passaram por teste de normalidade e homocedasticidade para o tratamento dos dados.

6 Resultados e Discussão

6.1 Carbono orgânico do solo no fragmento florestal

Para o carbono orgânico do fragmento, houve diferença significativa em função da posição no terreno, seja de borda ou interior, e também em profundidade, onde os teores superiores são encontrados na primeira camada avaliada, como se pode observar na Tabela 3.

Tabela 3. Teores médios de carbono orgânico total em função da posição de borda ou interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas

Profundidade (cm)	Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	
	Borda	Interior
0 – 10	79,67 Aa	71,82 Ba
10 – 20	55,99 Ab	50,51 Bb
20 – 40	36,70 Ac	31,57 Bc
CV (%)	12,98	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Devido ao acúmulo de matéria orgânica proveniente da cobertura florestal, as camadas que recebem maior aporte desse material orgânico são as superficiais. Isso justifica o fato de o teor de carbono orgânico total variar, diminuindo de acordo com a profundidade (LOCATELLI *et al.*, 2011; OZÓRIO *et al.*, 2019).

Além da variação em profundidade, as propriedades físicas do solo e a micro e macrofauna edáfica atribuem modificações pela matéria orgânica, maior reservatório de carbono no solo. Isso também é verificado nas concentrações de carbono orgânico presente no solo, que podem reduzir ou aumentar com a presença de alguns organismos (VICENTE *et al.*, 2019; HUANG, GONZÁLEZ e ZOU, 2020).

Ozório *et al.* (2019) postulam que maiores teores de carbono orgânico são encontrados no interior de fragmentos da Mata Atlântica. Em seu trabalho, a diferença é evidenciada, principalmente, na primeira camada de solo avaliada (0 – 5 cm), onde a borda apresentou valores de 34,07 g kg⁻¹ para o Fragmento 1 e 43,32 g kg⁻¹ para o Fragmento 2, praticamente dobrando em situação de interior, sendo 63,20 g kg⁻¹ (Fragmento 1) e 60,91 g

kg⁻¹ (Fragmento 2).

Já no trabalho de Santos, Barreto-Garcia e Gama-Rodrigues (2019), demonstraram que não houve diferença de teores de carbono orgânico em fragmentos de Floresta Atlântica com diferentes tamanhos, onde as bordas tiveram valores de 38,6, 21,3 e 42,9 g kg⁻¹, e os interiores 38,9, 31,8 e 51,8 g kg⁻¹, respectivamente, do menor para o maior fragmento, tendo o fragmento mediano tamanho similar ao deste estudo.

Normalmente, em fragmentos florestais pode ocorrer algum efeito de borda, como a própria incidência luminosa e a mudança de temperatura no solo, acelerando o processo de decomposição da matéria orgânica (RUTHNER e SEVEGNANI, 2010). Fatores como tamanho e isolamento, influenciam a presença ou não de efeito de borda em fragmentos florestais, havendo maior possibilidade de alterações em fragmentos com grandes áreas (METZGER, 2001; Santos, Barreto-Garcia e Gama-Rodrigues, 2019).

A perda de carbono é muito comum em povoamentos florestais fragmentados, principalmente nativos, sendo atuantes nas mudanças climáticas do planeta (PÜTZ *et al.*, 2014). É possível que a fragmentação na área ainda não tenha promovido efeito de borda, entretanto, é possível que práticas de manejo auxiliem na situação da borda apresentar mais carbono orgânico que o interior do fragmento (BATIONO *et al.*, 2007), conturbando-o o mínimo possível.

6.2 Carbono lábil do solo no fragmento florestal

O carbono lábil do fragmento não diferiu estatisticamente entre as duas posições, interior e borda, porém, ocorreu diferença em relação a profundidade (Tabela 4). Como não houve diferença significativa nos teores de carbono lábil entre as situações de borda e interior do fragmento florestal, na primeira camada do solo, destaca-se a possibilidade de a fragmentação ser insuficiente para alterar o carbono lábil da floresta estudada.

Tabela 4. Teores médios de carbono lábil em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas

Profundidade (cm)	Carbono Lábil (g kg ⁻¹)	
	Borda	Interior
0 – 10	5,67 a	4,81 a
10 – 20	3,80 b	3,55 b

20 – 40	3,47 b	3,07 b
CV (%)		27,44

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente na vertical pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para este fragmento, pode-se observar que a fração lábil diminuiu com a profundidade, sendo as primeiras camadas mais acumuladoras, afinal, é onde há maior deposição de matéria orgânica. Este carbono corresponde a compostos de maior labilidade encontrados nos compartimentos do carbono orgânico total do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O carbono mantém-se íntegro quando está protegido nos microagregados do solo, mostrando estabilidade quando o acúmulo de matéria orgânica é mantido (SHANG & TIESEN, 1997). Todavia, a parte lábil do carbono orgânico do solo é mais suscetível à fragmentação de florestas, às práticas de manejo do solo, e também à mudança de comportamento da microbiota decompositora neste processo de fragmentação, sendo o carbono mais facilmente perdido (SOUZA, FIGUEIREDO e SOUSA, 2016; ALLEN *et al.*, 2017).

A própria biodiversidade de espécies vegetais num fragmento nativo pode auxiliar neste processo de manutenção do carbono lábil no solo (LEWIS *et al.*, 2011). Práticas de manejo florestal também são interessantes para reter este carbono lábil no solo, como a restauração das bordas, sendo mais acumulado do que liberado, o que auxilia nos serviços ambientais da floresta (GULDE *et al.*, 2008).

6.3 Estoque de carbono no solo e na vegetação

Os teores de C.O.T avaliados foram transformados para estoque de carbono por área nas três profundidades de solo avaliadas (Tabela 5). Houve diferença significativa nos valores de estoque de carbono do solo entre as situações de borda e interior, onde o estoque é superior na posição de interior. Isto pode demonstrar que a alteração ocasionada pela fragmentação, provoca a perda de carbono nas áreas de borda do fragmento, possivelmente, atribuindo instabilidade ao estoque.

Tabela 5. Valores médios de estoque de carbono estimados pela equação de Gatto (2005), em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica nas três camadas de solo avaliadas

	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)	
	Borda	Interior
Média	258,56 b	295,59 a
CV (%)	11,75	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente na vertical pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

São muitos os fatores que afetam o sequestro e estocagem de carbono no solo, como a atuação da micro e macrobiota na decomposição e mineralização deste carbono, alterando os teores, principalmente de carbono lábil presentes no estoque. Além disso, a vegetação encontrada em determinada área, se provida de maior biodiversidade, possibilita maior fluxo e armazenamento de carbono no sistema solo-planta (CHAPIN III et al., 2009).

Paula, Costa e Tabarelli (2011) colocaram que o estoque de carbono é mais expressivo no interior de fragmentos, onde pode-se alcançar valores muito superiores, devido principalmente ao grande número de diferentes grupos ecológicos, tendo superioridade de espécies dominantes e emergentes, que promovem maior deposição de matéria orgânica no solo, representando maior possibilidade de um estoque superior no solo, em relação a áreas sem estes grupos, o que foi verificado no fragmento Coelhas.

Desta forma, atribui-se também que os sistemas radiculares destas espécies superiores influenciam o armazenamento de carbono do solo, pois também funcionam como reservatório de carbono, sendo um dos possíveis fatores responsáveis pelo estoque de carbono do solo superior no interior do fragmento estudado (WINK, REINERT e MINELLA, 2019).

Destaca-se que a manutenção da cobertura vegetal é de extrema importância para a ciclagem de nutrientes e estocagem de carbono em florestas, e um maior incremento de matéria orgânica é ocasionado nas camadas superficiais, ou seja, a vegetação influencia diretamente o estoque de carbono na borda ou no interior do fragmento (GUIMARÃES *et al.*, 2012).

Há estudos como o de Doetterl *et al.* (2015) mostrando que, apesar da similaridade de vegetação, solo e condições climáticas de determinada área, até a altura da vegetação pode causar diferenças no estoque de carbono. Os autores destacam que árvores mais altas promovem uma maior deposição de carbono na superfície edáfica, onde o carbono será alocado.

Outro fator florestal que influencia na estocagem de carbono é a fauna microbiana,

mudanças em seu comportamento, ocasionadas por alterações edáficas da área podem influenciar no processo de decomposição do material depositado no solo, modificando o acúmulo de carbono no mesmo (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

Percebe-se a complexidade do ambiente florestal. Desta forma, a avaliação da biomassa aérea do fragmento, bem como o estoque de carbono desta vegetação, é interessante, a fim de relacionar o sistema solo-floresta, para o melhor entendimento da dinâmica do carbono na área.

O estoque de biomassa aérea também apresentou diferença significativa entre as posições de borda e interior. A média da biomassa aérea das parcelas de borda foi de 129,90 Mg ha⁻¹, superior a posição de interior da mata, cujo a média foi de 103,54 Mg ha⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de biomassa aérea vegetal estimada com a equação de Chave *et al.* (2005), em função da posição de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco

Biomassa (Mg ha⁻¹)		
	Borda	Interior
Média	129,90 a	103,54 b
CV (%)		20,21

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente na horizontal pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Possivelmente, a borda sofre algum efeito da fragmentação, o que promove maior desenvolvimento de espécies pioneiras e de rápido crescimento nessa posição em relação ao interior do fragmento estudado (RIGUEIRA *et al.*, 2012).

Os valores médios de biomassa viva acima do solo das estruturas arbóreas foram um pouco inferiores aos evidenciados por Broggio (2018), onde a BAS média foi de 168,07 ± 25,50 Mg ha⁻¹. Todavia, são valores semelhantes aos encontrados por Reis (2019), que em estudo de biomassa em Floresta Ombrófila, identificou uma biomassa aérea para interior de um fragmento de 117,72 ± 6,94 Mg ha⁻¹, se considerando mesma dimensão das parcelas de estudo.

Meira *et al.* (2020) propuseram que a heterogeneidade de estruturas florestais pode fazer com que haja oscilações de biomassa em sua extensão. Entretanto, alterações mais pronunciadas nesta dinâmica podem ser evidenciadas em distâncias maiores borda-interior

(LAURANCE, 1998).

De acordo com Paula, Costa e Tabarelli (2011), o estoque de biomassa no interior da floresta é superior ao encontrado na borda, porém, isto varia com os grupos ecológicos das espécies vegetais encontradas nestes diferentes ambientes, podendo variar, inclusive, de maneira drástica. A fragmentação de florestas, normalmente afeta diretamente o acúmulo de biomassa aérea e a dinâmica de seus estoques, afetando o que é emitido e sequestrado de gases do efeito estufa (NASCIMENTO e LAURANCE, 2004).

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, observou-se alterações no efeito ocasionado pela fragmentação florestal do ambiente. A Mata Atlântica teve um processo de fragmentação histórico, aumentando o número de indivíduos dos menores fragmentos para os maiores, conseqüentemente havendo incremento na biomassa (BROGGIO, 2018). O efeito de degradação vinha sendo subestimado. Os remanescentes normalmente sofrem efeito de borda, o que modifica o acúmulo de carbono (PÜTZ *et al.*, 2014).

Em termos de estoque de carbono da biomassa acima do solo, também houve diferença significativa entre as duas posições de interior e borda. A média da borda foi de 62,35 Mg C ha⁻¹, e no interior foi de 49,70 Mg C ha⁻¹. Os dados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios de estoque de carbono na biomassa acima do solo, por parcela, nas situações de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco, estimados com o fator de Blanc *et al.* (2009)

Estoque de Carbono (Mg C ha⁻¹)		
	Borda	Interior
	Estoque C-BAS (Mg C ha⁻¹)	Estoque C-BAS (Mg C ha⁻¹)
Média	62,35 a	49,70 b
CV (%)	20,21	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente na horizontal pelo teste de Tukey

Para a situação de borda ser superior, possivelmente há um desenvolvimento secundário nesta posição, o que promove um maior estoque devido às espécies em crescimento sequestrarem mais carbono, havendo variação entre 50 – 75 Mg ha⁻¹ em ambientes com este tipo de desenvolvimento (ROBINSON *et al.*, 2015).

De acordo com Day *et al.* (2014), quanto maior a biodiversidade de um local, maior

será o aporte de carbono da floresta, o que pode justificar as médias encontradas em relação ao estoque de carbono do fragmento, por se tratar de um fragmento nativo.

A maior quantidade de carbono estocado na vegetação, em posição de borda pode ser atribuída ao efeito de borda que ocorre no fragmento. Nascimento & Laurance (2006) relatam que existe a maior probabilidade de mais biodiversidade e diferentes estágios sucessionais na vegetação mais próxima da borda da floresta.

Vale observar que o estoque de carbono para o solo ($554,15 \text{ Mg ha}^{-1}$), avaliando-se as duas posições (borda e interior) foi muito superior aos encontrados na vegetação ($112,05 \text{ Mg ha}^{-1}$). Desta forma, entende-se que mesmo em áreas fragmentadas, onde a dinâmica do carbono poderia vir a ser alterada, o compartimento solo estoca mais carbono que a vegetação.

6.4 Carbono da serapilheira depositada na superfície do solo

Seguindo a dinâmica das outras variáveis apresentadas, o carbono da serapilheira também apresentou diferença significativa entre a situação de borda e interior do fragmento florestal. O solo no interior da floresta teve estoque médio de carbono da serapilheira de $3,67 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto que na borda foi de $2,28 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 8). Esses resultados demonstram que a presença de espécies dominantes no interior, promove maior deposição de serapilheira no solo, conseqüentemente, maior estoque de carbono no solo do interior.

Tabela 8. Valores médios de estoque de carbono na biomassa de serapilheira nas situações de borda e interior do fragmento de Mata Atlântica em Sirinhaém, Pernambuco

Carbono Serapilheira (Mg ha^{-1})		
	Borda	Interior
	Estoque (Mg ha^{-1})	Estoque (Mg ha^{-1})
Média	2,28 b	3,67 a
CV (%)		37,55

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente na horizontal pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios de carbono na serapilheira foram parecidas aos encontrados por Barbosa *et al.* (2017), que avaliaram o carbono na serapilheira de fragmento nativo de Floresta Atlântica, alcançando $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de estoque de carbono. Por sua vez, foram

superiores ao que foi observado por Santos Neto *et al.* (2015), que alcançaram uma média de 1,79 Mg ha⁻¹ em área de mata.

Banoho *et al.* (2020) encontraram valores superiores em Floresta Atlântica em Camarões, na África, atingindo entre 8,4 e 11,19 Mg ha⁻¹. Isto deveu-se à densidade da cobertura vegetal na área onde o estudo foi realizado, apresentando espécies de diferentes sucessões ecológicas, porém, com superioridade das dominantes. Saner *et al.* (2012) encontraram valores que chegavam a 13,2 ± 3,5 Mg ha⁻¹, atrelados à densidade e diversidade de espécies florestais.

A serapilheira constitui reservatório de carbono, cuja fragmentação e mineralização pelos micro-organismos e outros organismos participantes da fauna edáfica, promove a deposição e agregação deste carbono no compartimento solo (RUTHNER & SEVEGNANI, 2010).

A serapilheira e o solo atuam de forma complementar, onde um influencia o outro, de maneira que a biodiversidade e dominância de algumas espécies vegetais na área fragmentada resulta no incremento de necromassa e sua decomposição (CAPELLESSO *et al.*, 2016). A serapilheira acima do solo geralmente apresenta quantidades mais altas em áreas com vegetação mais desenvolvida (SCHEER *et al.*, 2009)..

7 Considerações Finais

Os resultados encontrados indicam que há efeito de borda no fragmento, afetando o serviço ecossistêmico de captura e estoque de carbono, onde se pode observar diferença no estoque nas diferentes posições estudadas, onde o solo apresenta maior estoca no interior, todavia, a vegetação apresenta maior estoque na borda.

Assim, as variáveis do solo relacionadas ao carbono apresentaram diferenças significativas para as posições avaliadas, o que constrói um cenário de alterações relacionadas ao processo de fragmentação do ambiente florestal. Logo, a distância de 100 metros borda-interior já evidencia modificações na estrutura e no estoque de carbono do fragmento.

Apesar da situação de fragmentação, observa-se que o compartimento solo consegue estocar mais carbono que a vegetação, isso mostra que a perturbação encontrada no local não é suficiente para alterar a dinâmica do carbono no sistema solo-floresta, mostrando estabilidade nos reservatórios.

A biodiversidade do fragmento nativo desempenha papel fundamental na manutenção da serapilheira local, fazendo o estoque de carbono da necromassa ser superior no interior do fragmento.

Faz-se importante o melhor entendimento da dinâmica destes ambientes fragmentados, para melhor manejá-los e conservá-los, de maneira que estes desempenhem seus papéis ambientais e serviços ecossistêmicos, promovendo qualidade ambiental para o planeta, e demonstrando a importância de se preservar estas áreas.

8 Referências Bibliográficas

- ABREU, M. C. S.; ALBUQUERQUE, A. M. e FREITAS, A. R. P. **Posicionamento estratégico em respostas às restrições regulatórias de emissões de gases do efeito estufa.** Revista Administração, São Paulo, v. 49, n. 3, p. 578-590, 2014.
- ALLEN, K. *et al.* **Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes?** Environmental Research Letters, v. 12, n. 2, 2017.
- ALVARES, C. A. *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, R. S.; OLIVEIRA, L. A. e LOPES, P. L. **Crédito de carbono: o mercado de crédito de carbono no Brasil.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro, 13 p. 2013.
- BANOHO, L. P. R. K. *et al.* **Biodiversity and carbon sequestration potential in two types of Tropical Rainforest, Cameroon.** Acta Oecologia, v. 105, 2020.
- BARBOSA, V. *et al.* **Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativas.** Floresta e Ambiente [online], v. 24, 2017.
- BARROS, H. S. e FEARNSIDE, P. M. **Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments.** Forest Ecology and Management, v. 379, p. 30-36, 2016.
- BATIONO, A. *et al.* **Soil carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems.** Agricultural Systems, v. 94, n. 1, p. 13-25, 2007.
- BLANC, L. *et al.* **Carbon stocks dynamics of aboveground in a selectively logged tropical forest.** Ecological Applications, v. 19, p. 1397-1404, 2009.
- BLANK, D. M. P. **O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas.** Mercator, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.
- BORGES, L. F. R. *et al.* **Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem.** Cerne, Lavras, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.
- BORGES, M. S.; BORGES, K. C. A. S. e SOUZA, S. C. A. **Considerações sobre as linhas de crédito de carbono no Brasil.** Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 6, n. 2, p. 137-155, 2016.
- BRINCK, K. *et al.* **High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle.** Nature Communications, v. 8, n. 14855, 2017.
- BROGGIO, I. S. **Dinâmica da biomassa arbórea em fragmentos de Floresta Estacional**

- no norte Fluminense, RJ.** Dissertação, UENF, Campos dos Goytacazes, 90 f. 2018.
- BRÖRING, J. M. Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no Oeste e Planalto de Santa Catarina.** Dissertação, UDESC, Lages, 99 f., 2013.
- CAMPOS, C. P. A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto.** Tese, UFRJ, Rio de Janeiro, 169 p., 2001.
- CANO, R. M. Y. e VILLANUEVA, M. C. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos.** Scientia Agropecuaria, Trujillo, v. 4, p. 313-319, 2013.
- CAPELLESSO, E. S. et al. Effects of forest structure on litter production, soil chemical composition and litter-soil interactions.** Acta Botanica Brasilica, v. 30, n. 3, p. 329-335, 2016.
- CARDOSO, E. J. B. N. e ANDREOTE, F. D. Microbiologia do Solo.** Piracicaba, 2ª ed., 221 p., 2016.
- CHAPIN III, F. S.; et al. The changing global carbon cycle: linking plant-soil carbon dynamics to global consequences.** Journal of Ecology, v. 97, n. 5, 2009.
- CHAPLIN-KRAMER, R. et al. Degradation in carbon stocks near tropical forest edges.** Nature Communications, v. 6, n. 10158, 2015.
- CHAVE, J. et al. Tree Allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests.** Oecologia, v.145, pp. 87-99, 2005.
- CHAZDON, R. L. et al. Carbon sequestration potencial of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics.** Science Advances, v. 2, n. 5, 2016.
- CHEN, S. et al. Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 115, n. 16, p. 4027-2032, 2018.
- CONTI, J. Considerações sobre as mudanças climáticas globais.** Revista Do Departamento De Geografia, v. 16, p. 70-75, 2011.
- COSTA, E. M.; SILVA, H. F. e RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842, 2013.
- COSTA, K. M. O estoque de carbono na vegetação e no solo em fragmentos florestais de paisagens tropicais.** Dissertação, USP, São Paulo 66 p., 2015.
- CUSACK, et al. Soil carbon stocks across tropical forests of Panama regulated by base cation effects on fine roots.** Biogeochemistry, v. 137, p. 253-266, 2018.
- D'AMORE, D.; KANE, E. Forest soil carbon and climate change.** U. S. Department of

- Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource, 2016.
- DAY, M. *et al.* **Relationships between tree species diversity and above-ground biomass in Central African rainforests: implications of REDD.** Cambridge University Press [online], v. 41, n. 1, p. 64-72, 2014.
- DE PAULA, M. D. **Papel da biodiversidade na retenção de carbono em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica nordestina.** Dissertação, UFPE, 72 f., 2009.
- DENARDIN, R. B. N. *et al.* **Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó-SC.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-69, 2014.
- DOETTERL, S. *et al.* **Aboveground vs. belowground carbon stocks in African Tropical Lowland Forest: drivers and implications.** PLoS ONE [online], v. 10 (11), 2015.
- EIBEL, E. e PINHEIRO, R. B. M. **Crédito de carbono.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 588-601, 2015.
- EKSTEIN, N. **Carbon credits won't be travel's saving grace.** Bloomberg, 2019. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-11-18/how-carbon-credits-work-why-flight-offsets-won-t-redeem-travel>. Acesso em: 01/03/2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2 ed, Brasília: Embrapa Solos, 627 p., 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p., 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos.** 3 ed, Brasília: Embrapa Solos, 573 p., 2017.
- EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO QGIS, 2019. **Sistema de Informação Geográfica QGIS.** Fundação Geoespacial de Código Aberto. URL: <http://qgis.org/>.
- FERREIRA *et al.* **Solos e vegetação nativa remanescente no Município de Campinas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1319-1327, 2007.
- GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais.** Tese, UFV, 2005.
- GATTO, H. *et al.* **Estoque de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, p. 1069-1079, 2010.
- GIBBS, H. K. *et al.* **Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality.** Environmental Research Letters, Bristol, v. 2, p. 01-13, 2007.
- GOOGLE EARTH – MAPAS, Sirinhaém, 2019. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

- GUIMARÃES D. V. *et al.* **Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe.** Scientia Plena, v. 8, n. 4, 2012.
- GULDE, S. *et al.* **Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pools dynamics.** Soil Science Society of America Journal, v. 72, n. 3, 2008.
- GUPTA, Y. **Carbon credit: a step towards green environment.** Global Journal of Management and Business Research, v. 11, n. 5, 2011.
- GUTIERREZ, M. B. **O Brasil e o mercado de carbono.** Ipea: regional, urbano e ambiental, 14p., 2009.
- HALL, D. O. *et al.* **Response of temperature and tropical grasslands to CO₂ and climate change.** Journal of biogeography, v. 22, p. 537-547, 1995.
- HARRISON, A. F. *et al.* **Carbon storage in forest soils.** Forestry: An International Journal of Forest Research, v. 68, n. 4, p. 335-348, 1995.
- HOUGHTON, R. A.; BYERS B. e NASSIKAS, A. A. **A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO₂.** Nature Climate Change, London, v. 5, n.12, p. 1022-1023, 2015.
- HUANG, W.; GONZÁLEZ, G. e ZOU, X. **Earthworm abundance and functional group diversity regulate plant litter decay and soil organic carbon level: a global meta-analysis.** Applied Soil Ecology, v. 150, n. 103473, 2020.
- IBÁ. **Relatório IBÁ: mudanças climáticas.** Instituto Brasileiro de Árvores, 2017.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: CDDI/IBGE, 2012. 271 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1). Disponível em: . Acesso em: 02 de março 2021.
- IPCC. **Climate change 2007: mitigation of climate change.** Cambridge University Press, 2007.
- ISLAM, M.; DEB, G. P. e RAHMAN, M. **Forest fragmentation reduced carbon storage in a moist tropical forest in Bangladesh: implications for policy development.** Land Use Policy, v. 65, p. 15-25, 2017.
- JACOBI, P. R. *et al.* **Mudanças climáticas globais: a resposta da educação.** Revista Brasileira Educação [online], v. 16, n. 46, p. 135-148, 2011.
- LAURANCE, W. F. Rainforest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 21-24, 1998.
- LAURENCE, W. F. *et al.* **Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees.** Ecology, v. 87, n. 2, 2006.

- LEWIS, D. B. *et al.* **Labile carbon and other soil quality indicators in two tillage systems during transition to organic agriculture.** *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 26, n. 4, p. 342-353, 2011.
- LIMA, R. B. A. *et al.* **Structure and diversity in Ombrophilous Forest in the Zona da Mata of Pernambuco.** *Floresta e Ambiente*, v. 26 (2), 2019.
- LOCATELLI, M. *et al.* **Matéria orgânica, densidade e porosidade do solo submetido à trituração de capoeira em Porto Velho, Rondônia.** XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, 2011.
- LOPES, R. B. e MIOLA, D. T. B. **Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado.** *Synthesis Revista Digital FAPAM, Pará de Minas*, v. 2, n. 2, p. 127-143, 2010.
- MA, L. *et al.* **Ecosystem carbon storage in forest fragments of differing patch size.** *Scientific Reports*, v. 7, n. 13173, 2017.
- MARTIN, P. A.; NEWTON, A. C. e BULLOCK, M. **Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests.** *Proceedings of the Royal Society B*, v. 280, 2013.
- MEIRA, A. C. S. *et al.* **Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto.** *BIOFIX Scientific Journal*, v. 5, n. 1, p. 130-134, 2020.
- METZGER, J. P. **O que é ecologia de paisagens?** *Biota Neotropica, Campinas*, v. 1, n. 1-2, 2001.
- MORAES, A. R. A. *et al.* **Teores de carbono, nitrogênio e relação C/N em solos cultivados com soja em sistema de plantio direto e convencional em Paragominas, Pará.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, 2015.
- NASCIMENTO, H. E. M. e LAURANCE, W. F. **Biomass dynamics in Amazonian forest fragments.** *Ecological Applications*, v. 14, 2004.
- NASCIMENTO, H. E. M. e LAURANCE, W. F. **Efeito de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento.** *Acta Amazonica*, v. 36 (2), p. 183-192, 2006.
- OLIVEIRA, T. P. *et al.* **Carbono lábil e frações oxidáveis de carbono em solos cultivados sob diferentes formas de uso e manejo.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 8, n. 4, 2018.
- OZÓRIO, J. M. B. *et al.* **Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado.** *Revista Brasileira de Ciências Ambientais [online]*, v.53, p. 97-116, 2019.

- Ó, P. C. A. *et al.* **Carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada em fragmentos de Caatinga na Paraíba.** I Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2016.
- PACHECO, M. R. P. dos S. e HELENE, M. E. M. **Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂.** Estudos avançados, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 204-220, 1990.
- PAINES, P. A.; CAUDURO, C. R. e POSSAMAI, O. **Avaliação preliminar da concentração de CO₂ em função da temperatura do ar, umidade e radiação solar em Santa Maria/RS.** Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 4, n. 5, p. 214-231, 2019.
- PAIVA, W. S. **Sequestro de carbono em um remanescente de Floresta Densa na Amazônia brasileira.** Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Parauapebas, 31 p., 2018.
- PAN, Y. *et al.* **A large and persistent carbon sink in the world's forests.** Science, v. 333, p. 988-993, 2011.
- PAULA, M. D.; COSTA, C. P. A. e TABARELLI, M. **Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic Forest: the role played by edge-effect habitats and emergent trees.** Tropical Conservation Science, v. 4 (3), p. 340-349, 2011.
- PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W. e LISBOA, H. M. **Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina.** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 24, p. e00110314, 2017.
- PÜTZ, S. *et al.* **Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests.** Nature Communications [online], v. 5, 2014.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. e BRAIDA, J. A. **Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** Revista Ciência Ambiental, 27:29-48, 2003.
- REIS, B. N. **Efeito de borda sobre a dinâmica da biomassa arbórea em fragmento de floresta ombrófila na Mata Atlântica.** Dissertação, UENF, Campos dos Goytacazes, 117 f., 2019.
- RIBEIRO, S. C. *et al.* **Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais.** Revista Árvore, v. 33, n. 5, p. 917-926, 2009.
- RIEBEEK, H. **The Carbon Cycle.** NASA Earth Observatory, 2011. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>. Acesso em: 28 out. 2019.
- RIGUEIRA *et al.* **Influência da distância da borda e do adensamento foliar sobre a abundância de plantas pioneiras em um fragmento de floresta tropical submontana na Estação Ecológica de Wenceslau Guimarães (Bahia, Brasil).** Acta Botanica Brasílica, v. 26, n. 1, 2012.

- ROBINSON *et al.* **Factors influencing early secondary succession and ecosystem carbon stocks in Brazilian Atlantic Forest.** *Biodiversity and Conservation*, v. 24, p. 2273-2291, 2015.
- ROMÃO, R. L. **Carbono orgânico em função do uso do solo.** Dissertação, UNESP, Jaboticabal, 36 f., 2013.
- RUSCHEL, R. S. e DEMANBORO, A. C. **Serviços ecossistêmicos urbanos: fixação de carbono nas Áreas de Preservação Permanente de Campinas-SP.** *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 23, 2020.
- RUTHNER, R. R. e SEVEGNANI, L. **Teores de carbono armazenado no solo e na serapilheira sob Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Submontana do Vale do Itajá, SC.** Centro de Ciências Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2010.
- SANER, P. *et al.* **Carbon stocks and fluxes in Tropical Lowland Dipterocarp Rainforests in Sabah, Malaysian Borneo.** *PLoS ONE* [online], v. 7 (1), 2012.
- SANTOS, J. F. C. *et al.* **Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil.** *Revista Brasileira de Biociências*, v. 15, n. 3, 2017.
- SANTOS, M. O. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B. e GAMA-RODRIGUES, E. F. **Soil microbial biomass as an edge effect indicator in semi-deciduous seasonal forest fragments.** *Floresta e Ambiente* [online], v. 26, n. 4, 2019.
- SANTOS NETO, A. P. *et al.* **Produção de serapilheira em Floresta Estacional Semidecidual e em plantios de *Pterogyne nitens* Tul. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia.** *Ciência Florestal* [online], v. 25, n. 3, p. 633-643, 2015.
- SCHEER, M. B. *et al.* **Patterns of litter production in a secondary alluvial Atlantic Rain Forest in southern Brazil.** *Brazilian Journal of Botany*, v. 32, n. 4, p. 805-817, 2009.
- SCORIZA, R. N. *et al.* **Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes.** *Série Técnica Floresta e Ambiente*, v. 2, p. 1-18, 2012.
- SEDJO, R. e SOHNGEN, B. **Carbon sequestration in forests and soils.** *Annual Review of Resource Economics*, v. 4, p. 127-144, 2012.
- SELLE, G. L. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.** *Bioscience Journal*., Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.
- SHANG, C. e TIESSEN, H. **Organic matter lability in tropical Oxisol: Evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, and magnetic fractionations.** *Soil Science*, 162 (11):795-807, 1997.
- SHEN, C. *et al.* **Soil carbon storage and its determinants in forest fragments of**

differentiated patch size. *Forests*, v. 10, n. 1044, 2019.

SILVA, F. B. R. *et al.* **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco.** Recife: Embrapa Solos UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco– Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária. 2001.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. e SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** Editora UFV, 2 ed., 2012.

SOUZA, A. A. **Efeito de borda, de parâmetro da paisagem e da presença de espécies exóticas na quantidade de carbono estocada em fragmentos de florestas secundárias de mata atlântica em Aldeia, região metropolitana do Recife, Pernambuco.** Dissertação, UFPE, Recife, 80 f., 2011.

SOUZA, G. P.; FIGUEIREDO, C. C. e SOUSA, D. M. G. **Relationships between labile soil organic carbon fractions under different soil management systems.** *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 73, n. 6, p. 535-542, 2016.

STEFANOSKI, D. C. *et al.* **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online], v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

TABARELLI, M.; LOPES, A. V. e PERES, C. A. **Edge-effects drive Tropical forest fragments towards an early-successional system.** *Biotropica*, v. 40, n. 6, p. 657-661, 2008.

TILIO NETO, P. **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres.** Centro Edelstein de Pesquisas Sociais [online], Rio de Janeiro. p. 37-81, 2010.

TOPHAM, S. *et al.* **Carbon dioxide.** *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Alemanha, 2014.

UNIVERSITY CORPORATION OF ATMOSPHERIC RESEARCH. **Carbon dioxide.** UCAR, 2016. Disponível em: <https://scied.ucar.edu/carbon-dioxide>. Acesso em: 28 out. 2019.

UNIVERSITY CORPORATION OF ATMOSPHERIC RESEARCH. **The carbon cycle.** UCAR, 2017. Disponível em: <https://scied.ucar.edu/carbon-cycle>. Acesso em: 28 out. 2019.

VICENTE, L. C. *et al.* **Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a southeast region of Brazil.** *Catena*, v. 182, n. 104139, 2019.

WINK, C. **Dinâmica do carbono e nitrogênio em Argissolos com plantação de Eucalyptus sp..** Tese, UFSM, Santa Maria, 212 p., 2013.

WINK, C.; REINERT, D. J. e MINELLA, J. P. G. **Carbon and nitrogen distribution pattern in soil profile cultivated with Eucalyptus.** *Floresta e Ambiente*, v. 26 (4), 2019.

ZANINOVICH, S. C.; FONTANA, J. L. e GATTI, M. G. **Atlantic Forest replacement by**

non-native tree plantations: comparing aboveground necromass between native forest and pine plantation ecosystems. *Forest Ecology and Management*, v. 363, n. 1, p. 39-46, 2016.

ZANNE, A. E. *et al.* **Global wood density data-base.** Dryad, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10255/dryad,235>. Acesso em: 08 jul. 2020.

ZELAZOWSKI, P. *et al.* **Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet.** *Philosophical Transactions of the Royal Society A: mathematical, physical and engineering sciences*, v. 369, 2011.

ZHOU, R. *et al.* Responses of carbon storage and sequestration potential of forest vegetation to temperature increases in Yunnan Province, SW China. *Forests*, v. 9, n. 227, 2018.

9 Anexos

ANOVA

Carbono Orgânico Total

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	418,07316	418,07316	9,24	0,0042
Profundidade	2	12336,05859	6168,02930	136,33	<0,0001
Local*Profundidade	2	14,44868	7,22434	0,16	0,8530

Carbono Orgânico Lábil

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	363,146814	363,146814	1,99	0,1647
Profundidade	2	4156,495063	2078,247532	11,37	<0,0001
Local*Profundidade	2	99,262513	49,631257	0,27	0,7633

Estoque de Carbono no Solo

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	5120,310964	5120,310964	4,79	0,0475

Biomassa Arbórea

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	312621431365	312621431365	5,62	0,0307

Estoque de Carbono da Biomassa Arbórea

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	72028342152	72028342152	5,62	0,0307

Estoque de Biomassa da Serapilheira

Fonte	GL	SQ	QM	F value	Pr > F
Local	1	820277804	820277804	6,74	0,0203