



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**ESTIMATIVA DE ESTOQUE DE CARBONO ATRAVÉS DA BIOMASSA VIVA EM
PROJETOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM DIFERENTES IDADES NA
REGIÃO DA COSTA DO DESCOBRIMENTO – BA**

Por

WALLYSON AGUINELO RODRIGUES

NAZARÉ PAULISTA, 2022



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**ESTIMATIVA DE ESTOQUE DE CARBONO ATRAVÉS DA BIOMASSA VIVA EM
PROJETOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL COM DIFERENTES IDADES NA
REGIÃO DA COSTA DO DESCOBRIMENTO – BA**

Por

WALLYSON AGUIELO RODRIGUES

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

PROF. 1 Dr. LAURY CULLEN

PROF. 2 Dra. MARIA OTAVIA CREPALDI

**TRABALHO APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL
EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE**

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS

NAZARÉ PAULISTA, 2022

Ficha Catalográfica

Rodrigues, Wallyson A.

Estimativa de estoque de carbono através da biomassa viva em projetos de restauração florestal com diferentes idades na região da Costa do Descobrimento – BA, 2022.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

1. Palavra chave 1 Restauração florestal
2. Palavra chave 2 Biomassa

BANCA EXAMINADORA

LOCAL E DATA

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

AGRADECIMENTOS

À toda minha família que me inspira, me apoia e torce por mim. Apesar de todas as dificuldades vocês sempre me incentivaram a realizar esse mestrado. Eu sou eternamente grato por todas as oportunidades que vocês me proporcionaram ajudaram a abrir desde criança até hoje, desde as vivências no quintal da vó Ita, o intercâmbio na Califórnia e o ingresso na graduação. Muito obrigado por tudo e contem sempre comigo. Amo vocês. À minha companheira de vida, Viviane, por sempre acreditar em mim. Agradeço toda ajuda e compreensão durante a conclusão deste mestrado. Você é minha inspiração e exemplo de dedicação em tudo que faz. Te amo. Ao Grupo Ambiental Natureza Bela, instituição que me apoiou na realização desse mestrado e que proporcionou grande parte do meu conhecimento e desenvolvimento profissional ao longo dos últimos anos. A empresa Veracel Celulose por disponibilizar as áreas e informações que possibilitaram a realização desse trabalho. A Curupira Reflorestamento e ao Gilson Gally que gentilmente cedeu alguns funcionários que me ajudaram na coleta de dados de campo. Muito obrigado também a todos os amigos(as) de mestrado pelos momentos de conversas e reflexões sobre os mais variados assuntos. Aos professores da ESCAS por ampliarem meus conhecimentos sobre conservação da biodiversidade. Aos meus orientadores Laury e Maria Otávia pelo aprendizado, incentivo e sempre acreditarem em mim. E a todos os atores envolvidos de alguma maneira na restauração florestal em nossa região.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	06
LISTA DE TABELAS.....	07
LISTA DE ABREVIACÕES.....	08
RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO GERAL.....	13
2.1 Objetivo Específico.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1. Efeito Estufa.....	14
3.2. Ciclo do Carbono.....	15
3.3. As florestas tropicais como sumidouro de carbono.....	17
3.4. Restauração Florestal.....	19
3.5. Tratos silviculturais e monitoramento.....	23
3.6. Mercado de carbono.....	24
3.7. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): Mercado Regulado...25	
3.8. Mercado Voluntário de crédito de carbono.....	26
3.8. Iniciativas de restauração da Mata Atlântica no sul da Bahia.....	27
4. MATERIAS E MÉTODOS.....	30
4.1. Área de Estudo.....	30
4.2. Coleta de dados.....	34
4.3 Análise de dados.....	37
4.3.1. Cálculo da biomassa arbórea e Carbono Equivalente.....	37
4.4. Análise Estatística.....	38
5. RESULTADOS.....	38
6. DISCUSSÃO.....	42
7. CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
ANEXO.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo do Carbono. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_carbono	14
Figura 2: Função das árvores no ambiente Fonte: Adaptado RODRIGUES; BRANCALION (2009).....	20
Figura 3: Distribuição das áreas no território da Costa do Descobrimento-BA.....	31
Figura 4: Áreas de restauração projeto Inhaíba. Fonte: Google Earth®.....	32
Figura 5: Áreas de restauração projeto Vinhático. Fonte: Google Earth®.....	32
Figura 6: Áreas de restauração projeto Putumuju. Fonte: Google Earth®.....	33
Figura 7: Áreas de restauração projeto Imbiriba II. Fonte: Google Earth®.....	33
Figura 8: Área de restauração projeto Pau Brasil. Fonte: Google Earth®.....	34
Figura 9: Medidas de DAP em diferentes tipos de fustes. Adaptado de Pearson <i>et al</i> 2005.....	35
Figura 10: Alocação de parcela em área de restauração. Fonte: Arquivo pessoal.....	35
Figura 11: Marcação da parcela utilizando tinta spray. Fonte: Arquivo pessoal.....	36
Figura 12: Medição de CAP em troco bifurcado com uso de fita centimetrada. Fonte: Arquivo pessoal.....	36
Figura 13: Medição de CAP com uso de fita centimetrada. Fonte: Arquivo pessoal.....	37
Figura 14: Anotação de dados de campo. Fonte: Arquivo pessoal.....	39
Figura 15: Biomassa em função da idade nos projetos de restauração.....	39
Figura 16: Carbono equivalente em função da idade nos projetos de restauração.....	39

Lista de Tabelas

Tabela 1: Localização, idade e tamanho das áreas de restauração florestal.....29

Tabela 2: Dados descritivos de cada parcela amostrada nos cinco projetos estudados.....39

Tabela 3: Compilação de estudos de estimativa de biomassa viva acima do solo.....40

Tabela 4: Valores de biomassa e Carbono equivalente calculado para cada área41

LISTA DE ABREVIações

APA – Área de Proteção Ambiental

CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira S.A

CO₂ – Dióxido de carbono

CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

ESALQ - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MAPES - Mosaico de Áreas Protegidas do Extremo Sul

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MBRE - Mercado Brasileiro de Redução de Emissões

PMA – Programa Mata Atlântica

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

RESUMO

Nos últimos anos um esforço para recuperar áreas antropizadas através de projetos de restauração florestal vem sendo desenvolvidos na região Costa do Descobrimento. Apesar dessa iniciativa, poucos projetos de restauração tem seu monitoramento realizado para verificar a necessidade de intervenções para garantir o sucesso da restauração. Em relação à estimativa de estoque de carbono nesses projetos de restauração, as informações são inexistentes para a região. O objetivo desse trabalho foi estimar o estoque de carbono através da biomassa em projetos de restauração florestal, com idades diferentes, na Costa do Descobrimento. Foram utilizados para coleta de dados, quatro projetos (Putumuju, Imbiriba II, Vinhático e Inhaíba) do Programa Mata Atlântica (PMA) da empresa Veracel Celulose SA, sendo duas áreas por projeto, totalizando oito áreas amostradas. Foram instaladas parcelas de 04 x 25m em todas as áreas. As idades das áreas amostradas foram de 08; 18; 22 e 28 anos. Nas áreas do PMA foram instaladas parcelas de 04 x 25 m, onde foi mensurado o DAP de todos os indivíduos arbóreos acima de 1,5m de altura. A equação alométrica utilizada para calcular a biomassa foi a proposta por Brown (2005). Depois de calculada a biomassa, foi feita a estimativa de carbono em tonelada/ha. Os valores médios ($t \cdot ha^{-1}$) de biomassa correspondente a cada idade foram: 08 - A1 (4.88 ± 0.099), A2 (11.64 ± 0.45); 18 - A1 (7.76 ± 0.30), A2 (11.85 ± 0.52); 22 - A1 (25.07 ± 1.43), A2 (10.44 ± 0.86) e; 28 - A1 (3.93 ± 0.17), A2 (6.12 ± 0.31). Os resultados de carbono equivalente (em $t \cdot ha^{-1}$) para cada área de projeto de restauração foram: Putumuju A1(89), A2 (213); Imbiriba II A1 (142), A2 (169); Vinhático A1 (459), A2 (192) e; Inhaíba A1 (268), A2 (188).

O somatório da biomassa das parcelas na área A1 do projeto Vinhático, foi maior estatisticamente (Kruskal-Wallis chi-squared = 23.5137, df = 7, p-value = 0) que o somatório da biomassa nas parcelas da área A1 do projeto Imbiriba II (18 anos de restauração) e da área A1 do projeto Putumuju (08 anos de restauração)

Palavras chave: biomassa, restauração florestal, estoque de carbono, equação alométrica.

ABSTRACT

In recent years, an effort to recover anthropized areas through forest restoration projects has been developed in the Discovery Coast region. Despite this initiative, few restoration projects have their monitoring carried out to verify the need for interventions to ensure the success of the restoration. Regarding the estimate of carbon stock in these restoration projects, information is non-existent for the region. The objective of this work was to estimate the carbon stock through biomass in forest restoration projects, with different ages, in the Discovery Coast.

Four projects (Putumuju, Imbiriba II, Vinhático and Inhaíba) of the Atlantic Forest Program (PMA) of the company Veracel Celulose SA were used for data collection, with two areas per project, totaling eight sampled areas. Plots of 04 x 25m were installed in all areas. The ages of the sampled areas were 08; 18; 22 and 28 years. Plots measuring 4 x 25 m were installed in the PMA areas, where the DBH of all tree individuals above 1.5 m in height was measured. The allometric equation used to calculate the biomass was proposed by Brown (2005). After the biomass was calculated, the carbon estimate was made in ton/ha. The mean values (t.ha⁻¹) of biomass corresponding to each age were: 08 - A1 (4.88 ± 0.099), A2 (11.64 ± 0.45); 18 - A1 (7.76 ± 0.30), A2 (11.85 ± 0.52); 22 - A1 (25.07 ± 1.43), A2 (10.44 ± 0.86) and; 28 - A1 (3.93 ± 0.17), A2 (6.12 ± 0.31).

The carbon equivalent results (in t. ha⁻¹) for each restoration project area were: Putumuju A1(89), A2 (213); Imbiriba II A1 (142), A2 (169); Vinhático A1 (459), A2 (192) and; Inhaíba A1 (268), A2 (188).

The sum of biomass of plots in area A1 of the Vinhático project was statistically higher (Kruskal-Wallis chi-squared = 23.5137, df = 7, p-value = 0) than the sum of biomass in plots of area A1 of the Imbiriba II project (18 years of restoration) and the A1 area of the Putumuju project (08 years of restoration)

Keywords: biomass, forest restoration, carbon stock, allometric equation.

1- INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é uma das regiões com maior biodiversidade do mundo. É o bioma em que vive 70% da população brasileira e está presente em 17 estados da federação. Devido à ocupação desordenada do território, ao longo de séculos, só 8,5% da sua área ainda encontram-se cobertos por trechos significativos de floresta (TNC, 2020).

A região foi a principal fonte de produtos agrícolas, e atualmente abriga os maiores pólos industriais, silviculturais e canavieiros, além dos mais importantes aglomerados urbanos do Brasil. Mas foi durante as últimas três décadas do século XX que o bioma Mata Atlântica sofreu grandes alterações em decorrência das atividades humanas que causaram a alta fragmentação do habitat com a consequente redução e perda da sua biodiversidade (RODRIGUES et al., 2009).

A situação da Mata Atlântica na Bahia não diferente daquela encontrada no resto do país, de uma área original equivalente a 36% do território do Estado, hoje restam menos de 6%, assim mesmo, de forma bastante fragmentada, com a maior parte dos remanescentes de dimensões inferiores a 400 hectares e sob forte pressão degradadora. Mas, apesar do acentuado grau de devastação, é a Mata Atlântica da Bahia um dos mais importantes centros de endemismo do país, com alta diversidade biológica (ABAF, 2022). A região, junto com o Norte do Espírito Santo, integra a Hileia Baiana (ou floresta de tabuleiro), que são áreas de florestas que possuem elementos típicos da Mata Atlântica e espécies com características da Floresta Amazônica (ABAF, 2022).

A região da Costa do Descobrimento, no extremo sul da Bahia, está inserida neste bioma, fazendo parte do atual mapa das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente (MAPES - Mosaico de Áreas Protegidas do Extremo Sul).

Devido a comprovada relevância ambiental dessa região, desde a última década vem sendo implementado o projeto “Corredores Ecológicos”, o qual tem como objetivo de restaurar áreas para estabelecer uma conectividade entre os Parques Nacionais, as RPPNs e outros fragmentos de matas importantes existentes hoje na região (ABAF, 2022).

A restauração florestal tem um papel importante principalmente na mitigação das mudanças climáticas, graças ao processo de fotossíntese que permite as árvores sequestrar o CO₂ atmosférico, principal gás causador do efeito estufa, e estocá-lo na

biomassa possibilitando uma mudança positiva no balanço do carbono local. Dessa forma, as florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global (FEREZ, 2010). Além disso, o plantio de árvores em áreas antes degradadas contribui para restabelecer os processos ecológicos e a diversidade biológica do ecossistema (SILVA et al., 2015).

Diversas pesquisas científicas têm comprovado que grande parte do aquecimento do planeta vem sendo causado por atividades humana. O desflorestamento pode ser considerado uma das principais causas do aumento das concentrações de gás carbônico na atmosfera, juntamente com a queima de combustíveis fósseis tem contribuído com o aumento das temperaturas no planeta.

O mapeamento do estoque de carbono terrestre é importante para o sucesso da implementação de políticas de mitigação das mudanças climáticas (CHAVE et al., 2014). Um exemplo de iniciativa são os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que visam métodos de compensação e redução dos gases do efeito estufa, nos quais os países sem compromisso de redução desses gases podem participar do mercado de carbono. Uma das atividades propostas pelo MDL consiste na implantação de florestas e o Brasil apresenta boas condições físicas e naturais para atender aos preceitos do MDL, em razão de suas potencialidades florestais. Mas para serem validados é necessário que esses projetos de MDL florestal apresentem os seguintes fundamentos: elegibilidade, adicionalidade e condições para seu monitoramento (RODRIGUES et al., 2009).

O monitoramento é uma etapa importante para avaliar o desenvolvimento da restauração, tanto na avaliação dos métodos empregados, como para compreender se a área em restauração está seguindo uma trajetória ecológica desejada. As ações de restauração florestal ficariam incompletas sem a etapa do monitoramento, sobre o que ocorreu após a intervenção (VIANI, 2013). Alguns indicadores são utilizados para avaliar o monitoramento da restauração florestal, dentre eles podemos citar a estimativa de estoque de carbono através do cálculo da biomassa florestal. O cálculo da biomassa florestal pode ser obtida por métodos diretos, que implicam no corte e pesagem de todo o material vegetal arbóreo, ou por métodos indiretos que utilizam equações alométricas ou imagens de satélite (SILVA et al., 2015). Para realizar esse levantamento de carbono florestal, a metodologia utilizada consiste na instalação de parcelas e coleta de dados de inventário florestal (diâmetro na altura do peito (DAP) e/ou altura) nas áreas restauradas.

Na região da Costa do Descobrimento já foram executados diversos projetos de restauração florestal, porém as informações de monitoramento dessas áreas são deficitárias. No que diz respeito à estimativa de estoque de carbono, não há estudos realizados nas áreas de restauração florestal da região. Neste contexto, o presente trabalho objetiva estimar o estoque de carbono através da biomassa viva acima do solo utilizando o método indireto, em projetos de restauração com diferentes idades executados pela empresa Veracel Celulose S/A e pelo Grupo Ambiental Natureza Bela, contribuindo para a valorização e o fortalecimento das ações de restauração florestal na região da Costa do Descobrimento através dos resultados obtidos nesse trabalho.

2- OBJETIVO GERAL

Avaliar áreas de restauração florestal, com diferentes idades, no bioma Mata Atlântica, através da estimativa de estoque de carbono na biomassa viva acima do solo, na região da Costa do Descobrimento no estado da Bahia.

2.1 - Objetivos específicos

- Mensurar o estoque de carbono na biomassa vegetal em $t.ha^{-1}$ em áreas com idades diferentes de tempo de restauração.
- Verificar o estoque de carbono ao longo do tempo.

3- REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 - Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno físico que acontece naturalmente. A atmosfera é composta principalmente de oxigênio (21%) e nitrogênio (78%), sendo os principais gases de efeito estufa (GEE) o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nítrico (NO₂) (BOINA, 2007).

Os GEEs representam menos de um milésimo da atmosfera total. Sem a presença desses gases, que atuam como uma barreira de proteção natural ao redor da Terra, a radiação infravermelha térmica solar absorvida pelo planeta se dissiparia pelo espaço, e a temperatura da superfície da Terra seria menor do que é hoje (SANQUETA, 2004).

Do total dos raios do sol que chegam à Terra, 30% são refletidos de volta para o espaço, sem atingirem a superfície do planeta. Os outros 70% são responsáveis pelo clima e demais condições físicas da Terra (BOINA, 2007).

O CO₂, principal gás causador do efeito estufa, circula entre os quatro principais estoques de carbono: a atmosfera, os oceanos, os depósitos de combustível fóssil e a biomassa terrestre e do solo. Pesquisa científica vem comprovando que grande parte do aquecimento vem sendo causada por atividades humanas, portanto, caberia ao homem intervir para reverter o atual cenário.

Um exemplo da influência humana no aumento da emissão de GEE são o desmatamento de florestas tropicais que ocorrem principalmente em países em desenvolvimento.

O Brasil é o 4º emissor global de gases do efeito estufa, com mais de dois terços das emissões vindas do desmatamento. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão ligado às Nações Unidas, divulgou relatório apontando um cenário devastador sobre os principais impactos do aquecimento global no meio ambiente e na economia, caso medidas concretas para diminuir o aumento da temperatura do planeta não forem adotadas. No Brasil, há impactos significativos em vários lugares como na Amazônia, no semi-árido nordestino e nas regiões litorâneas. Na região Amazônica, por exemplo, as pessoas podem ser afetadas por temperaturas ainda mais altas no verão em algumas regiões, por um aumento na frequência de secas severas como a de 2005 e pela transformação da floresta em uma vegetação muito mais aberta, parecida com o cerrado, especialmente na região leste. No nordeste brasileiro, as temperaturas vão subir ainda mais, passando de uma região

semi-árida para árida e comprometendo a recarga dos lençóis freáticos. No sudeste, a precipitação vai aumentar com impacto direto na agricultura e nas inundações e deslizamentos de terra (WWF, 2007).

Apesar dos efeitos negativos, o aumento da concentração de CO₂ pode ter um ponto considerado positivo: o aumento da precipitação e da temperatura poderá aumentar a produção primária líquida dos ecossistemas e colheitas em zonas em que o crescimento da vegetação esteja limitado por um ou mais fatores (BOINA, 2007).

3.2 - Ciclo do Carbono

O carbono é o quarto elemento mais abundante no Universo, depois do hidrogênio (H), hélio (He) e oxigênio (O), e é o pilar da vida como a conhecemos. Existem basicamente duas formas de carbono, uma orgânica, presente nos organismos vivos e mortos, não decompostos, e outra inorgânica, presente nas rochas (MOUTINHO, 2011).

O ciclo do carbono é um ciclo biogeoquímico no qual o elemento carbono sai do meio ambiente para os organismos vivos, retornando, em seguida, ao meio ambiente (Figura 1). O carbono é um elemento que está presente na composição de todas as moléculas orgânicas, essenciais para os seres vivos, além de alguns compostos inorgânicos. A assimilação do carbono pelos seres vivos e sua devolução à atmosfera, completando, assim, o seu ciclo, estão intimamente ligadas ao fluxo de energia (BIOLOGIA NET, 2022).

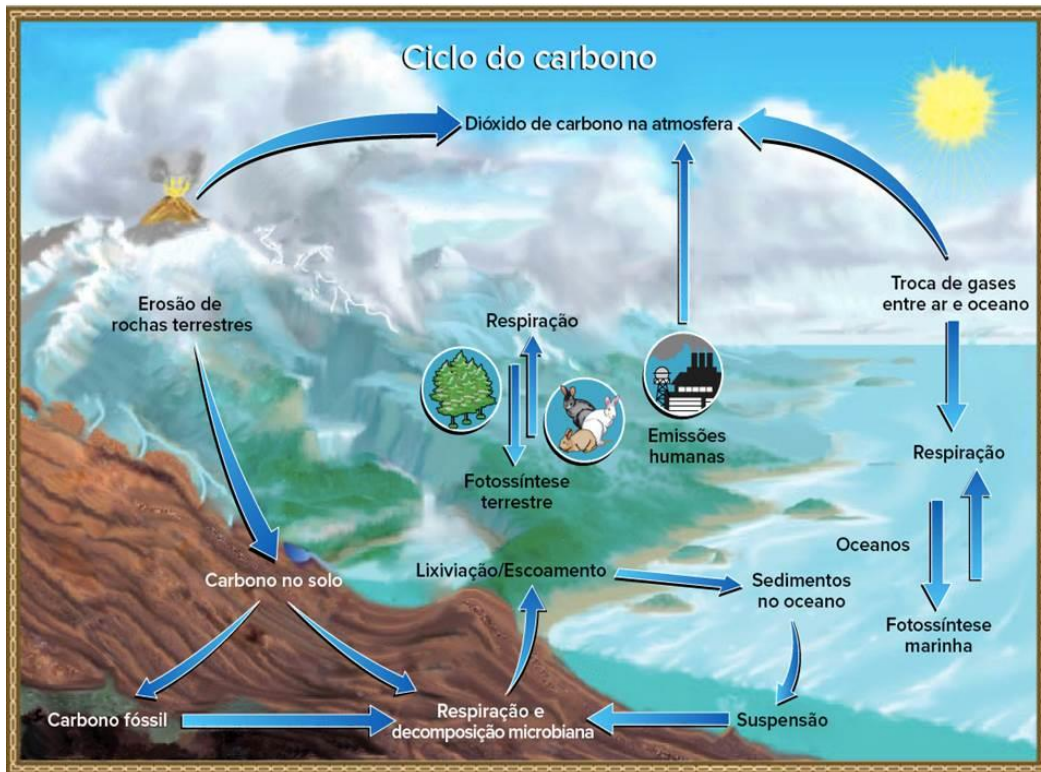


Figura 1: Ciclo do Carbono. Fonte: <https://pt.khanacademy.org>

O ciclo do carbono pode ser dividido em biológico e geológico: no ciclo biológico, o carbono é introduzido através de processos como a fotossíntese e a quimiossíntese. Os principais organismos fotossintetizadores deste ciclo são as plantas, o fitoplâncton, algas marinhas e cianobactérias (KHAN ACADEMY, 2022). Eles sintetizam carboidratos a partir do CO₂ e água e liberam o oxigênio para a atmosfera. Aproximadamente 100 bilhões de toneladas de carbono anualmente são ligadas a compostos orgânicos pela fotossíntese (RAVEN et al., 2001). Já no ciclo geológico, é muito mais demorado que a via biológica descrita acima. De fato, normalmente leva milhões de anos para o carbono completar o ciclo através da via geológica. O carbono pode ser armazenado por longos períodos de tempo na atmosfera, em corpos de água líquida—principalmente oceanos, nos sedimentos oceânicos, no solo, em rochas, em combustíveis fósseis e no interior da Terra (KHAN ACADEMY, 2022).

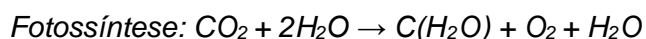
Assim, a importância do ciclo do carbono na natureza pode ser evidenciada pela estimativa de que todo o CO₂ no ar, caso não houvesse reposição, seria completamente exaurido em menos de 20 anos, tendo em vista a fotossíntese atual (BOINA, 2007).

3.3 - As florestas tropicais como sumidouro de carbono

As florestas tropicais são os ecossistemas terrestres que apresentam maior biodiversidade. Entretanto, muitas florestas já foram desmatadas e as que restam estão sendo rapidamente destruídas. São estimadas perdas de 180.000 km² de floresta tropical por ano no mundo (SAMBUICHI et al., 2009).

As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global. O estoque de carbono dos ecossistemas tropicais está armazenado principalmente na biomassa florestal (FEREZ, 2010). O desmatamento das florestas causa a liberação desse carbono estocado nas árvores para a atmosfera, seja de forma rápida (através de queimadas) ou lenta (via decomposição) (BOINA, 2007). Dessa forma, o desmatamento pode ser considerado uma das principais causas do aumento das concentrações de gás carbônico na atmosfera, com reflexo no aumento das temperaturas.

Os ecossistemas florestais atuam como captadores do carbono atmosférico através do processo de fotossíntese. As plantas sequestram o carbono atmosférico através de aberturas especiais chamadas estômatos, presentes nas folhas e caules verdes. A transferência para as plantas é dada por difusão do meio que está mais concentrado (ar) para o menos concentrado (líquido intracelular) onde se dissolve e fica à disposição do material celular (BOINA, 2007). Após uma série de reações da fotossíntese a maior parte desse carbono fixado na planta é convertido em sacarose, a principal forma de transporte dos açúcares, ou em amido, a principal forma de estocagem de carboidratos nas plantas (RAVEN et al., 1999).



O Brasil apresenta boas condições físicas e naturais para atender aos preceitos do MDL, em razão de suas potencialidades florestais. Mas para que os projetos de MDL florestal sejam passíveis de aprovação é necessário que os mesmos apresentem os seguintes fundamentos: elegibilidade, adicionalidade e condições suficientes para seu monitoramento (RODRIGUES et al., 2009).

Existem diversos métodos para estimar a quantidade de CO₂ fixado pela vegetação. Todavia, estudos realizados por Brown et al. (1986), Hoen e Solberg (1994), Ortiz (1997) e Ramirez (1997) empregaram um único método para avaliação, no qual os dados de biomassa por hectare são multiplicados por um fator que envolve o conteúdo de carbono da biomassa seca e a relação entre o peso molecular de CO₂ e o peso atômico do carbono (BOINA, 2007).

Um aspecto importante no estudo de fixação de carbono em florestas é a estimativa da biomassa (RODRIGUES et al., 2009). A biomassa florestal pode ser obtida por métodos diretos, que implicam no abate e pesagem de todo o material vegetal arbóreo, ou por métodos indiretos que envolvem o uso de equações alométricas ou imagens de satélite (SILVA et al., 2015).

Um método para quantificar o estoque de carbono na biomassa consiste em inferir mudanças em parcelas permanentes em florestas. Modelos de regressão são usados para converter os dados do inventário em estimativas da biomassa acima do solo. Dois aspectos sobre a biomassa das florestas são críticos no que se refere a modelos de fluxo terrestre de carbono nas florestas tropicais. O primeiro diz respeito a biomassa total que inclui a biomassa acima do solo e biomassa viva abaixo do solo, além daquela morta. O segundo aspecto considera a resposta de todos estes elementos a retirada da floresta e regeneração, e como eles devem estar representados em um modelo (LACERDA et al., 2009).

No caso de áreas em restauração a obtenção do estoque de carbono é realizado por meio de equações alométricas, visto que em muitos casos o abate das árvores não é possível por questões técnicas e legais. Em geral, as equações alométricas apresentam como variáveis independentes características diretamente mensuráveis das árvores-amostra, como diâmetro e altura. Porém, quando se escolhe o método indireto existe a possibilidade de erro significativo na estimativa de biomassa ou estoque de carbono (SILVA et al., 2015).

Um estudo realizado pelo Instituto TOTUM e a Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (ESALQ), juntamente com a ONG SOS Mata Atlântica, estimaram que cada árvore da Mata Atlântica absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente ao longo de seus primeiros 20 anos (CELULOSE ON LINE, 2022). Para florestas tropicais nas Américas o IPCC apresenta valores de 60 a 400 Mg.ha⁻¹, o que corresponde de 103,4 a 689,3 Mg.ha⁻¹ de CO₂-equivalente (LACERDA et al., 2009).

Estudos em projetos de restauração conduzidos em área de Cerradão, Melo et al. (2009) encontrou os seguintes resultados de biomassa e carbono fixados na parte aérea e raízes, com idade de sete anos, de 39,0 ± 9,2 t ha⁻¹ e 15,2 ± 3,8 t ha⁻¹, com incrementos médios anuais de 6,5 t ha⁻¹/ano e 2,5 t ha⁻¹/ano de Carbono. O estudo foi realizado utilizando equação alométrica própria desenvolvida a partir do abate de árvores locais.

Outro estudo realizado por Melo e Durigan (2006), em reflorestamento de matas ciliares, em floresta Estacional Semidecidual no estado de São Paulo, com idades de 1 a 28 anos, encontraram valores de estoque de carbono na parte aérea variando entre 0,6 a 149 t ha⁻¹, utilizando equação proposta por Brown et al. (1997).

Entretanto, alguns fatores podem impactar o desenvolvimento das árvores podendo interferir na absorção de CO₂ como, por exemplo, composição de espécie, idade, clima e solo (CELULOSE ON LINE, 2022).

Diante do exposto acima, demonstra a necessidade de se restaurar áreas desflorestadas com a finalidade de aumentar o sequestro de carbono e também contribuir para a conservação da biodiversidade (AZEVEDO et al., 2018).

3.4 - Restauração florestal

Os danos ao ecossistema causados pela conversão das florestas em áreas de pastagens ou agricultura, podem ser percebidos sob vários aspectos. A extração de madeira de forma predatória coloca em risco de extinção muitas espécies vegetais e animais que dependem da floresta, com consequências diretas na biodiversidade (FONSECA et al., 2013).

A recuperação de ecossistemas degradados é uma prática muito antiga, com exemplos de sua existência na história em diferentes épocas, regiões e povos, e (GANDOLFI, 2004). Porém, a partir do ano de 1980 adquiriu o caráter de uma área de conhecimento, sendo denominada por alguns autores como Ecologia da Restauração (PALMER et al., 1997).

Restaurar áreas degradadas é uma estratégia eficaz para restabelecer os serviços ambientais prestados pelas florestas (ZANINI et al., 2020). O conceito de restauração definido pela Society for Ecological Restoration International (SERI): *“a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais”* (RODRIGUES et al., 2009).

Os benefícios ambientais proporcionados pela restauração florestal são bem conhecidos pela ciência, mas somente puderam ser entendidos após anos de pesquisas em áreas de florestas que sofreram com ações antrópicas (FONSECA et al., 2013).

Dentre os serviços ambientais prestados pela restauração de florestas pode-se citar a proteção e recuperação da biodiversidade, por meio da melhoria das características da paisagem e do restabelecimento dos processos ecológicos (CASTRO, 2017).

A ciência da restauração ecológica tem proposto uma visão ecossistêmica do processo, buscando uma forma mais integralizada ao invés de um estudo compartimentalizado e individualizado, com o único foco a comunidade arbórea, desconsiderando a interação desta com outros vegetais, com a fauna e com os fatores abióticos.

A definição de restauração ecológica, segundo Gandolfi 2015, é a “atividade que busca a reconstrução de um ecossistema que venha a se assemelhar, em longo prazo, com a vegetação pré-existente, portanto, nos trópicos é capaz de abrigar uma alta taxa de biodiversidade”.

No Brasil podemos citar como a primeira iniciativa de restauração ecológica a recuperação da Floresta Nacional da Tijuca, no século XIX, no município do Rio de Janeiro, devido à necessidade de abastecimento de água para a população do município e da proteção das nascentes.

Todavia, apenas a partir dos anos de 1980, a restauração ecológica passou a ser difundida e caracterizada como a ciência que estuda a restauração dos ecossistemas degradados, gerando conceitos, metodologias, modelos, políticas e ferramentas que proporcionam avanços práticos (PALMER et al., 2006).

A restauração ecológica de um ecossistema é o retorno da área degradada ou perturbada a uma condição próxima da original, que dependem de uma série de atividades (plantio de mudas ou sementes arbóreas, tratamentos silviculturais e monitoramento) que possibilitem o ecossistema a retornar a uma condição de sustentabilidade (ENGEL; PARROTA, 2003).

A Lei nº 9.985, de 18 de junho de 2000 (SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), em seu art. 2º, diferencia um ecossistema “recuperado” de um “restaurado”: “recuperação - restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente da condição original” e “restauração – restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível de sua condição original” (GOVERNO FEDERAL, 2002).

Uma forma de dar condições para que o ecossistema perturbado se recupere é promover a regeneração natural para sua autossustentabilidade (CASTRO, 2017). Partindo desse princípio, a restauração de ecossistemas florestais pode ser eficaz através de plantios de espécies que considerem os processos ecológicos da sucessão natural (ENGEL; PARROTA, 2003).

Como as funções e exigência, por luz ou sombra, são semelhantes nos processos de sucessão das espécies florestais, a sucessão ecológica é um fator que deve ser considerado na restauração florestal. Durante a sucessão, a composição de espécies da comunidade muda, assim como a disponibilidade de recursos como luminosidade, água e nutrientes (ENGEL; PARROTA, 2003).

A escolha das espécies é um fator relevante a se considerar no processo de restauração ecológica, priorizando sempre que possível às espécies encontradas no mesmo ecossistema que se pretende restaurar. Introduzir espécies de outras regiões pode trazer problemas de adaptação dos indivíduos às condições ambientais locais, mesmo pertencendo à mesma espécie (CASTRO, 2017).

A discussão sobre os grupos funcionais foi incorporada no processo de restauração ecológica, quando se percebeu, que não necessariamente o número de espécies, mas a variedade de comportamentos destas poderiam explicar certas relações entre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas (RODRIGUES et al., 2009).

No processo de restauração ecológica, além dos plantios dos indivíduos arbóreos, outros fatores devem ser considerados para que os objetivos da restauração sejam alcançados como: o incremento temporal da diversidade das espécies, as formas de vida introduzidas à área, as características da regeneração natural, o restabelecimento da sucessão ecológica, o papel dos diferentes grupos funcionais de espécies nativas, o isolamento das áreas restauradas e a eliminação dos fatores de degradação (CASTRO, 2017).

Outro fator a considerar no processo de restauração ecológica é a diversidade de outras formas de vida que contribuem no funcionamento do ecossistema. Espécies de lianas, arbustos, ervas e epífitas têm um papel importante sendo considerados espécies chaves pois oferecem recursos aos polinizadores e dispersores de sementes, principalmente quando há escassez de frutos e sementes produzidos pelas árvores.

A função de cada espécie vegetal nas áreas em processo de restauração deve ser considerada, tanto do ponto de vista das interações biológicas, mas também, devido

sua capacidade de reconstrução e manutenção da funcionalidade dos ecossistemas (Figura 2) (CASTRO, 2017). Dentre as funções das espécies arbóreas no ecossistema podemos destacar a deposição de matéria orgânica no solo (serapilheira) que contribui para a retenção da umidade, ciclagem de nutrientes, melhoria na estruturação, agregação e porosidade do solo, fonte de energia para os microrganismos (através da decomposição da matéria orgânica).

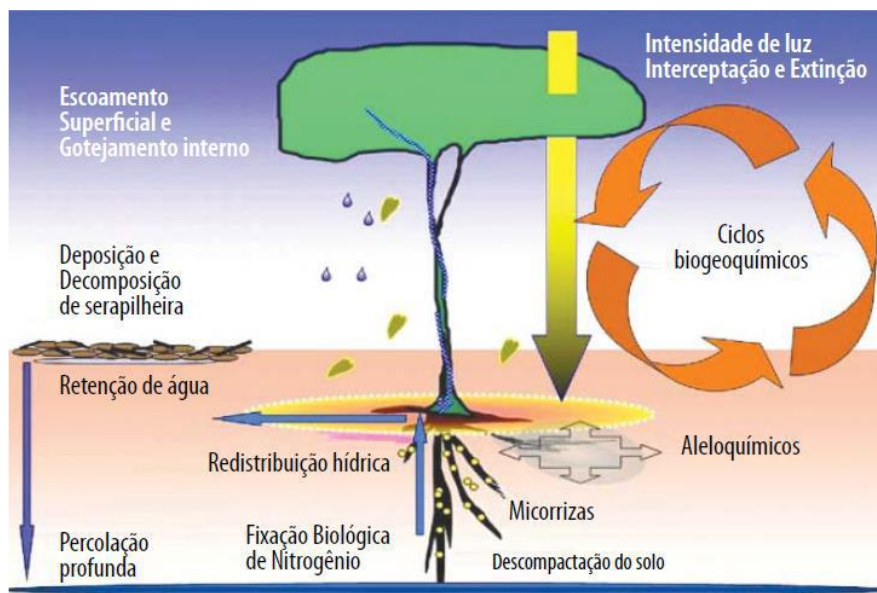


Figura 2: Função das árvores no ambiente Fonte: Adaptado RODRIGUES; BRANCALION (2009).

A restauração ecológica pode incluir metas a serem alcançadas a curto, médio e longo prazo. A curto prazo podemos citar os serviços ambientais dos ecossistemas como o controle da erosão, melhoria da fertilidade do solo, fixação do CO₂ e estabilização do ciclo hidrológico. Em médio prazo, o enriquecimento e aumento da complexidade estrutural do habitat, aumento da biodiversidade e a regeneração de algumas espécies. Entretanto, o objetivo da sustentabilidade só pode ser alcançado em longo prazo (ENGEL; PARROTA, 2003).

Para o sucesso da restauração ecológica, as espécies florestais implantadas devem persistir ao longo do tempo, já que sua continuidade depende não só da produção das sementes, mas também, de sua germinação e estabelecimento das plântulas na área restaurada. Em ecossistemas degradados essa condição não só não ocorre como também à colonização por espécies arbóreas e a sucessão florestal são dificultadas ou impedidas devido a limitações no ambiente físico e/ou biótico (ENGEL; PARROTA, 2003). Portanto, para que a sustentabilidade de um ecossistema seja duradoura necessita que as espécies dominantes possam se regenerar e se manter dominantes em longo prazo.

3.5- Tratos silviculturais e monitoramento

Em áreas que sofreram desmatamento provocado pelo homem, a restauração com espécies nativas tem o potencial de impulsionar o processo de sucessão florestal. Entretanto, alguns fatores (bióticos e abióticos) de estresse à planta podem dificultar seu estabelecimento no ecossistema (FEREZ, 2010).

As práticas silviculturais podem contribuir para aumentar o sucesso da restauração em áreas degradadas, atenuando os fatores de estresse impostas pelo ambiente. Assim, o preparo do solo, o controle de pragas e de matocompetição, adubações (base e cobertura), podem favorecer as espécies nativas plantadas em relação a disponibilidade de recursos (FEREZ, 2010).

O resultados de Stape et al. 2007, mostram que as taxas médias de sequestro de Carbono foram superiores em experimentos com tratos silviculturais intensivos (adubações corretivas de base e cobertura; controle intensivo de matocompetição).

Outro estudo conduzido por Melo e Durigan (2006), citado por FERREZ (2010), encontraram grande variação no incremento da biomassa de plantios de restauração de matas ciliares que não é explicada somente pela idade, podendo o tipo de solo e as técnicas silviculturais adotadas terem efeitos nos resultados obtidos.

O monitoramento também é uma etapa importante em projetos de restauração ecológica. As ações de restauração florestal ficariam incompletas sem o posterior retorno da investigação, sobre o que ocorreu após a intervenção. É a partir dos dados de monitoramento que se avalia a necessidade de ações corretivas à trajetória da restauração, ou seja, uma área em processo de restauração pode seguir diversas trajetórias, caminhando para uma sucessão florestal, ou encontrar caminhos alternativos estáveis, onde pode permanecer estagnada ou até entrar em processo de retrocesso, voltando ao estado de degradação anterior à intervenção (VIANI, 2013).

Dessa forma, a restauração florestal aliada ao monitoramento e os tratos silviculturais intensivos podem representar importante ferramenta para o sequestro de Carbono.

3.6- Mercado de Carbono

Entende-se como mercado de carbono a compra e venda de crédito(s) de carbono (certificado(s)), que correspondem a não emissão de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera. Segundo pesquisa realizada por Márcio Borges, em 2016, diz que: “o crédito de carbono é uma certificação eletrônica emitida quando há uma redução comprovada de emissão de gases de efeito estufa” (CREDCARBO, 2021). Uma tonelada não emitida ou recuperada equivale a um crédito gerado.

O Crédito de Carbono é um tipo de commodity que obteve uma boa rentabilidade nos últimos anos. A precificação de carbono é uma forma de atribuir um custo aos impactos gerados pelo aumento de emissão de GEE na atmosfera. Ela deriva do princípio do poluidor pagador e é um mecanismo para compensar as externalidades negativas relacionadas à emissão de GEE (MACHADO, 2021). O preço do carbono no mercado internacional está valorizado – no mercado europeu, em 2021, atingiu aproximadamente 57 euros/ tonelada - e hoje pode ser comercializado por empresas e pessoas físicas. O motivo para o alto custo da tonelada de crédito de carbono está relacionado à oferta limitada e a demanda obrigatória nos países do mundo inteiro (CREDCARBO, 2021). Nesse contexto, não há dúvidas de que o mercado de carbono tem sido uma alternativa avaliada por todos os governos e setores (GULIN, 2022). O Brasil tem um grande potencial no que diz respeito ao mercado de créditos de carbono. Porém, o governo brasileiro necessita avançar na regulamentação interna desse mercado de negociação para o crédito de carbono. Há um Projeto de Lei 528/21 - e também a Lei 12.187/09- que visa à criação o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE) para tal regulamentação (CREDCARBO, 2021). Também existe o Decreto Federal nº 11.075/2022, que estabelece procedimentos para regulamentação do mercado nacional (Governo Federal, 2022)

Todavia, a precificação do carbono deverá ser inserida em um conjunto mais amplo de políticas de mitigação que envolve não apenas instrumentos econômicos, mas também responsabilidade socioambiental, regulação e políticas de comando e controle (MACAHADO, 2021).

Atualmente o mercado de crédito de carbono está dividido em duas categorias: o regulado e o voluntário. A diferença entre o mercado regulado e o voluntário é que, enquanto o primeiro é obrigatório e maior, o segundo, a compra e venda ocorre por interesse das empresas. No mercado regulado, os governos impõem metas de redução progressivas para os setores envolvidos (GULIN, 2022).

3.7- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – Mercado Regulado

O aquecimento global causado, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural), atividades agrícolas, a degradação dos ambientes terrestres (queimadas e desmatamento, urbanização, estradas, ferrovias, etc), vem provocando alterações climáticas no planeta. (LACERDA et al., 2009).

Desde a Revolução Industrial, nossa espécie já emitiu mais de 2 mil giga toneladas de dióxido de carbono na atmosfera (uma giga tonelada é um bilhão de toneladas métricas) (WRI, 2018).

Tempestades de alta intensidade, incêndios florestais, secas severas, branqueamento de corais, ondas de calor e enchentes ao redor do mundo foram observados na última década, trazendo evidências adicionais relevantes para o debate, as quais sugerem a presença de riscos à estabilidade socioeconômica global (MACHADO, 2021).

No ano de 1997 o Brasil sugere a criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, o qual foi adotado pelo Grupo dos 77 e pela China (BITTENCOURT et al., 2002). Através do Protocolo de Kyoto e outros acordos, essa proposta brasileira foi modificada dando origem aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) (RODRIGUES et al. 2009).

Em 2015, como resultado da COP 21 na França, 195 países assinaram o Acordo de Paris, um marco na história da política ambiental mundial. As nações membro apresentaram metas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), comprometendo-se a modificar suas atividades econômicas a fim de limitar o aumento da temperatura global em menos de 2°C, preferencialmente 1,5°C, em relação aos níveis de emissões pré-industriais até o ano de 2100 (SANTELLI, 2020). Vale lembrar que o Brasil assumiu no âmbito da COP 26, como parte de sua Contribuição Nacional Determinada (NDC), a meta de reduzir suas emissões em 50% até 2030, com base nos níveis de 2005, bem como de atingir o *net zero* até 2050 (GULIN, 2022).

Os projetos no âmbito do MDL são implementados em países menos desenvolvidos e em desenvolvimento. Esses países podem comercializar suas reduções de emissão de GEEs, denominadas Reduções Certificadas de Emissão (RCEs), para os países desenvolvidos, que não conseguiram cumprir as suas metas e seus compromissos de redução de emissão de GEEs assumidos perante o Protocolo de Kyoto (BITTENCOURT et al., 2002). O acordo convencionou que cada tonelada de emissão de carbono reduzida equivale a um crédito (SANTELLI, 2020). Esses pagamentos por tal serviço podem ser um incentivo aos proprietários de terras nos países em

desenvolvimento para a restauração e a não supressão das florestas (LACERDA et al., 2009).

Para que um projeto resulte em reduções certificadas de emissões (RCEs), as atividades de projeto do MDL devem passar por algumas etapas: elaboração de documento de concepção de projeto, usando metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados; validação em conformidade com a regulamentação do Protocolo de Kyoto; aprovação pela Autoridade Nacional Designada (no Brasil – Comissão Interministerial de Mudança Global e do Clima), órgão responsável por verificar a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável; submissão ao Conselho Executivo para registro; monitoramento; verificação/certificação; e emissão de unidades segundo o acordo de projeto (CQNUMC, 2020). Ao completar o ciclo de validação, aprovação e registro, a atividade torna-se efetivamente uma atividade de projeto no âmbito do MDL (BOINA, 2007).

No Brasil, a maior parte das atividades de projetos desenvolvidas se concentra no setor energético, o que explica a predominância do CO₂ na balança de reduções de emissões brasileiras. A região sudeste destaca-se em número de projetos devido à posição dos estados de São Paulo (24%) e Minas Gerais (14%), seguidos por Mato Grosso e Rio Grande do Sul (9%) (BOINA, 2007).

3.8- Mercado Voluntário de Crédito de Carbono

A implementação do MDL em 2005, além de ter criado as bases para a regulamentação do mercado de carbono, permitiu também o surgimento do mercado voluntário de compensações de emissões de GEE (VARGAS et al., 2021). O mercado voluntário atua de forma alternativa e similar ao mercado regulado, negociando créditos originados de atividades de redução de GEE em países em desenvolvimento (Paiva et al 2014).

A partir da necessidade de estabelecer regras de implementação e operação dos projetos de redução de emissões desenvolvidos no âmbito do Mercado Voluntário, foram criados os padrões internacionais de certificação por mecanismos independentes. Esses mecanismos são administrados por organizações privadas ou terceira parte independente (VARGAS et al., 2021). Para conferir maior confiabilidade a essas iniciativas esses padrões têm atuação destacada no Mercado Voluntário, sendo as atividades certificadas auditadas e monitoradas periodicamente a fim de verificar conformidades e/ou desvios (PAIVA et al., 2014). Nesse contexto, dois mecanismos independentes passaram a integrar o mercado global e desde então

possuem crescente destaque nesse mercado: Verra e Gold Standard (GS) (VARGAS et al., 2021).

O Brasil possui posição de destaque na geração de créditos de carbono no mercado voluntário mundial. Atualmente o país ocupa a quarta posição em termos de volume de créditos de carbono gerados nesse tipo de mercado, atrás apenas dos Estados Unidos, da Índia e da China. Apesar da sua expressividade em volume de créditos já gerados, o país tem menor destaque em relação ao número de projetos geradores de créditos (VARGAS et al., 2021).

O mercado brasileiro é dominado principalmente por projetos de Energia (63%), seguido por projetos de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU, do inglês *Agriculture, Forestry, and Other Land Use*) (25%). Entretanto, apesar do maior número de projetos de energia, observa-se que o volume de créditos gerados pelos projetos relacionados ao setor AFOLU é significativamente maior. Em 2020 e 2021, a participação dos créditos gerados por esses projetos foi de 81% e 73%, respectivamente, enquanto os créditos gerados por projetos de energia tiveram participação de 18% e 24% nesses mesmos anos (VARGAS et al., 2021).

O mercado de carbono voluntário aparece como uma alternativa atrativa para companhias que buscam reduzir as emissões de gases do efeito estufa antes que a legislação as obrigue a fazê-lo. Hoje, o país emite menos de 1% desse potencial estimado. Projetos de reflorestamento, de agricultura e de combate ao desperdício de energia, hoje com valores de toneladas de carbono muito baixos, poderiam alavancar a geração de créditos (VALOR ECONOMICO, 2022).

3.8- Iniciativas de restauração da Mata Atlântica no extremo sul da Bahia

A história do Brasil está diretamente ligada à Mata Atlântica, que possui uma grande biodiversidade e é considerada um dos mais importantes biomas do mundo. Desde os primeiros anos da colonização do Brasil, a Mata Atlântica tem passado por uma série de transformações de florestas naturais para outros usos, cujo resultado final observa-se nas paisagens hoje fortemente dominadas pelo homem. A região foi a principal fonte de produtos agrícolas, e atualmente abriga os maiores pólos industriais, silviculturais e canavieiros, além dos mais importantes aglomerados urbanos do Brasil. Mas foi durante as últimas três décadas do século XX que o bioma Mata Atlântica sofreu grandes alterações em decorrência das atividades humanas que causaram a alta fragmentação do habitat com a consequente redução e perda da sua biodiversidade (RODRIGUES et al. 2009).

A situação da Mata Atlântica na Bahia não diferente daquela encontrada no resto do país, de uma área original equivalente a 36% do território do Estado, hoje restam menos de 6%, assim mesmo, de forma bastante fragmentada, com a maior parte dos remanescentes de dimensões inferiores a 400 hectares e sob forte pressão degradadora. Mas, apesar do acentuado grau de devastação, é a Mata Atlântica da Bahia um dos mais importantes centros de endemismo do país, com alta diversidade biológica. Nela se concentra 30% das espécies endêmicas de aves, 10% das espécies endêmicas de anfíbios e todos os seis gêneros de primatas encontradas no bioma (sagui, mico-leão, guigó, barbado, macaco-prego e murigui), com três dessas espécies só existentes na região. Já a sua vegetação forma um mosaico de tipologias integradas, constituídas pela floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, floresta semi-decidual, restingas e manguezais, de características únicas e paisagens notáveis (ABAF, 2022).

A Mata Atlântica situada no sul da Bahia tem um valor físico e biológico tão relevante que no ano de 2000 passou a ser considerada “Sítio do Patrimônio Mundial Natural”, pela UNESCO. Importante destacar os quase 90 mil hectares só em remanescentes de Mata Atlântica conservados, dentre eles quatro Parques Nacionais, um Refúgio de Vida Silvestre, 18 Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) e Áreas de Alto Valor de Conservação. A região, junto com o Norte do Espírito Santo, integra a Hileia Baiana (ou floresta de tabuleiro), que são áreas de florestas que possuem elementos típicos da Mata Atlântica e espécies com características da Floresta Amazônica (ABAF, 2022).

A região da Costa do Descobrimento é composta por importantes remanescentes de Mata Atlântica, sendo 75% presentes nas Unidades de Conservação no Parque Nacional do Pau Brasil, Parque Nacional e Histórico do Monte Pascoal, Parque do Descobrimento e na RPPN Veracel.

Dentre essas áreas de preservação do bioma Mata Atlântica na região da Costa do Descobrimento, a RPPN Estação Veracel, com 6.069 hectares de floresta preservada, está entre as 20 de maior diversidade arbórea do mundo. Além da grande variedade arbórea existente nesta área preservada, a reserva também é reconhecida por possuir uma grande variedade de animais silvestres, muitos deles ameaçados de extinção. Distante cerca de sete quilômetros em linha reta do Parque Nacional do Pau-Brasil, a RPPN Veracel integra o Corredor Central da Mata Atlântica, reconhecido pela Unesco por sua importância para a conservação da biodiversidade (ABAF, 2022).

Devido à comprovada relevância ambiental dessa região, desde a última década vem sendo implantados diversos projetos de restauração florestal (ABAF, 2022).

Em 2009 foi iniciado o projeto com a participação de oito instituições que atuam no litoral Sul da Bahia, entre elas Natureza Bela, IBIO e TNC, com o objetivo de restaurar áreas nos Parque Nacional e Histórico do Monte Pascoal e Parque Nacional Pau-Brasil (NOVA MATA, 2013), uma iniciativa para estabelecer a conectividade (formação de corredores ecológicos) entre os Parques Nacionais, as RPPNs e outros fragmentos de matas importantes existentes hoje na região (ABAF, 2022). No ano de 2016 a Conservação Internacional financiou a restauração de 20 hectares em área antropizada na Fazenda Nossa Senhora de Fátima, no município de Porto Seguro. Em 2018 mais 210 hectares foram restaurados, financiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (100 ha PARNA Pau Brasil; 57 ha PARHNA Monte pascoal e; 53 ha em Terra Indígena de Barra Velha).

Outra iniciativa na área de restauração florestal é o Programa Mata Atlântica executado pela empresa Veracel Celulose S/A. O programa tem como principal objetivo restabelecer corredores de biodiversidade através de plantio em mosaico, onde os vales são preservados, em conjunto com as áreas de reserva legal e de preservação permanente, permitindo interligar os inúmeros remanescentes de mata existentes, formando os corredores de biodiversidade e contribuindo para a preservação de espécies importantes deste bioma. Até 2005, foram recuperados mais de 1.100 hectares em diferentes projetos que permitirão interligar importantes fragmentos florestais (VERACEL, 2005).

Apesar da região se destacar pela conservação de importantes fragmentos da Mata Atlântica, a preservação da fauna e da flora ainda sofre ameaça constante devido à prática da caça, captura de animais silvestres e extração ilegal de árvores nativas, principais crimes ambientais registrados no território da Costa do Descobrimento. De acordo com dados da Companhia Independente de Polícia de Proteção Ambiental (CIPPA), de 2015 a 2018, foram resgatados mais de 11 mil animais silvestres que haviam sido retirados de seu habitat (ABAF, 2022).

Diante deste contexto, o esforço integrado de conservação e restauração da Mata Atlântica deve passar por uma padronização e atualização do conhecimento científico e empírico acumulado nesses temas, incluindo uma contextualização temporal desse conhecimento e a sua tradução em ações específicas, buscando sempre o referencial teórico que sustentava a adoção dessas ações (RODRIGUES et al., 2009).

4- Materiais e Método

4.1- Área de Estudo

As coletas de dados foram realizadas em quatro áreas de restauração florestal pertencentes à empresa Veracel Celulose S/A durante os meses de Nov/21 a Fev/22 (Tabela 1). Todas as áreas encontram-se na região da Costa do Descobrimento, no estado da Bahia (Figuras 3, 4, 5, 6, 7). O clima da região, pela classificação de Köppen, foi identificado como do tipo Af, ou seja, tropical úmido ou superúmido, sem estação seca. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, totalizando 1.500 mm anuais (EMBRAPA, 2022). A região esta inserida no bioma Mata Atlântica onde ocorrem as florestas de tabuleiros – uma subunidade da Floresta Ombrófila Densa (MAGALHÃES, 2018) - que é um tipo de vegetação caracterizada por árvores de folhas largas, sempre-verdes (perenifólia), de duração relativamente longa, cujo dossel é de até 50 m, com árvores emergentes de até 40 m de altura (RBMA, 2022). Na região de estudo predominam os solos típicos dos Tabuleiros Costeiros, originados a partir dos sedimentos do grupo Barreiras, representados principalmente por Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, pobres em matéria orgânica, distróficos e álicos (ASSIS et al., 2003).

Tabela 1: Idade, tamanho e localização das áreas de restauração florestal.

Projeto	Area	Idade (em anos)	Tamanho (em ha)	Lat.	Long.
Inhaiba	A1	28	0.43	16°19'55.69"	39°20'21.01"
	A2	28	0.65	16°19'17.13"	39°18'50.86"
Vinhatico	A1	22	6.2	16° 5'17.88"	39°25'7.56"
	A2	22	0.5	16° 5'3.49"	39°24'53.33"
Imbiriba II	A1	18	3.4	16°25'40.09"	39°18'41.56"
	A2	18	1.2	16°25'4.14"	39°17'26.89"
Putumuju	A1	8	0.25	16° 6'21.98"	39°26'1.61"
	A2	8	0.3	16° 6'32.44"	39°25'58.39"



Figura 3: Localização da região da Costa do Descobimento-BA.

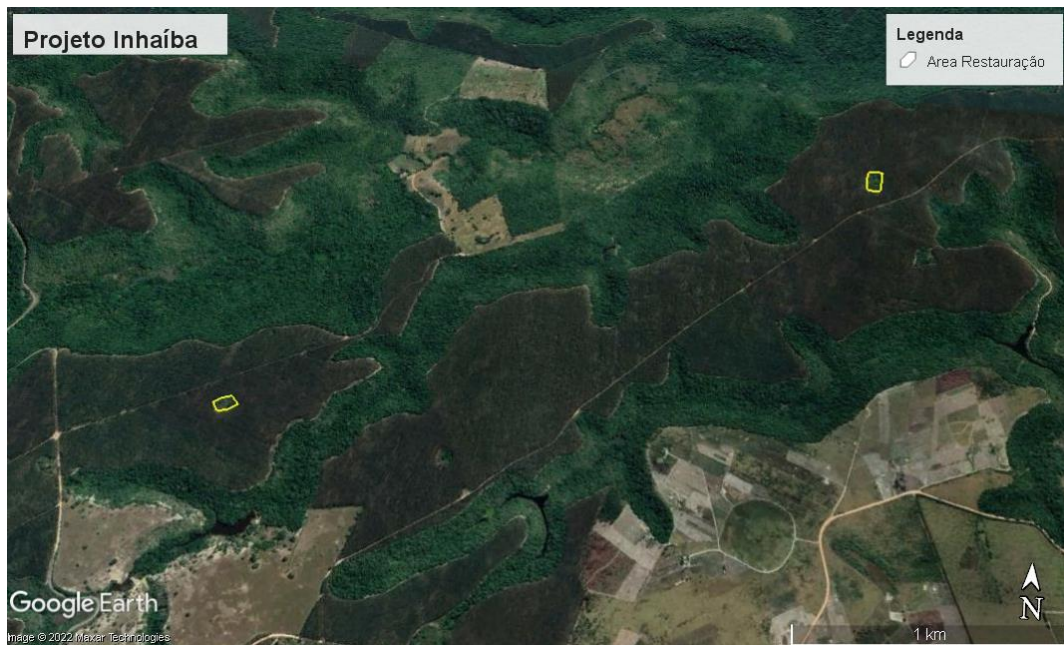


Figura 4: Áreas de restauração projeto Inhaíba. Fonte: Google Earth®.



Figura 5: Áreas de restauração projeto Vinhático. Fonte: Google Earth®.

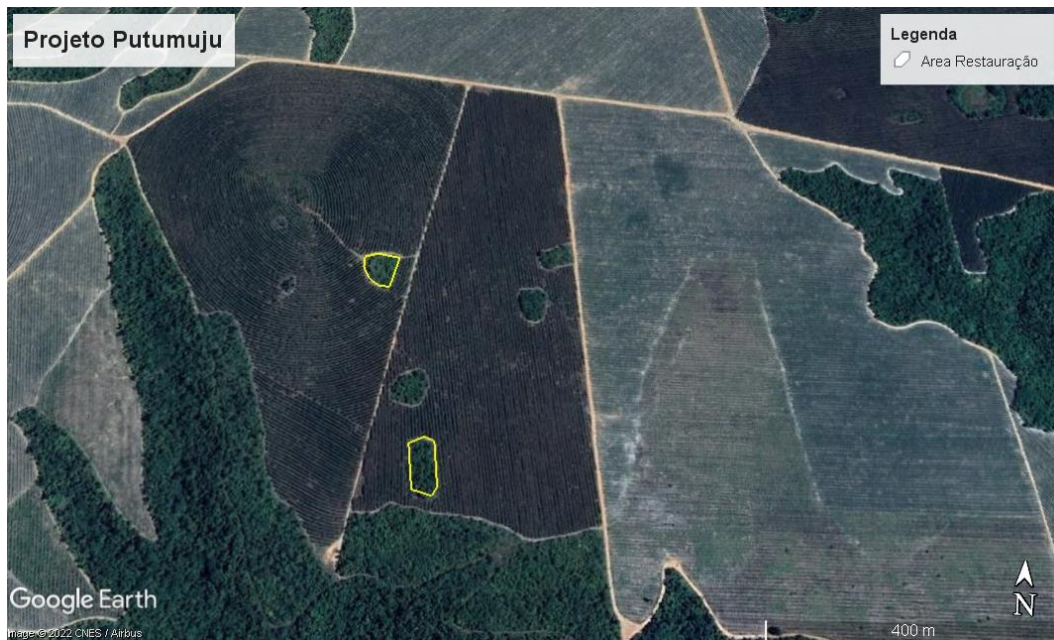


Figura 6: Áreas de restauração projeto Putumuju. Fonte: Google Earth®.



Figura 7: Áreas de restauração projeto Imbiriba II. Fonte: Google Earth®.

4.2- Coleta de dados

As áreas de coleta de dados da empresa Veracel Celulose SA foram disponibilizadas através da lista dos projetos de restauração florestal do PMA e arquivos shapefile. Foram selecionadas para o estudo, quatro áreas de restauração florestal com idades distintas (08; 18; 22 e 28 anos). Para cada idade foram selecionadas duas áreas (A1 e A2) para a coleta de dados do inventário florestal.

Para a realização do inventário florestal, em cada área foram instaladas parcelas (unidades amostrais de 04 m x 25 m), sendo cinco parcelas para área com até um hectare e uma parcela a mais para cada hectare adicional (área com mais de 01 ha) (VIANI et al., 2013).

Nas parcelas, todos os indivíduos arbóreos, com altura acima de 1,5m foram mensurados quanto à sua circunferência na altura do peito (CAP), com auxílio de uma fita centimetrada (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13). Posteriormente, os dados de circunferência (CAP) foram convertidos em diâmetro (DAP) dividindo-se o valor de leitura da CAP por 3,14, resultando no valor de (DAP).

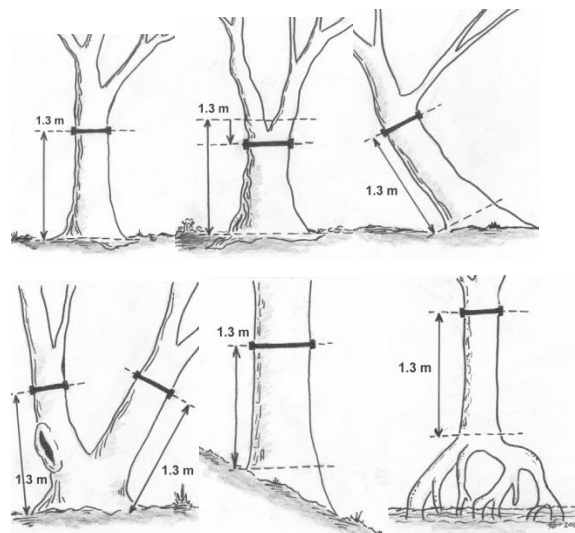


Figura 8: Medidas de DAP em diferentes tipos de fustes.

Adaptado de Pearson *et al* 2005.



Figura 9: Alocação de parcela em área de restauração. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 10: Marcação da parcela utilizando tinta spray. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 11: Medição de CAP em troco bifurcado com uso de fita centimetrada.
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 12: Medição de CAP com uso de fita centimetrada. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 13: Anotação de dados de campo. Fonte: Arquivo pessoal.

4.3 Análise de dados

4.3.1- Cálculo da biomassa arbórea e Carbono Equivalente

Para estimar a biomassa arbórea foi adotada a equação alométrica geral para floresta tropical, com pluviosidade média de 900 a 1500 mm e com DAP máx. de 63 cm, proposta por Brown (2005) $Biomassa = 0.2035 \times DAP^{2.3196}$. A biomassa de cada indivíduo arbóreo foi estimada nas unidades amostrais pelo método não destrutivo. A partir dos resultados de biomassa acima do solo, foi calculada a biomassa abaixo do solo, estimada em 20% dos resultados obtidos da biomassa acima do solo. Posteriormente foi somada as biomassa acima e abaixo do solo e multiplicada por 0,5, que é a fração desse elemento contida em uma unidade de biomassa (SILVEIRA, 2010), para obter o Carbono Total (CT). Com os dados de CT, foi possível estimar o Carbono Equivalente, multiplicando o resultado do CT por 3,66, que é o fator de conversão dos pesos atômicos da molécula de C (peso atômico 12) para a de CO₂ (peso atômico 44), que é o gás sobre o qual é valorado o serviço da floresta de fixar carbono (SILVEIRA 2010). Para cada uma das oito áreas estudadas foi calculado o carbono equivalente em toneladas/ha.

4.4- Análise Estatística

Para escolha da análise estatística foi verificado, inicialmente, se os dados apresentavam distribuição normal, através do teste de Shapiro Wilk ($W = 0.77663$, $p\text{-value} = 4.937e^{-07}$). Os dados de biomassa não atenderam aos pressupostos para aplicação da ANOVA, desta forma, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn (em Anexo), para verificar a relação entre a biomassa arbórea, o estoque de carbono equivalente e tempo de restauração florestal (em anos). Todas as análises foram realizadas com nível de significância de 5%.

As comparações da biomassa entre as diferentes idades foram representadas através de um gráfico de caixas (boxplot). Todas as análises foram realizadas no programa estático R Studio.

5- RESULTADOS

Foram amostrados 1.030 indivíduos, sendo 443 identificados, resultando em 21 espécies, pertencentes a 10 famílias botânicas. A família Fabaceae foi a mais representativa nas áreas. O murici (*Byrsonima sp*) foi a espécie encontrada em quase todas as áreas amostradas, a exceção na área A2 do projeto Vinhático. Foi observado que na área A1 do Projeto Vinhático e na área A2 do Projeto Imbiriba II foram feitas intervenções com o plantio de mudas para restauração florestal (restauração ativa). Esse fato pode ser constatado através das linhas de plantio observadas nas áreas com espaçamento definido (3 x 2 m). Nas demais áreas dos projetos a restauração foi realizada possivelmente com o isolamento das áreas e a condução da regeneração natural (restauração passiva). Os resultados demonstram que a área A1 do projeto Vinhático, de 22 anos de restauração, que teve plantio de mudas (restauração ativa), apresentou valores de biomassa e de carbono equivalente maiores se comparado com as demais áreas de restauração florestal. O somatório da biomassa das parcelas na área A1 do projeto Vinhático, foi maior estatisticamente (Kruskal-Wallis chi-squared = 23.5137, $df = 7$, $p\text{-value} = 0$) que o somatório da biomassa nas parcelas da área A1 do projeto Imbiriba II (18 anos de restauração) e da área A1 do projeto Putumuju (08 anos de restauração) (Figura 14). Os valores das médias e desvio padrão da biomassa por área de projeto de restauração estão representados na Tabela 2. A riqueza e abundância de espécies, assim como a biomassa estão representadas por parcela na Tabela 3. A tabela 4 apresenta os resultados de Biomassa ($t.ha^{-1}$) e de Carbono Equivalente ($t.ha^{-1}$), obtidos a partir dos dados de campo do inventário florestal, para cada área de restauração.

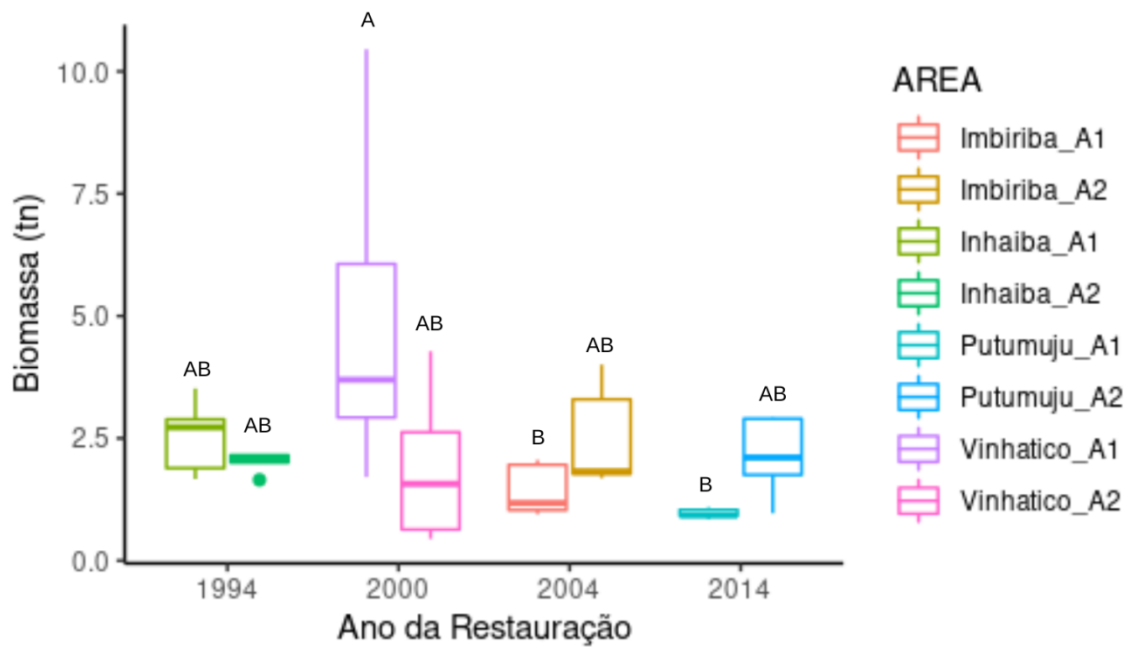


Figura 14: Biomassa das áreas amostradas de acordo com a idade.

Tabela 2: Média e desvio padrão da biomassa (em ton) por área

Projeto	Área	Média	Desvio	N Parcela
Putumuju IV	A1	4.87982	± 0.0994	n= 5
	A2	11.63854	± 0.4500	n= 5
Imbiriba II	A1	7.75654	± 0.2987	n= 7
	A2	11.85063	± 0.5192	n= 5
Vinhático	A1	25.07233	± 1.4357	n= 10
	A2	10.4439	± 0.8650	n= 5
Inhaíba	A1	3.93017	± 0.1661	n= 5
	A2	6.11644	± 0.3128	n= 5

Tabela 3: Dados descritivos de cada parcela amostrada nos cinco projetos estudados.

PROJETO	AREA	PARCELA	ABUNDÂNCIA	RIQUEZA	BIOMASSA (ton)	IDADE (anos)
Putumuju IV	A1	P1	12	3	0.5956	8
		P2	12	3	0.5676	8
		P3	20	1	0.5043	8
		P4	8	3	0.4042	8
		P5	11	3	0.3682	8
	A2	P1	14	4	1.5846	8
		P2	10	3	0.9577	8
		P3	12	3	1.1518	8
		P4	21	4	1.5965	8
		P5	9	4	0.5287	8
Imbiriba II	A1	P1	41	4	0.5310	18
		P2	51	3	1.1245	18
		P3	39	4	0.4708	18
		P4	73	1	1.0231	18
		P5	55	3	1.1171	18
		P6	29	3	0.6437	18
		P7	36	4	0.5194	18
	A2	P1	24	10	0.9968	18
		P2	19	6	0.9688	18
		P3	13	6	0.5342	18
Vinhático	A1	P1	22	3	5.7121	22
		P2	15	6	1.5659	22
		P3	27	6	3.6277	22
		P4	19	8	1.7017	22
		P5	23	5	1.6942	22
		P6	24	4	1.4893	22
		P7	13	3	0.9337	22
		P8	26	5	3.6346	22
		P9	21	4	2.3395	22
		P10	21	6	2.3736	22
A2	P1	9	2	0.8574	22	
	P2	7	1	1.4347	22	
	P3	8	3	2.3396	22	
	P4	3	1	0.3476	22	
	P5	6	3	0.2427	22	
Inhaíba	A1	P1	13	5	0.4378	28
		P2	21	5	0.5583	28
		P3	11	4	0.5296	28
		P4	9	3	0.1854	28
		P5	13	6	0.2540	28
	A2	P1	17	4	1.1169	28
		P2	20	6	0.7182	28

PROJETO	AREA	PARCELA	ABUNDÂNCIA	RIQUEZA	BIOMASSA (ton)	IDADE (anos)
		P3	13	4	0.4033	28
		P4	13	5	0.4139	28
		P5	11	4	0.4060	28

Tabela 4: Valores para Biomassa ($t \cdot ha^{-1}$) e Carbono Equivalente ($t \cdot ha^{-1}$) calculado para cada área a partir dos dados de biomassa total.

Projeto	Area	Idade (anos)	Biomassa ($t \cdot ha^{-1}$)	C_Eq ($t \cdot ha^{-1}$)
Inhaíba	A1	28	146.8	268
	A2	28	103	188
Vinhatico	A1	22	250.7	458.8
	A2	22	104.4	191.2
Imbiriba II	A1	18	78.1	142
	A2	18	129.8	169
Putumuju	A1	8	48.8	89.2
	A2	8	116.4	213

6- DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos não foi possível observar um aumento gradual da biomassa arbórea em função do aumento da idade. Porém uma contribuição importante deste estudo foi mesurar os valores de biomassa e carbono equivalente para a região, que apresenta condições favoráveis para plantios de floresta. Isso pode ser constatado quando comparamos os valores obtidos com outros trabalhos realizados no bioma Mata Atlântica.

Alguns estudos avaliando a biomassa arbórea no bioma Mata Atlântica realizados por Azevedo et al. 2018; Ribeiro et al. 2010; Meira et al. 2020; Boina, 2007; Borges et al. 2010 estão descritos na Tabela 5, para efeito de comparação com o presente trabalho. Esses estudos foram conduzidos em diferentes regiões do país, avaliando a biomassa em distintas paisagens florestais (matas ciliares, florestas, reflorestamentos) e utilizando diferentes equações alométricas.

Azevedo et al. 2018, avaliou áreas de restauração florestal, com idades distintas (3, 5 e 7 anos), na Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. Os resultados encontrados por Azevedo et al. 2018, demonstram que o valor da biomassa arbórea e carbono estocado aumentaram a medida que a idade dos plantios de restauração avançaram. Segundo Azevedo et al. 2018, a presença de gradiente no estoque de carbono florestal em função do tempo se torna relevante no contexto de projetos de reflorestamento para fins de conservação ambiental. No âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), bem como dos projetos de Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD), estudos para estimar esses estoques são necessários já que a conservação de áreas florestais é uma forma eficiente de garantir, em longo prazo, a estimativa do crédito de carbono gerado.

Estudos conduzidos por Ribeiro et al. 2010, em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em estágio secundário médio (capoeira) no município de Viçosa-MG, encontraram estimativa para valores de biomassa das árvores igual a $38,99 \text{ t.ha}^{-1}$ e um estoque de carbono de $19,05 \pm 8,08 \text{ t.ha}^{-1}$. Esses valores encontrados por Ribeiro et al. 2010, são menores do que encontrado no presente trabalho e no estudo de Tiepolo e colaboradores (2002). Para Ribeiro et al. 2010, diversos fatores podem contribuir para a diferença de valores observada: métodos de amostragem usados foram distintos em relação ao seu estudo; uso de diferentes equações alométricas para estimativa da biomassa viva e; localização das áreas de estudo, mesmo sendo no bioma Mata Atlântica.

Resultados encontrados no estudo conduzido por Becknell et al. 2018, em floresta secundária no Parque Serra do Conduru, no sul da Bahia, mostraram que as maiores taxas de aumento de altura ou acúmulo de biomassa estão nas faixas etárias mais jovens. Segundo Becknell et al. 2018, essas taxas diminuem após os primeiros 15 anos de sucessão e se estabilizam a partir de então, sugerindo que a biomassa mediana aumenta 15 t.ha^{-1} na floresta secundária com menos de 10 anos e diminui para 6 t.ha^{-1} na floresta secundária entre 10 e 32 anos.

Meira e colaboradores (2020) estudando áreas de reflorestamento com 11 anos de implantação no estado de Sergipe, no bioma Mata Atlântica, encontrou valores de biomassa de $15,64 \text{ t.ha}^{-1}$ no primeiro levantamento ocorrido em 2014, aumentando para $21,13 \text{ t.ha}^{-1}$ no último levantamento feito em 2016. De acordo com, Meira e colaboradores (2020) foi observado um aumento gradual da biomassa aérea com o avanço da idade do reflorestamento. Ao longo da sucessão ecológica ocorre o incremento de biomassa em florestas tropicais em função do aumento na diversidade de espécies de estágios sucessionais mais avançados, que apresenta maior volume e ciclo longo de vida (Meira et al. 2020). Porém, segundo o autor, foi considerado para o estudo somente os indivíduos com $\text{CAP} \geq 15 \text{ cm}$ (circunferência a 1,30 m), logo uma parcela da biomassa e do carbono na forma de regeneração natural deixou ser contabilizada.

Outro estudo, desenvolvido por Boina (2007), em uma área de mata (Área de Preservação Ambiental – APA) pertencente à empresa CENIBRA, no bioma Mata Atlântica, no estado de Minas Gerais, encontrou valores para biomassa de $73,39 \text{ t.ha}^{-1}$ e de estoque de carbono de $36,70 \text{ t.ha}^{-1}$ na área 1; e biomassa $152,35 \text{ t.ha}^{-1}$ e de estoque de carbono de $76,17 \text{ t.ha}^{-1}$ para área 2. Esses valores foram obtidos através de análise dados de inventários florestais contínuos (2002 e 2007) e em determinações de densidades obtidas por amostragem de indivíduos selecionados.

Melo e colaboradores (2009), avaliaram a biomassa e o estoque de carbono fixado em área de reflorestamento heterogêneo com seis anos de idade em região de Cerradão. Seus resultados obtidos para biomassa e estoque de carbono foram, respectivamente, $39,0 \text{ t.ha}^{-1}$ e $15,2 \text{ t.ha}^{-1}$. Esses valores estão abaixo do estimado no presente trabalho. Esse valor inferior pode ser explicado pela diferença das condições edafoclimáticas das regiões onde foram realizados os estudos (Cerrado e Mata Atlântica), pela densidade de plantas por hectare e também pela idade diferente entre as áreas dos respectivos estudos.

Melo e Durigan (2006), avaliaram o estoque de carbono em restauração de mata ciliares nativas, com idade variando de 01 a 28 anos, em áreas do bioma Mata Atlântica e bioma Cerrado, na bacia do rio Paranapanema. De acordo com Melo e Durigan (2006) os resultados mostram que houve diferença nas taxas de incremento entre os plantios efetuados em região de Cerrado ($2,1 \pm 0,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), se comparados àqueles realizados na Mata Atlântica ($9,8 \pm 4,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Segundo Melo e Durigan (2006), os reflorestamentos, em especial naqueles casos em que houve coletas sequenciais de dados, mostram taxas mais altas de incremento em biomassa entre três e cinco anos, reduzindo-se a partir do décimo ano. Esses dados vão de encontro com os resultados obtidos por Beckenell et al. 2018.

Borges e colaboradores (2010), estudando o estoque de carbono em área de restauração com 10 anos de idade na Reserva de Guaracica, em Antonina-PR, obteve valor para áreas em estágio secundário inicial, em planície aluvial, de $67, 2 \text{ t.ha}^{-1}$. Os valores médios de carbono, segundo Borges et al. 2010, estão abaixo dos valores encontrados na literatura. O fator mais importante para este resultado é a idade do plantio, de apenas 10 anos, caracterizando uma restauração jovem. Além disso, no estudo Borges et al. 2010 foram consideradas somente as árvores plantadas na restauração, desconsiderando a avaliação da regeneração natural dentro das parcelas avaliadas. Segundo Shimamoto et al. 2014, citado por Borges et al. 2010, como a biomassa está relacionada com a idade da floresta e o grupo ecológico das espécies, o acúmulo de biomassa em um projeto de restauração pode variar bastante dependendo das proporções de espécies de crescimento rápido ou lento.

A área A1 de 22 anos do Projeto Vinhático obteve os maiores valores de biomassa e carbono equivalente em comparação com as demais. Uma possível explicação para esses resultados pode ser o monitoramento e os tratamentos silviculturais realizados nesta área. Segundo Rodrigues et al. 2013, o monitoramento é uma etapa essencial para avaliar o sucesso da restauração, tanto no que se refere à avaliação dos métodos usados, como para inferir se a área em restauração está seguindo uma trajetória ecológica desejada. As ações de restauração florestal ficariam incompletas sem o posterior retorno da investigação, sobre o que ocorreu após a intervenção. É a partir dos dados de monitoramento que se avalia a necessidade de ações corretivas à trajetória da restauração (RODRIGUES et al. 2013). Ainda de acordo com Rodrigues et al. 2013, alguns indicadores são importantes para avaliar se as metas de cada uma das etapas da restauração estão sendo atingidas. Dentre esses indicadores, alguns dados importantes necessitam ser observados como o nível de alastramento de herbáceas invasoras super dominantes, a presença de formigas-cortadeiras e o

estado edáfico para que, nas etapas seguintes, variáveis da trajetória ecológica, tais como a regeneração natural e a diversidade de espécies encontrada na área em restauração, possam ser avaliadas e adequadamente interpretadas. Estudos conduzidos por FERREZ, 2010 demonstram os efeitos dos tratamentos silviculturais sobre o crescimento das espécies nativas em projetos de restauração florestal. Os resultados dessa pesquisa mostram um aumento de até 3,6 vezes da biomassa lenhosa aérea em comparação ao tratamento sem os tratamentos silviculturais. De acordo com FERREZ 2010, um aspecto importante neste estudo foi que as árvores que tiveram os tratamentos silviculturais possuíam uma maior razão entre a biomassa lenhosa aérea e a biomassa de copa, sugerindo um melhor estado fisiológico das plantas o que pode proporcionar maiores taxas de fotossíntese e maior alocação de carbono para o tronco.

Estudo realizado por Stape et al 2007, no município do Anhembi-SP, em área de domínio da Mata Atlântica, avaliou as taxas de sequestro de carbono em diferentes sistemas de implantação e manejo da restauração florestal com 03 anos de idade. Os resultados obtidos demonstram que as maiores e mais aceleradas taxas de sequestro de carbono ($2,1 \text{ t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ocorreram nas composições florísticas com maior porcentagem de pioneiras (67%), com menor espaçamento de plantio (3m x 1m) e com maior qualidade silvicultural de preparo de solo, fertilização e controle de matocompetição.

Dessa forma, os resultados em ganhos de produção, comprovam que as espécies nativas tem alto potencial para estocagem de Carbono, estando em grande parte limitadas em seu crescimento por estresses ambientais, os quais podem ser aliviados ou até eliminados através das práticas de manejo silvicultural (FERREZ, 2010).

Tabela 5: Trabalhos com estimativa de biomassa arbórea em t.ha⁻¹.

Autores/Ano	Bioma	Localidade	Área	Idade (anos)	Biomassa (t.ha⁻¹)
Meira et al 2020	Mata Atlântica	Laranjeiras -SE	xx	11	21.13
Azevedo et al 2018	Mata Atlântica	Rio de Janeiro	REST1	3	39.88
			REST2	5	45.78
			REST3	7	71.24
Ribeiro et al. 2010	Mata Atlântica	Viçosa - MG	xx	30	38.99
Borges et al. 2010	Mata Atlântica	Antonina - PR	xx	10	67.2
Boina 2007	Mata Atlântica	Ipaba -MG	Mata 1	xx	73.39
		Ipaba -MG	Mata 2	xx	152.35
Presente trabalho (ano 2022)	Mata Atlântica	Porto Seguro-BA (Projeto Inhaíba)	A 1	28	146.8
			A 2	28	103
	Mata Atlântica	Eunápolis-BA (Projeto Vinhático)	A 1	22	250.7
			A 2	22	104.4
	Mata Atlântica	Porto Seguro-BA (Projeto Imbiriba II)	A 1	18	78.1
			A 2	18	129.8
	Mata Atlântica	Eunápolis-BA (Projeto Putumuju)	A 1	8	48.8
			A 2	8	116.4

7- CONCLUSÕES

- Não foi possível observar um aumento na biomassa e no estoque de carbono ao longo do tempo nos projetos de restauração florestal avaliados.
- Através dos resultados obtidos neste estudo e avaliando outros trabalhos executados em outras regiões do país, é possível afirmar que o uso de equações alométricas é uma metodologia eficiente para estimar a biomassa e o estoque de carbono equivalente em projetos de restauração florestal, mesmo que os resultados possam ser super ou subestimados.
- Com o aumento da biomassa ocorre também um aumento do estoque de CO₂ sequestrado pelas árvores, desde que os processos ecológicos da restauração florestal tenham uma evolução satisfatória.
- É importante destacar que o presente trabalho foi pioneiro em mensurar a biomassa e estoque de carbono equivalente em projetos de restauração florestal na região da Costa do Descobrimento, contribuindo com possíveis trabalhos futuros nesta área do conhecimento.
- O monitoramento das áreas é uma etapa importante que deve ser considerada na execução de projetos de restauração florestal. Os dados de monitoramento direcionarão as ações necessárias (controle de matocompetição, replantio de mudas, etc) para o sucesso dos processos ecológicos da restauração florestal.
- Os tratos silviculturais também são importantes no processo de restauração florestal. Os controles do matocompetição juntamente com as adubações de base e cobertura proporcionam um melhor desenvolvimento das espécies nativas plantadas, tendo resultados significativos no aumento da biomassa viva e conseqüentemente no estoque de carbono.

REFERÊNCIAS

ABAF **Associação Baiana de Empresas de Base Florestal**. Disponível em: <http://www.abaf.org.br/sul-da-bahia-e-destaque-em-preservacao-ambiental/>

ASSIS, D. S., MANZATTO, C.V., COUTINHO, S. C. **Zoneamento Agroecológico de Microbacias Hidrográficas da Costa do Descobrimento: Município de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, Bahia**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2003. 121 p.

AZEVEDO, A. D. DE.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. DOS. **Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica**. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 183-194, abr/jun. 2018. doi: 10.5380/ufv48i2.54447.

BECKNELL, J. M.; KELLER, M.; PIOTTO, D.; LONGO, M; SANTOS, M. N. DOS; SCARANELLO, M. A.; CAVALCANTE, R. B. O. DE; PORDER, S. **Landscape-scale lidar analysis of aboveground biomass distribution in secondary**. The Journal of the Association for Tropical Biology and Conservation, 2018.

BIOLOGIA NET. Disponível em: <https://www.biologianet.com/ecologia/ciclocarbono.htm#:~:text=O%20ciclo%20do%20carbono%20%C3%A9,al%C3%A9m%20de%20alguns%20compostos%20inorg%C3%A2nicos>

BITTENCOURT, S. R. M. DE; BUSCH, S. E.; CRUZ, M. R. DA. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-Ipea. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9474>

BOINA, A. **Quantificação de estoque de biomassa e de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Vale do Rio Doce, MG**. Viçosa, 2008. p. 89.

BORGES, R. A.; BORGES, A. V. P.; MATTAR, E. A.; SCHAFFER, L. H.; ANGELO, A. C.; CARPANEZZI, A. A.; NEVES, E. J. M.; BRITZ, R. M. DE. **Estoque de carbono em área de pastagens em restauração com espécies florestais do bioma Mata Atlântica no litoral do Paraná**. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45605/RICARDO%20AGUIAR%20BORGES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTRO, A. G. DE. **Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidrelétrica – CGH**. Guaratinguetá, 2017. 138 p.:il.

CHAVE, J. et al. **Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees**. *Glob. Change Biol.* 20: 3177-3190, 2014. DOI: 10.1111/gcb.12629.

COUTINHO, M. P.; RODRIGUES, L. A.; MENDONÇA, A. V. R. **Crescimento de mudas de Sesbania virgata (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila.** FLORESTA, Curitiba, PR, v. 35, n. 2, mai./ago. 2005.

CQNUMC **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html>

CREDICARBO. Disponível em: <https://credcarbo.com/carbono/credcarbo-empresa-especializada-em-creditos-de-carbono-no-brasil-e-exterior/#:~:text=Segundo%20Marcio%20Borges%2C%20em%202016,economia%20e%20tamb%C3%A9m%20do%20direito>

DECRETO FEDERAL N° 11.075/2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/decreto/D11075.htm

EMBRAPA FLORESTAS. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/>

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. **Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais.** In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D. Et Al. (Coord.). Restauração Ecológica De Ecossistemas Naturais. Botucatu: Fepaf, pp. 01-26.

FEREZ, A. P. C. **Efeito de praticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlantica.** Piracicaba, 2010. 104 p. : il.

GANDOLFI, S. **Uma Teoria sobre o Processo de Restauração Ecológica de Florestas Tropicais e Subtropicais: Proposta e Aplicação.** Tese de Livre Docência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 105p., 2017.

GULIN, G. **O mercado de carbono: Regulado e Voluntário. Conheça as principais diferenças e oportunidades.** Disponível em: <https://www.saesadvogados.com.br/2022/07/18/mercado-de-carbono-regulado-e-voluntario-conheca-as-principais-diferencas-e-oportunidades/>

KHAN ACADEMY. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-carbon-cycle>

KOPPEN, G. **Classificação Climática do município de Porto Seguro.** Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/porto-seguro/6090/#:~:text=Segundo%20a%20K%C3%B6ppen%20e%20Geiger,pluviosidade%20%C3%A9%20de%201201%20mm>

LACERDA, J. S.; Couto, H.T.Z.; HIROTA, M. M. H.; PASISHNNYK, N.; POLIZEL, J. L. 2009. **Estimativa da Biomassa e Carbono em Áreas Restauradas com Plantio de Essências Nativas.** METRVM, São Paulo, SP.

LEI Nº 9.985. **SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Presidência da República – Casa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm

LEI Nº 12.187/09

MACHADO, G. V. **Precificação do Carbono: riscos e oportunidade para o Brasil**. Nota Técnica EPE/DEA/GAB/014/2021.

MAGALHÃES, J. H. R. **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**. Nº 40(2). 2018. p. 93-122.

MEIRA, A. C. S.; MELLO, A. A. DE.; SANQUETTA, C. R.; FERREIRA, R. A. **Estimativa 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. doi: dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67298.

MELO, A. C. G. DE; DURIGAN, G. **Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil**. Scientia Forestalis, n. 71, p. 149-154, 2006.

MELO, A. C. G. DE; SOUSA, H. DE.; CONTIERI, W. A.; MALICIA, L. C. **Biomassa, fixação de carbono e estrutura da vegetação de Cerrado em restauração aos seis anos, Assis-SP**. Revista Instituto Florestal, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 73-78, jun. 2009.

MINISTÉRIO PÚBLICO DA BAHIA. **A Mata Atlântica na Bahia**. Disponível em: <http://www.ceama.mp.ba.gov.br/mata-atlantica.html?id=1353>

NOVA MATA. **Corredor Ecologico Monte Pascoal – Pau Brasil**. Disponível em: <https://novamata.org/iniciativa/corredor-ecologico-monte-pascoal-pau-brasil/>

PAIVA, D. S.; FERNANDES, L. G.; VENTURA, A. C. **Mercado Voluntário de Carbono: Análises de Cobenefícios de Projetos Brasileiros**. RAC, Rio de Janeiro, v19, n.1, art. 3, pp.45-64, Jan/Fev. 2015.

PALMER, M.; AMBROSE, R. F.; POFF L. N.; **Ecological Theory and Community Restoration Ecology**. Restoration Ecology, 1997. DOI: 10.1046/j.1526-100X.1997.00543.x

PEARSON, T.; WALKER S.; BROWN S. **Source book for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects**, 2005. p. 43.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Editora Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2001. p. 137-139.

RBMA – **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. Disponível em: http://www.rbma.org.br/anuario/mata_06_smar.asp_bio_flora.asp#:~:text=A%20floresta%20ombr%C3%B3fila%20densa%20%C3%A9,facilitar%20a%20drenagem%20da%20%C3%A1gua.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; SOUZA, A. L. DE. **Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de**

carbono em uma capoeira da zona da Mata Mineira. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.495-504, 2010.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I.; **Pacto pela Restauração da Mata Atlântica : referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: LERF/ESALQ Instituto BioAtlântica, 256 p. 2009.

SAMBUICHI, R.H.R.; MIELKE, M.S.; and PEREIRA, C.E.; **Nossas árvores: conservação, uso e manejo de árvores nativas no sul da Bahia** [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2009, 295 p. ISBN: 978-85-7455-515-7. Doi: 10.7476/9788574555157.

SANTELLI, A. **Revista National Geographic Brasil.** Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2020/02/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-o-brasil-pode-se-beneficiar-com-ele>.

STAPE, J.L; GANDARA, F.; SANTOS, J. D.; GUSSON, E.; CAMPOE, O. C.; SIXEL, R. M. M. **Taxas iniciais de sequestro de carbono em área de restauração florestal são dependentes dos sistemas de implantação e manejo adotados?** Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG.

SCIARRA, C. M. **Estimativa do potencial de estoque de carbono em modelos de restauração na floresta Estacional.** Curitiba, 2015. 23 p. : il.

SILVA, C. J., VALE, A. T., MIGUEL, E. P. **Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins.** Pesquisa Florestal Brasileira. Colombo, v. 35, n. 82, p. 63-75. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.82.822.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S. C.; BOTELHO, S. A.; FARIA, R. A. V. B.; TEIXEIRA, M. B. R.; MELLO, J. M. **Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais.** Scientia Forestalis. Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 943-953, dez. 2015. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.18.

SILVEIRA, P. **Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta Ombrófila Densa utilizando o método de derivação do volume comercial.** Floresta, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

The Nature Conservancy. Disponível em: https://www.tnc.org.br/sobre-atnc/onde-trabalhamos/mataatlantica/?qclid=EA1aIQobChMI2rzp4SM7QIVgRGRCh1VhwB7EAA_YAiAAEglwnfD_BwE.

VALOR ECONÔMICO. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/noticia/brasil-pode-liderar-mercado-voluntario-de-credito-de-carbono/>.

VARGAS, D. B.; DELAZERI, L. M. M.; FERREIRA, V. H. P. **Mercado de carbono voluntário no Brasil – na realidade e na prática.** FGV EESP. 2021.

VEÍCULO CELULOSE OnLine – USP/ESALQ. Disponível em: <http://www.celuloseonline.com.br>.

Veracel Celulose S.A. **Relatório de Sustentabilidade, 2005.** Disponível em: https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/rsdf2005_v3.pdf.

VIANI, R. A. G. **Protocolo de Monitoramento para Programas e Projetos de Restauração Florestal**, 2013. Disponível em: <https://www.pactomataatlantica.org.br/publicacoes>.

WRI **World Resources Institute**. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/09/6-maneiras-de-retirar-a-poluicao-gas-carbonico-co2-da-atmosfera>

WWF **World Wide Fund for Nature**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/informacoes/?uNewsID=6920&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=EAlaIQobChMI4saSvvvj9wIVCkWRCh3VYQOhEAAYAiAAEgKS7PD_BwE

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

ANEXO

Teste Tukey a 5% Biomassa e Carbono Equivalente

Biomassa				
factor(Parcela)	diff	lwr	upr	p
IM_P2-IM_P1	0.523714	-0.83566	1.883093	0.922165
IN1-IM_P1	0.474714	-0.66937	1.618802	0.889374
PB-IM_P1	-0.75129	-1.89537	0.392802	0.442519
PU_P1-IM_P1	-0.28629	-1.64566	1.073093	0.99751
PU_P2-IM_P1	0.389714	-0.96966	1.749093	0.983946
V1-IM_P1	1.731714	0.587627	2.875802	0.000395
V2-IM_P1	0.269714	-1.08966	1.629093	0.998293
IN1-IM_P2	-0.049	-1.32058	1.222582	1
PB-IM_P2	-1.275	-2.54658	-0.00342	0.048941
PU_P1-IM_P2	-0.81	-2.2783	0.658297	0.657821
PU_P2-IM_P2	-0.134	-1.6023	1.334297	0.99999
V1-IM_P2	1.208	-0.06358	2.479582	0.073688
V2-IM_P2	-0.254	-1.7223	1.214297	0.999295
PB-IN1	-1.226	-2.26424	-0.18776	0.010599
PU_P1-IN1	-0.761	-2.03258	0.510582	0.561183
PU_P2-IN1	-0.085	-1.35658	1.186582	0.999999
V1-IN1	1.257	0.218757	2.295243	0.008049
V2-IN1	-0.205	-1.47658	1.066582	0.999555
PU_P1-PB	0.465	-0.80658	1.736582	0.939931
PU_P2-PB	1.141	-0.13058	2.412582	0.1084
V1-PB	2.483	1.444757	3.521243	0
V2-PB	1.021	-0.25058	2.292582	0.202813
PU_P2-PU_P1	0.676	-0.7923	2.144297	0.825547
V1-PU_P1	2.018	0.746418	3.289582	0.000182
V2-PU_P1	0.556	-0.9123	2.024297	0.928485
V1-PU_P2	1.342	0.070418	2.613582	0.031823
V2-PU_P2	-0.12	-1.5883	1.348297	0.999996
V2-V1	-1.462	-2.73358	-0.19042	0.014043

Carbono Equivalente				
factor(Parcela)	diff	lwr	upr	p
IM_P2-IM_P1	0.957429	-1.53022	3.445077	0.922546
IN1-IM_P1	0.865429	-1.22824	2.959097	0.891292
PB-IM_P1	-1.37857	-3.47224	0.715097	0.439015
PU_P1-IM_P1	-0.52657	-3.01422	1.961077	0.997429
PU_P2-IM_P1	0.711429	-1.77622	3.199077	0.984171
V1-IM_P1	3.169429	1.075761	5.263097	0.000395
V2-IM_P1	0.493429	-1.99422	2.981077	0.998296
IN1-IM_P2	-0.092	-2.41898	2.234982	1
PB-IM_P2	-2.336	-4.66298	-0.00902	0.04848
PU_P1-IM_P2	-1.484	-4.17097	1.202967	0.65653
PU_P2-IM_P2	-0.246	-2.93297	2.440967	0.99999
V1-IM_P2	2.212	-0.11498	4.538982	0.07336
V2-IM_P2	-0.464	-3.15097	2.222967	0.999303
PB-IN1	-2.244	-4.14397	-0.34403	0.010577
PU_P1-IN1	-1.392	-3.71898	0.934982	0.561739
PU_P2-IN1	-0.154	-2.48098	2.172982	0.999999
V1-IN1	2.304	0.404027	4.203973	0.007904
V2-IN1	-0.372	-2.69898	1.954982	0.999579
PU_P1-P1	0.852	-1.47498	3.178982	0.939554
PU_P2-P1	2.09	-0.23698	4.416982	0.107747
V1-P1	4.548	2.648027	6.447973	0
V2-P1	1.872	-0.45498	4.198982	0.200897
PU_P2-PU_P1	1.238	-1.44897	3.924967	0.825003
V1-PU_P1	3.696	1.369018	6.022982	0.000179
V2-PU_P1	1.02	-1.66697	3.706967	0.927605
V1-PU_P2	2.458	0.131018	4.784982	0.031577
V2-PU_P2	-0.218	-2.90497	2.468967	0.999996
V2-V1	-2.676	-5.00298	-0.34902	0.014013

Legenda

IM_P1: Imbiriba área 1
 IM_P2: Imbiriba área 2
 V1: Vinhático área 1
 V2: Vinhático área 2
 IN1: Inhaíba área 1
 IN2: Inhaíba área 2
 PU_P1: Putumuju área 1
 PU_P2: Putumuju área 2
 PB: Pau Brasil

