

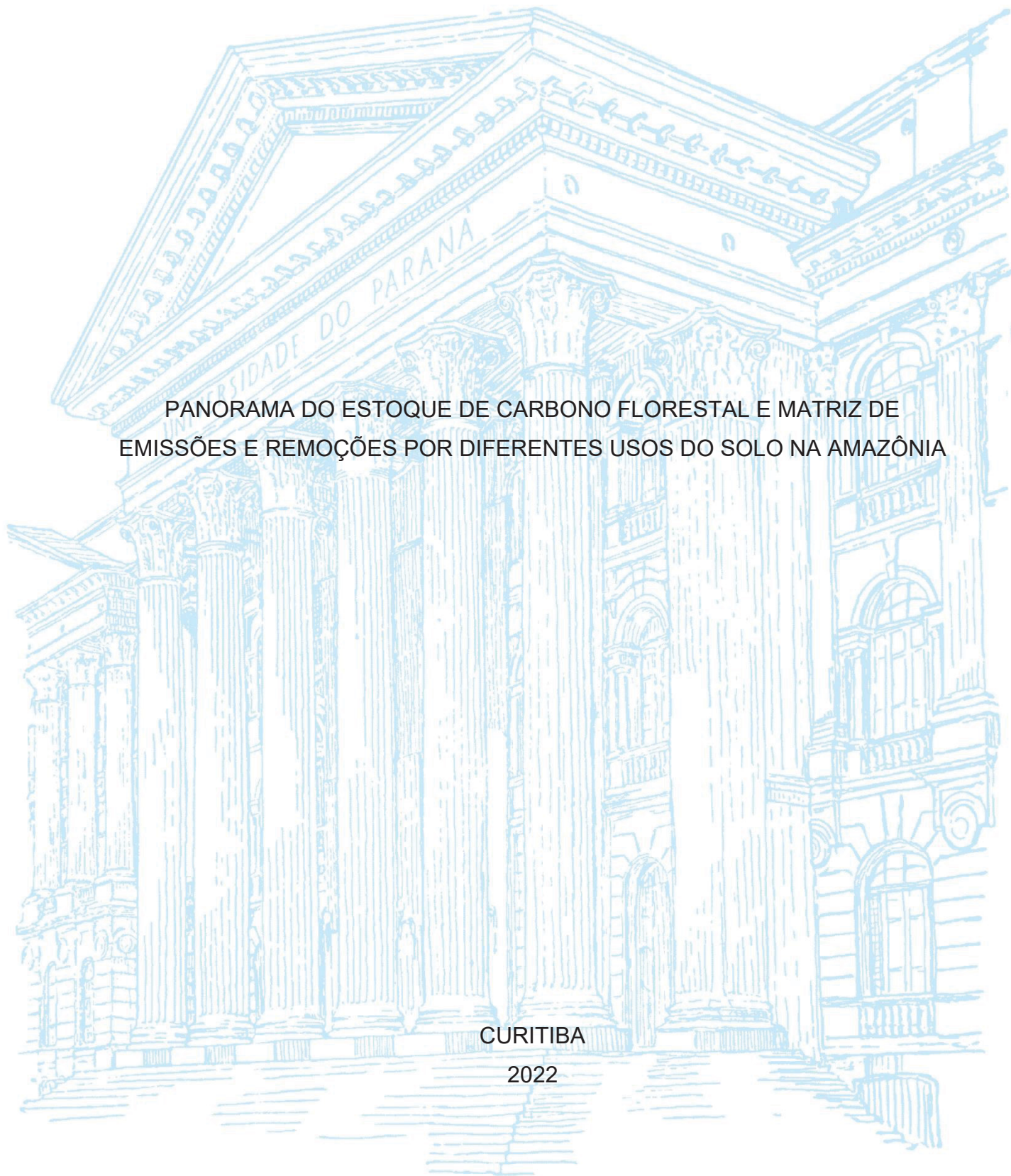
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO

PANORAMA DO ESTOQUE DE CARBONO FLORESTAL E MATRIZ DE
EMISSÕES E REMOÇÕES POR DIFERENTES USOS DO SOLO NA AMAZÔNIA

CURITIBA

2022



EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO

PANORAMA DO ESTOQUE DE CARBONO FLORESTAL E MATRIZ DE
EMISSÕES E REMOÇÕES POR DIFERENTES USOS DO SOLO NA AMAZÔNIA

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadores: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte e Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari

CURITIBA

2022

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Araujo, Emmanoella Costa Guaraná

Panorama do estoque de carbono florestal e matriz de emissões e remoções por diferentes usos do solo na Amazônia / Emmanoella Costa Guaraná Araujo. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadores: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 06/07/2022.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Dióxido de carbono atmosférico – Amazônia. 2. Biomassa florestal.
3. Efeito estufa (Atmosfera). 4. Carbono. 5. Solos. 6. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto. II. Dalla Corte, Ana Paula. III. Pelissari, Allan Libanio.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.289(811)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **EMMANOELLA COSTA GUARANÁ ARAUJO** intitulada: **PANORAMA DO ESTOQUE DE CARBONO FLORESTAL E MATRIZ DE EMISSÕES E REMOÇÕES POR DIFERENTES USOS DO SOLO NA AMAZÔNIA.**, sob orientação do Prof. Dr. CARLOS ROBERTO SANQUETTA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 06 de Julho de 2022.

Assinatura Eletrônica

08/07/2022 14:56:44.0

CARLOS ROBERTO SANQUETTA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

08/07/2022 18:24:24.0

JONATHAN WILLIAM TRAUTENMÜLLER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA)

Assinatura Eletrônica

08/07/2022 15:36:07.0

ALEXANDRE BEHLING

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

08/07/2022 14:16:47.0

GREYCE CHARLLYNE BENEDET MAAS

Avaliador Externo (AUTONOMA)

Assinatura Eletrônica

13/07/2022 08:46:36.0

ANE CRISTINE FORTES DA SILVA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO)

Avenida Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4212 - E-mail: pgfloresta@gmail.com

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 203814

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 203814

Aos professores que fizeram e fazem parte da minha formação, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo!

À minha família, em especial ao meu pai Edimilson Guaraná, que me ajudou a ser exatamente quem eu quis e a recomeçar quando eu precisei.

À Universidade Federal do Paraná, sobretudo ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo apoio institucional.

Ao professor Carlos Roberto Sanquetta pelo acolhimento, ensinamento e orientação, é uma honra ter o senhor na minha história acadêmica.

À professora Ana Paula Dalla Corte por ser quem é, uma mulher forte, inteligente e inspiradora, que apesar de tantas atribuições sempre consegue um tempo para ouvir seus alunos.

Ao professor Allan Libanio Pelissari, por contribuir significativamente com esta pesquisa e por estar sempre disponível e compartilhar seu conhecimento.

À Maria Emília, pessoa sem a qual não sei como seria possível. Você é luz e meu carinho, respeito e admiração por você é eterno. Te amo!

Aos demais funcionários que se dedicam ao funcionamento da Universidade Federal do Paraná, em especial ao David e Reinaldo.

Aos professores que contribuíram para que eu chegasse aqui, sobretudo à tia Selma, professora responsável pela minha alfabetização; aos professores Ricardo Calazans, Alvany Soares, Ana Lúcia Massena de Freitas, Maria José Belfort, presentes na minha formação do ensino fundamental e médio e; Tarcisio Viana, Marcelo Nogueira, Simone Mirtes, Lucia Chaves, José Antônio Aleixo da Silva, Marcio Rocha, Alexandre Behling, que participaram da minha graduação, mestrado e doutorado. Vocês, junto aos meus orientadores, despertaram meu interesse pela docência.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à todas as agências financiadoras, que possibilitam a realização de pesquisas e o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

À Rioterra e seus colaboradores, pelo apoio que possibilitou as condições necessárias para produzir este trabalho.

A Thiago Cardoso pela longa caminhada que já foi e pela que há de vir.

A Gabriel Orso, melhor parceiro que a vida poderia me dar, sem você eu não teria conseguido.

À Kyvia Pontes, Cibelle Reis e Tarcila Lins pelo colo, ouvidos, abraços, sorrisos e lágrimas.

Aos amigos Ageu Freire, Fernanda Fonseca, Rafael Brown, Rudson Oliveira, Cícero Dolácio, Nininho, Maurício, Lucas Moura, Franciele Alba, Maycon Thuan, pelos rolês, cafés, hambúrgueres e cervejas.

Aos companheiros do laboratório BIOFIX, sobretudo ao José Augusto Spiazzi Favarin, Thiago Wendling, Iaci Dandara, Franciel Rex, Ramon Leite, Mauro Karasinski, Iasmin Portela, Gabriel Santana, Ernandes Neto, Hudson Veras, Joana Keila e Darcy Santos.

Aos que trabalham incansavelmente por uma educação melhor, muito obrigada.

Recomece sempre.
Observe a natureza.
Tudo nela é recomeço.

(Blainne Sharon)

RESUMO

A Amazônia possui as maiores florestas tropicais do mundo, sendo imprescindível para o estoque de biomassa e carbono em nível global. Compreender como as mudanças no uso e na ocupação do solo impactam esses estoques é fundamental para adoção de medidas que contribuem para mitigação das mudanças climáticas. Esta pesquisa teve por objetivo realizar a revisão sistemática das publicações sobre estoques de biomassa e carbono na Floresta Amazônica, bem como determinar o estoque de carbono em plantios de restauração, soja e pastagens no estado de Rondônia. Para revisão sistemática, o banco de dados foi gerado a partir da plataforma *Scopus*, com uso de palavras-chave, até o ano de 2020. Um total de 2.042 publicações foram encontradas, lidas e enquadradas em critérios de inclusão, sendo selecionados 786 trabalhos para análise detalhada. Para avaliação local foram utilizadas 50 parcelas de cada cobertura do solo, com a coleta de amostra vegetal acima do solo e raízes, para quantificação da biomassa seca e teores de carbono dos compartimentos. Com o resultado da avaliação sistemática, foi possível perceber que o Brasil é o país que possui maior número de estudos sobre a temática, enquanto países como o Suriname e a Guiana ainda carecem de mais pesquisas. No Brasil, a maior quantidade de estudos ocorreu nos estados do Pará e Amazonas, enquanto o Tocantins e o Acre foram os menos pesquisados. No que diz respeito ao estado da arte, algumas lacunas foram observadas, como a quantidade de pesquisas em ambientes de uso alternativo do solo, que representou menos da metade das pesquisas. Também foi observada uma baixa quantidade de estudos relacionados às raízes e necromassa, que juntos representaram cerca de 30% das pesquisas. A maioria dos métodos utilizados para determinação da biomassa e do carbono foram indiretos, com o uso de equações para estimar a biomassa (42,8%) e fator de conversão para estimar o carbono (65,64%). No ambiente florestal, foi possível perceber que a quantidade de estudos sobre estoque de carbono na biomassa foi bem maior que nas pesquisas relacionadas ao carbono do solo, o que ressalta a necessidade de maior avaliação do ambiente edáfico, dada sua importância para o estoque de carbono do sistema. Além do mais, percebeu-se que a maioria das pesquisas avaliaram apenas os 20 primeiros centímetros de solo, e que pouco se conhece sobre os estoques em maiores profundidades. Com relação a avaliação local, os teores médios de carbono para biomassa total em plantios de restauração foram 45,91%, já soja foi 46% e em pastagem foi 42,9%. A soma dos estoques de carbono acima e abaixo do solo foram 25,15 Mg C.ha⁻¹, 5,42 Mg C.ha⁻¹ e 3,48 Mg C.ha⁻¹, respectivamente. Comparando os resultados com dados de floresta madura da tipologia Floresta Ombrófila Aberta, obtidos na literatura, todas as mudanças implicam em emissões de carbono, sendo os plantios de restauração o tipo de cultivo com menor impacto. A compilação de dados gerada nesta revisão sistemática torna esta pesquisa relevante para nortear novos estudos na Floresta Amazônica, bem como direcionar pesquisas sobre biomassa e carbono em andamento.

Palavras-chave: Biomassa acima do solo. CO₂. Floresta Tropical Úmida. Gases de Efeito Estufa. Mudança no uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

The Amazon has the largest tropical forests in the world, which are essential for the biomass and carbon stock at a global level. It is essential to understand how changes in land use and occupation impact these stocks, mainly to adopt measures that contribute to mitigate climate change. This research aimed to carry out a systematic review of publications on biomass and carbon stocks in the Amazon Forest, as well as to determine the carbon stock in restoration plantations, soybean crop and pastures in the state of Rondônia. For the systematic review, a database was generated from the Scopus platform, using a query, until the year 2020. A total of 2,042 publications were found and read, and 786 papers met the inclusion criteria and were selected for a detailed analysis. For the local evaluation, 50 plots of each soil cover were used, and plant samples of both above and belowground were collected, for quantification of dry biomass and carbon contents of each plant compartment. The result of the systematic evaluation of papers, it was possible to perceive that Brazil is the country that has the largest number of studies on the subject, while countries such as Suriname and Guyana still need more research. In Brazil, the largest number of studies occurred in the states of Pará and Amazonas, while Tocantins and Acre were the least researched. Regarding to the state of art, some gaps were observed, such as the small amount of research on alternative land use environments. A fewer number of studies related to roots and necromass were also observed. Most of the methods used to determine biomass and carbon were indirect measures, using equations to estimate biomass (42.8%) and conversion factor to estimate carbon (65.64%). In the forest environment, it was possible to perceive that the number of studies on carbon stock in biomass was much higher than in research related to soil carbon, which highlights the need for further evaluation of the edaphic environment, given its importance for carbon stock. Furthermore, it was noticed that most researches evaluated only the first 20 centimeters of soil, and that little is known about stocks at greater depths. Regarding the local evaluation, the average carbon content for total biomass in restoration plantations was 45.91%, while soybean was 46% and in pasture it was 42.9%. The sum of above and below ground carbon stocks were 25.15 Mg C.ha⁻¹, 5.42 Mg C.ha⁻¹ and 3.48 Mg C.ha⁻¹, respectively. Comparing the results with data from mature forest in the literature, all changes resulted in carbon emissions, with restoration plantations being the type of land cover with the least emission. The compilation of data generated in this systematic review makes this research relevant to guide new studies in the Amazon Forest, as well as to direct ongoing research on biomass and carbon.

Keywords: CO₂. Rainforest. Greenhouse gases. Carbon sink.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LIMITES DA FLORESTA AMAZÔNICA NA AMÉRICA DO SUL E LOCAIS DE COLETA DE BIOMASSA DE PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO, PASTAGEM E SOJA, NO ESTADO DE RONDÔNIA.	25
FIGURA 2: COMPARTIMENTOS UTILIZADOS PARA CONTABILIZAR O ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM PLANTIO DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	26
FIGURA 3: ESQUEMA DAS PARCELAS COM A LOCALIZAÇÃO DOS GABARITOS PARA COLETA DA SERAPILHEIRA EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	31
FIGURA 4: ESQUEMA DAS PARCELAS COM A LOCALIZAÇÃO DA LINHA DE INTERCEPTAÇÃO PARA COLETA DA NECROMASSA GROSSA EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.	32
FIGURA 5: NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO, INDEXADAS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA FLORESTA AMAZÔNICA.	35
FIGURA 6: PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES, COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	36
FIGURA 7: PALAVRAS-CHAVE MAIS UTILIZADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	38
FIGURA 8: AUTORES COM MAIOR QUANTIDADE DE ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	39
FIGURA 9: TEIA DE COCITAÇÕES (A) DOS AUTORES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , COM ÊNFASE NA TEIA COM MAIS INTEGRAÇÕES (B), RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	40
FIGURA 10: PUBLICAÇÕES AO LONGO DO TEMPO DOS AUTORES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	41

FIGURA 11: PRINCIPAIS PERIÓDICOS COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	42
FIGURA 12: PRINCIPAIS AGÊNCIAS FINANCIADORAS DE ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	43
FIGURA 13: PAÍSES (A) E ESTADOS BRASILEIROS (B) COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	45
FIGURA 14: TIPOS DE VEGETAÇÃO COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	46
FIGURA 15: COMPONENTES AVALIADOS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	47
FIGURA 16: FRAÇÕES DA BIOMASSA AVALIADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	48
FIGURA 17: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE BIOMASSA NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	49
FIGURA 18: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	51
FIGURA 19: PRINCIPAIS EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	53
FIGURA 20: PROFUNDIDADES MÁXIMAS DE SOLO AVALIADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	55

FIGURA 21: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE CARBONO DOS SOLOS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.....	56
FIGURA 22: CONTRIBUIÇÃO DE CADA COMPARTIMENTO NA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO TOTAL, EM PORCENTAGEM, PARA PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.	59
FIGURA 23: RESÍDUOS ESTUDENTIZADOS DOS AJUSTES DOS MODELOS ALOMÉTRICOS DA BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	62
FIGURA 24: DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CARBONO NAS BIOMASSAS ACIMA E ABAIXO DO SOLO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	69
FIGURA 25: DISTRIBUIÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO NAS BIOMASSAS ACIMA E ABAIXO DO SOLO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	70
FIGURA 26: COMPARAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO DAS DIFERENTES COBERTURAS FLORESTAIS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	72
FIGURA 27: COMPARAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIAS COM OS RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.	72

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR OS VALORES DE BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.	29
QUADRO 2: FATORES DE CONVERSÃO UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	52
QUADRO 3: MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS <i>SCOPUS</i> , RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DOS MODELOS ALOMÉTRICOS TESTADOS PARA BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	60
TABELA 2: ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS MODELOS ALOMÉTRICOS TESTADOS PARA BIOMASSA TOTAL E COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	61
TABELA 3: CONTRIBUIÇÃO DA NECROMASSA NOS DIFERENTES ESTÁGIOS DE DECOMPOSIÇÃO EM PLANTIO DE REFLORESTAMENTO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	66
TABELA 4: BIOMASSA, TEOR E ESTOQUE DE CARBONO DE PASTAGENS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.....	67
TABELA 5: BIOMASSA, TEOR E ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.....	68
TABELA 6: COMPARAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA DE NECROMASSA COM OS RESULTADOS DAS ANÁLISES ANÁLISES REALIZADAS NO SUDOETE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 HIPÓTESES	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo geral	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	22
2.2 ESTADO DA ARTE	23
2.3 AVALIAÇÃO LOCAL DE BIOMASSA E CARBONO	24
2.3.1 Avaliação dos plantios de restauração florestal	25
2.3.1.1 Determinação da biomassa por árvore individual.....	27
2.3.1.2 Determinação dos teores e estoques de carbono	28
2.3.1.3 Ajuste de modelos alométricos.....	29
2.3.1.4 Avaliação da necromassa fina (serapilheira).....	30
2.3.1.5 Avaliação da necromassa grossa.....	31
2.3.2 Avaliação da pastagem	32
2.3.3 Avaliação da soja	33
2.3.4 Dióxido de carbono equivalente e comparação entre os ambientes	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	35
3.2 ESTADO DA ARTE	43
3.3 AVALIAÇÃO LOCAL DE BIOMASSA E CARBONO	56
3.3.1 Avaliação dos plantios de restauração	56
3.3.1.1 Determinação da biomassa por árvore individual.....	56
3.3.1.2 Determinação dos teores e estoques de carbono	58
3.3.1.3 Ajuste de modelos alométricos.....	60
3.3.1.4 Avaliação da necromassa fina (serapilheira).....	64
3.3.1.5 Avaliação necromassa grossa.....	65
3.3.2 Avaliação da pastagem	66
3.3.3 Avaliação da soja	68
3.3.4 Dióxido de carbono equivalente e comparação entre os ambientes	71

4 CONCLUSÃO	79
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICE.....	93

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica está entre os mais importantes sumidouros de carbono, abrigando as maiores florestas tropicais do mundo (HUBAU et al., 2020; PHILLIPS et al., 2017). Porém, os altos níveis de desmatamento ao longo dos anos, combinados com a perda de carbono do solo, corroboraram com a redução da sua capacidade de armazenamento de carbono, aumentando a emissão de CO₂ (GATTI et al., 2021). Compreender os processos que ocorrem na Floresta Amazônica é fundamental para o desenvolvimento de ações conservacionistas e políticas de manejo adequadas.

As florestas desempenham um papel imprescindível na manutenção climática global, uma vez que, por meio do processo de fotossíntese, estocam carbono da atmosfera em sua biomassa (BROWN; LUGO, 1982; SANTORO et al., 2021; TAIZ et al., 2017). A partir da quantificação da biomassa, é possível estimar o estoque de carbono de um sistema, bem como seu potencial emissão ou remoção de dióxido de carbono atmosférico (CO₂), o que ressalta a importância da realização de inventários de diferentes escopos, como subsídio para elaboração de medidas para mitigação do aquecimento global (SALUNKHE et al., 2018). As quantificações periódicas são importantes para observar processos de mudança no uso e ocupação do solo, que quebram o ciclo de vida longa da floresta, culminando na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs).

É importante lembrar que nos últimos anos, o crescimento populacional fez aumentar a demanda e a necessidade de utilização dos recursos naturais (BORETTI; ROSA, 2019). Esse aumento pode estar intimamente relacionado com a degradação dos solos e a supressão da vegetação para implantação de culturas agrícolas e pastagem, aumentando a emissão desses GEEs (BARROS; FEARNSIDE, 2016; BASTOS et al., 2021; IPCC, 2013; MARQUES et al., 2017).

A mudança no uso e na ocupação do solo ocorre em alguns casos por meio da substituição da vegetação natural, por necessidades antrópicas, fragmentando os ambientes florestais (SILVA et al., 2021a). Tal método impacta diretamente os serviços ecossistêmicos, balanços energético e hídrico e nos estoques de carbono e biomassa dos sistemas (DAVIDSON et al., 2012). Boa parte das terras destinadas às atividades agrícolas e silviculturais estão na América do Sul e tais atividades são consideradas como um dos principais fatores de desmatamento (FAO, 2017). No

entanto, existem áreas de regeneração natural e reflorestamentos que têm o objetivo de recuperar a biodiversidade dos ambientes florestais.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) aponta que práticas como manejo de florestas para produção sustentável de madeira, preservação de árvores remanescentes, práticas de conservação do solo e eficiência no uso dos recursos, são importantes para mitigação dos impactos ambientais (IPCC, 2014). Os plantios de espécies florestais parecem ser uma atividade interessante para recompor áreas degradadas, sobretudo porque no processo de formação da biomassa florestal, por meio da fotossíntese, grande quantidade de CO₂ é retirada da atmosfera (TAIZ et al., 2017).

Apesar de sua importância, os plantios de restauração na região ainda são pouco estudados no que se refere a quantidade de carbono que conseguem armazenar. Além do mais, os usos alternativos do solo, como a implantação de pastagem e cultivos agrícolas, bem como os impactos trazidos com a retirada da vegetação natural, também são pouco avaliados.

Algumas metodologias podem ser utilizadas na determinação ou estimativa da biomassa florestal de forma direta (destrutiva) ou indireta (não destrutiva) (HIGUCHI et al., 1998; SANQUETTA et al., 2002; SILVA et al., 2015). No método direto, a árvore é selecionada, derrubada, seus compartimentos são separados (folhas, galhos, fuste, raízes e miscelânea) e pesados em campo. Em alguns casos, é realizada a cubagem da árvore, especialmente quando suas dimensões são um empecilho para pesagem. A determinação da biomassa pode ocorrer tanto de forma individual (por árvore), quanto coletiva (unidade de área) (SILVA; PAULA NETO, 1979).

Diferente do método direto, que determina a biomassa de um local, o método indireto consiste numa estimativa do valor da biomassa. Tem como vantagens a facilitação do trabalho de campo e redução os custos e tempo da coleta (CORTE et al., 2020; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012) por meio de modelos alométricos ajustados a partir de dados obtidos pelo método direto, sensoriamento remoto ou simulação. Vale ressaltar que qualquer método indireto escolhido deve ser calibrado ou ajustado com dados advindos do método direto (WEISKITTEL et al., 2015).

Devido ao potencial que as florestas tropicais desempenham, frente a fixação de carbono, é preciso desenvolver e aperfeiçoar métodos confiáveis para estimativa de biomassa e carbono. Além dos métodos tradicionais, diretos e indiretos, obtidos

por meio de informações de inventários de campo, técnicas emergentes têm surgido, como o sensoriamento remoto e a simulação (estimativa do estoque para datas futuras), que, combinadas com procedimentos tradicionais, geram resultados precisos, minimizando incertezas e permitindo a avaliação de grandes extensões geográficas e locais de difícil acesso (MOLINA et al., 2016; REX et al., 2020).

Com relação às avaliações locais, os métodos indiretos para determinação da biomassa têm se mostrados valiosos, uma vez que a legislação florestal é exigente com relação do corte em Floresta Amazônica (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012; BRASIL, 2018). Muitos estudos se dedicaram a ajustar equações alométricas locais com objetivo de estimativas de biomassa (BROWN; LUGO, 1984, 1992; CHAVE et al., 2005, 2014; FORRESTER et al., 2017). Essas equações permitem estimar a biomassa por meio de variáveis dendrométricas, reduzindo o tempo de execução e os custos de um serviço (SANQUETTA et al., 2015). Tais equações utilizam variáveis independentes como altura e diâmetro à altura do peito (DAP) (ROMERO et al., 2020).

Considerando as altas concentrações de biomassa e carbono existentes na Floresta Amazônica, é preciso identificar as regiões pouco estudadas para que novas pesquisas possam ser incentivadas. Embora tais quantificações sejam importantes, não existem estudos atuais que apontem as lacunas existentes com relação à essas regiões, compartimentos avaliados e metodologias mais aplicadas para tal determinação. Assim, surge a necessidade de conhecer compartimentos com déficit de estudos, metodologias mais precisas e áreas prioritárias, cujo objetivo seja a tomada de decisão no manejo desses ambientes.

Dessa forma, a análise bibliométrica possibilita a identificação das lacunas, pois análises de tendências ao longo do tempo compilam informações de estudos de diversos setores. Esse método aborda a produção científica relacionada com um tema específico, examinando desde a instituição responsável pela produção acadêmica até seu impacto na comunidade científica. Além do mais, nos últimos anos, a técnica tem contribuído com a avaliação de periódicos, universidades e pesquisadores (VAN RAAN, 2014).

A revisão sistemática com análise bibliométrica promove uma visão geral do cenário das pesquisas existentes, por meio de análises quantitativas e qualitativas, reunindo os avanços das pesquisas de uma determinada área de interesse (EKUNDAYO; OKOH, 2018). Tais resultados podem ser úteis no direcionamento de

pesquisas em andamento, partindo da hipótese que os estudos tendem a se concentrar em locais específicos e com metodologias repetidas, o que gera lacunas a serem sanadas, tanto geograficamente, quanto no meio científico.

Este trabalho versa sobre as pesquisa relacionadas ao estoque de carbono na biomassa e nos solos na região amazônica, além de desenvolver uma matriz de emissão e remoção para os diferentes usos da terra. Sendo assim está estruturado em revisão sistemática e avaliação local.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Amazônia é um dos maiores sumidouros de carbono do planeta, sendo uma região de importância para a estocagem de gases que contribuem com o aumento do efeito estufa. Compreender como os estudos têm sido realizados na região auxilia no entendimento do potencial da Floresta Amazônica na mitigação das mudanças climáticas. Ademais, avaliar a produção científica é fundamental para verificar os principais métodos e locais pesquisados, com o objetivo de direcionar pesquisas em andamento, bem como novos estudos.

Além do mais, é preciso desenvolver técnicas que permitam estimar o estoque de carbono em ambientes amazônicos com o menor impacto possível na floresta, reduzindo custos e tempo de execução das atividades. Assim, os ajustes de modelos para ambientes florestais são uma alternativa interessante, sobretudo quando realizados ajustes locais.

1.2 HIPÓTESES

- Uma revisão bibliométrica permite identificar as lacunas, tanto em termos geográficos quanto metodológicos, na determinação dos estoques de carbono em biomassa e solo da Floresta Amazônica.
- A substituição de florestas por outras formas de uso implica em balanço negativo de biomassa e carbono, culminando no aumento expressivo na emissão de GEE.
- Plantios de restauração constituem uma técnica adequada para aumentar os estoques de carbono perdidos pela supressão de florestas maduras em longo prazo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Construir um panorama geral e identificar as principais lacunas referentes às pesquisas relacionadas aos estoques de biomassa e carbono, tendo como limite de abrangência a Floresta Amazônica, bem como quantificar a biomassa e carbono em diferentes usos do solo no estado de Rondônia.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise bibliométrica dos manuscritos indexados na base de dados *Scopus* até o ano de 2020 que tiveram como enfoque a quantificação dos estoques de biomassa e carbono na Floresta Amazônica;
- Construir o Estado da Arte sobre o tema para Floresta Amazônica;
- Determinar os teores e estoques de carbono, bem como a biomassa nos compartimentos de plantios de restauração, soja e pastagens, no estado de Rondônia;
- Ajustar modelos para estimativas de biomassa em plantios de restauração no estado de Rondônia;
- Comparar as formas de cultivo com dados de floresta madura, na literatura, e avaliar o balanço de CO₂ equivalente na vegetação, com a mudança no uso e ocupação do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Com intuito de realizar a avaliação bibliométrica sobre os estoques de carbono e biomassa na Floresta Amazônica, foi desenvolvida uma análise das publicações indexadas na base de dados *Scopus*, divulgados pela *Relx Group*, até o ano de 2020, de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (2020). Apesar de não abranger todos os trabalhos presentes na literatura, o *Scopus* foi escolhido por ser uma base de dados em constante aprimoramento, com fontes de qualidade e grande alcance, sendo recomendado por especialistas como estratégia na busca de pesquisas (FALAGAS et al., 2008; GASPARYAN et al., 2011; KHUDZARI et al., 2018; PATRO; MISRA, 2020; TSOUICALAS; SGANTZOS, 2017), além de ser uma das bases de dados utilizadas para avaliar os cursos de pós-graduação no Brasil e gerar estatísticas por meio de programas computacionais (MONTROYA et al., 2018).

Com objetivo de contemplar maior número de manuscritos, foi utilizada uma combinação de termos em inglês. Com isso, o presente estudo não é um censo, mas reflete uma amostragem das publicações existentes sobre o tema, uma vez que contempla as revistas científicas, livros e trabalhos de conferências indexados na plataforma em questão. A busca foi realizada utilizando os termos principais: “*biomass*”, “*carbon stock*”, “*stored carbon*”, “*carbon sink*”, “*carbon storage*”, “*fixed carbon*”, “*carbon sequestration*”, “*amazon*” e “*amazonia*” também foram utilizados termos secundários, como: *vegetation*, *forest*, *forestry*, *soil*, *plant*, *litterfall*, *necromass*, *litter*, *rainforest*, *pasture*, *agricultural*, *planting*, *crop*, *culture*, *agroforestry*, *leaf*, *treetop*, *branch*, *root*, *stem*, *trunk*, *flower*, *canopy*, *iclf*, “*Integrated crop-livestock-forest*” e *regeneration*, em títulos, resumos e palavras-chave.

A sequência de pesquisa foi: TITLE-ABS-KEY (*biomass* OR “*carbon stock*” OR “*stored carbon*” OR “*carbon sink*” OR “*Carbon storage*” OR “*fixed carbon*” OR “*carbon sequestration*”) AND TITLE-ABS-KEY (*amazon* OR *amazonia*) AND TITLE-ABS-KEY (*vegetation* OR *forest* OR *forestry* OR *soil* OR *plant* OR *litterfall* OR *necromass* OR *litter* OR *rainforest* OR *pasture* OR *agricultural* OR *planting* OR *crop* OR *culture* OR *agroforestry* OR *leaf* OR *treetop* OR *branch* OR *root* OR *stem* OR

trunk OR flower OR canopy OR iclf OR “Integrated crop-livestock-forest” OR regeneration).

A pesquisa retornou 2.042 publicações, que foram acessadas a partir do respectivo portal de indexação. Posteriormente, foi realizada uma triagem dos trabalhos que avaliaram os estoques de carbono e biomassa na região Amazônica. Como critérios de seleção, foram observados: (1) os trabalhos realizados na Floresta Amazônica; (2) trabalhos relacionados com estoques de carbono e biomassa; e (3) aqueles que avaliaram a vegetação ou o solo. Apenas os trabalhos que preencheram os três critérios foram selecionados para as análises seguintes. Na ocasião, também foram removidos os artigos duplicados pela própria plataforma.

Em seguida, foram identificados os seguintes parâmetros em cada publicação: (a) ano de publicação; (b) identificação dos autores e respectivas instituições de afiliação; (c) rede de *clusters* de interligação entre os autores, utilizando o programa *VOSviewer* versão 1.6.15; (d) principais palavras presentes nos títulos dos trabalhos; (e) agências e instituições de fomento dos trabalhos; (f) periódicos das publicações; e (g) tipo de publicação por documento. Esses dados foram tabulados para confecção dos gráficos para cada parâmetro no programa computacional R (R CORE TEAM, 2021). Embora as palavras biomassa e carbono tenham sido utilizadas simultaneamente, uma não excluiu a busca da outra; assim, a pesquisa dos artigos de solos não foi comprometida.

2.2 ESTADO DA ARTE

Para a elaboração do estado da arte, foi realizada uma revisão dos documentos selecionados, com objetivo de compreender os temas pesquisados, bem como determinar a localização dos estudos, o componente avaliado e o tipo de determinação de biomassa e carbono. Para classificação do tipo de cobertura do solo, foram adotadas as seguintes categorias:

- Áreas degradadas: aquelas que passaram por intensa intervenção antrópica e não possuem a capacidade de se recompor naturalmente (MARTINS, 2017);
- Plantios: áreas com plantações de espécies arbóreas, sejam elas para fins comerciais ou de recuperação;
- Naturais: provenientes ou não de regeneração natural, com ou sem interferência antrópica explícita;

- Sistemas de integração: aqueles que integraram culturas anuais e/ou perenes;
- Cultivos agrícolas; e
- Pastagem, natural ou não.

Tanto para análise bibliométrica quanto para o estado da arte, não foram considerados os trabalhos relacionados exclusivamente com a qualidade do ar, emissão de gases, isótopos de carbono, biomassa faunística, algas, aerossol, qualidade das águas, bem como os que não estavam relacionados com estoques de carbono ou biomassa na Floresta Amazônica. Publicações que afirmavam que o estoque de carbono e/ou biomassa aumentou ou diminuiu sem comprovação científica, também não foram contabilizados, além daqueles que fizeram apenas uma revisão sem acrescentar novos dados.

Por meio da análise dos resultados é possível observar as lacunas no conhecimento, possibilitando o desenvolvimento de pesquisas inéditas. Além do mais a avaliação do estado da arte pode evitar a exaustão de estudos em uma mesma área permitindo a orientação de novas pesquisas e o redirecionamento daquelas em andamento.

2.3 AVALIAÇÃO LOCAL DE BIOMASSA E CARBONO

De posse das informações coletadas na revisão sistemática e no estado da arte, optou-se por fazer uma avaliação local com objetivo de contribuir com resultados que possam colaborar com o preenchimento de lacunas relacionadas com a avaliação do estoque de biomassa e carbono na Amazônia. Para tanto foram estudados ambientes em plantios de restauração e usos alternativos do solo, por meio de coleta de material e análises laboratoriais.

As coletas da biomassa de pastagem, soja e plantio de reflorestamento, foram realizadas nos municípios de Itapuã do Oeste, Cujubim e Rolim de Moura, no estado de Rondônia – BR (FIGURA 1). O solo da região é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (SCHAEFER et al., 2017), com clima Aw (tropical úmido), precipitação de 2.500 mm.ano⁻¹ e temperaturas médias que variam entre 24°C e 26 °C (ALVARES et al., 2013).

FIGURA 1: LIMITES DA FLORESTA AMAZÔNICA NA AMÉRICA DO SUL E LOCAIS DE COLETA DE BIOMASSA DE PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO, PASTAGEM E SOJA, NO ESTADO DE RONDÔNIA.



FONTE: A autora (2022)

A fitofisionomia predominante do local é Floresta Ombrófila Aberta Submontana, no entanto a vegetação primária foi em grande parte suprimida para outros usos do solo, como agricultura e pastagem (SANQUETTA et al., 2019). As determinações diretas para áreas de plantios de restauração foram combinadas com inventário florestal e a vegetação dos diferentes ambientes passou por análises de determinação de carbono. Os plantios de restauração estudados contavam com diversas espécies florestais, com espaçamento distinto. Os cultivos de pastagem e soja também foram avaliados pelo método destrutivo e estavam implantados em regime de monocultivo.

2.3.1 Avaliação dos plantios de restauração florestal

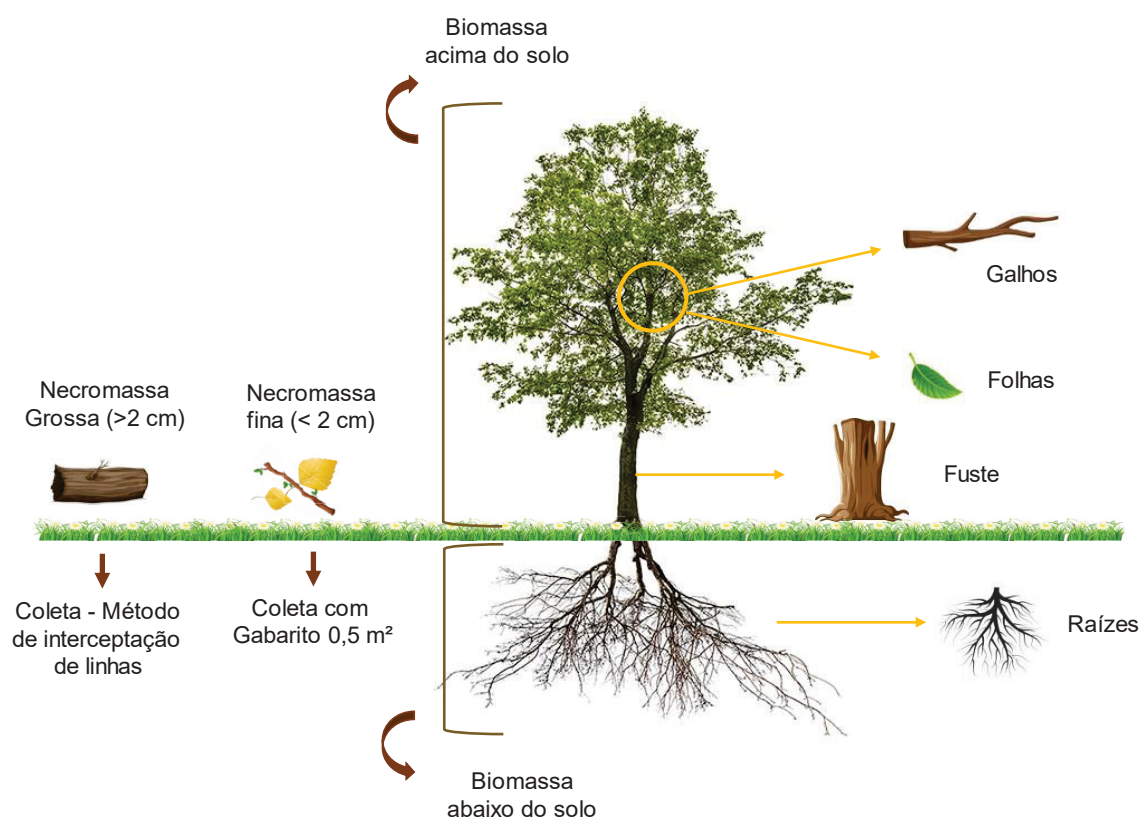
Na data de coleta das amostras deste estudo, em 2019, os plantios de restauração apresentavam idade média de 7 anos. Nas regiões de estudo foram realizados inventários florestais, com a utilização de 50 unidades amostrais. Cada unidade amostral foi instalada como parcela permanente retangular, com dimensões de 20 m x 10 m. Os povoamentos estudados estão localizados em ambientes no

entorno de rios e foram implantados para reflorestamento, uma vez que a vegetação original havia sido substituída por pastagens e permaneceu assim por cerca de dez anos.

Na ocasião, todos os indivíduos foram contados, identificados e mensurados, e aqueles cuja identificação no campo não foi possível, foram coletados e encaminhados para o herbário. Também foram mensuradas as alturas (h) e circunferências à altura do peito (CAP) de todos os indivíduos das unidades amostrais.

Para determinação do estoque total de biomassa foram consideradas tanto a biomassa arbórea viva, quanto a morta. A biomassa arbórea viva foi classificada como biomassa acima do solo e raízes, já a biomassa morta como necromassa grossa (acima de 2 cm de diâmetro) e necromassa fina (menor que 2 cm de diâmetro), também chamada de serapilheira (FIGURA 2).

FIGURA 2: COMPARTIMENTOS UTILIZADOS PARA CONTABILIZAR O ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM PLANTIO DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA



FONTE: A autora (2022).

Em cada parcela foi escolhida uma árvore para determinação da biomassa e o critério de seleção foi feito com base na representatividade do indivíduo para a população e em mapas georreferenciados, com objetivo de observar as variações das características locais. A mensuração das amostras foi feita pelo método destrutivo e o material coletado em campo passou por análises laboratoriais e modelagem, com objetivo de gerar estimativas mais representativas de biomassa e carbono.

2.3.1.1 Determinação da biomassa por árvore individual

Para determinação da biomassa foram selecionados 50 indivíduos, um em cada parcela, de acordo com seu valor de importância. Os indivíduos escolhidos eram representativos, com relação à variação das alturas e CAPs, bem como intensidade amostral que representasse a parcela. A determinação da biomassa desses indivíduos foi feita pelo método direto, com a derrubada da árvore, pesagem, com o auxílio de um dinamômetro, e medição de alturas e CAPs no campo. Na ocasião foram realizadas medições de ao longo do fuste para cubagem das árvores pelo método de Hohenadl, utilizando seções correspondentes a 10% da altura total.

As árvores foram divididas em compartimentos, separados em folhas, galhos, fuste e raiz. O sistema radicular foi retirado pelo método de escavação com dimensões de 50 cm x 50 cm, tendo a árvore como ponto central, até profundidade de 50 cm. Na ocasião foram coletadas todas as raízes visíveis, com dimensão mínima de 2 mm. As raízes foram limpas para maior retirada possível de solo. Em seguida, foi tomada uma amostra de aproximadamente 500 g, de cada um dos compartimentos, que foi pesada para determinação do peso fresco e encaminhadas para rotinas laboratoriais e determinação das biomassas secas e teores de carbono.

Também foi calculado o Fator de Expansão de Biomassa (FEB) e a razão raiz parte aérea (R) das árvores, conforme as seguintes fórmulas:

$$FEB = \frac{P_{copa} + P_{fuste}}{P_{fuste}} = \frac{P_{aéreo}}{P_{fuste}} \quad (1)$$

$$R = \frac{P_{raízes}}{P_{aéreo}} \quad (2)$$

Em que FEB é o fator de expansão de biomassa, P_{copa} é o peso seco de folhas e galhos da árvore (kg), P_{fuste} é o peso seco do fuste da árvore (kg), $P_{\text{aéreo}}$ é o peso seco do fuste mais o peso seco da copa (kg), R é a razão raízes parte aérea e $P_{\text{raízes}}$ o peso seco da raiz da árvore (kg).

O FEB possibilita a conversão de biomassa do fuste em biomassa aérea, enquanto o R é uma razão que permite estimar o valor das raízes quando só se possui a biomassa aérea da vegetação. Conhecer os valores em questão é fundamental para estimativas de biomassa em um inventário de emissões de GEE (SANQUETTA et al., 2019).

2.3.1.2 Determinação dos teores e estoques de carbono

O material coletado em campo foi armazenado em sacos de papel e secos em estufa de aeração forçada em temperatura média de 65 °C até obtenção de peso constante. Os dados de biomassa seca e fresca foram utilizados para o cálculo da biomassa de cada compartimento, por meio da equação a seguir:

$$W = W_f \frac{(100 - U)}{100} \quad (3)$$

No qual: W = biomassa seca (kg); W_f = biomassa fresca (kg); U = Conteúdo de umidade das amostras coletadas em campo (%).

Em seguida, as amostras foram moídas em moinho de facas do tipo Wiley e armazenadas em recipientes apropriados para análise do teor de carbono. O teor de carbono foi determinado pelo método de combustão seca, utilizando o equipamento Leco C-144. O teor de carbono médio total foi determinado por meios de uma média ponderada entre os teores resultantes para os compartimentos, pela equação:

$$T_c = \frac{T_{fo} * b_{fo} + T_g * b_g + T_{fu} * b_{fu} + T_r * b_r}{b_{fo} + * b_g + * b_{fu} + * b_r} \quad (4)$$

No qual: T_c = Teor de carbono médio (%); T_{fo} = Teor de carbono das folhas (%); T_g = Teor de carbono dos galhos (%); T_{fu} = Teor de carbono dos fustes (%); T_r = Teor de carbono das raízes (%); b_{fo} = Biomassa das folhas (Kg); b_g = Biomassa dos galhos (Kg); b_{fu} = Biomassa do fuste (Kg); b_r = Biomassa das raízes (Kg).

O estoque de carbono por foi determinado multiplicando o teor de carbono pela biomassa vegetal, de acordo com a equação abaixo:

$$C = W \frac{T_c}{100} \quad (5)$$

No qual: C = estoque de carbono (kg.C.árvore⁻¹); W = biomassa seca (kg); T_c = Teor de carbono (%).

2.3.1.3 Ajuste de modelos alométricos

Após a determinação do estoque de biomassa por indivíduo, foram ajustados três modelos alométricos presentes na literatura (SANQUETTA et al., 2015) para estimar a biomassa seca da parcela (QUADRO 1). O objetivo foi desenvolver equações locais para predição da biomassa e carbono, totais e por compartimento. Foram utilizados os modelos de Spurr, Schumacher-Hall e Hush e os modelos de Schumacher-Hall e Husch foram ajustados utilizando transformação logarítmica para linearização.

QUADRO 1: MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR OS VALORES DE BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

Spurr	$W = \beta_0 + \beta_1 \cdot (DAP^2 * h)$
Schumacher-Hall	$\log(W) = \beta_0 + \beta_1 \log(DAP) + \beta_2 \log(h)$
Husch	$\log(W) = \beta_0 + \beta_1 \log(DAP)$

No qual: β = Parâmetros estimados do modelo; W = Biomassa seca estimada total e por compartimento (kg); DAP= Diâmetro à 1,30 m de altura (cm); h = Altura (m).

FONTE: A autora (2022).

Os ajustes foram realizados por meio do método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e, posteriormente, foi aplicado um teste de heterocedasticidade para verificar a presença de variância homogêneas. A verificação da heterocedasticidade se deu por meio de análise gráfica e pelo teste de Breusch-Pagan, ao nível de 5% de significância (BREUSCH; PAGAN, 1979).

As estimativas foram retransformadas para escala original e corrigidas utilizando o fator de correção Meyer. A seleção da equação mais adequada foi feita com base no coeficiente de determinação ajustado (R²), erro padrão de estimativa

(S_{yx}) e análise gráfica dos resíduos, todos esses nas escalas originais da varável dependente, calculados de acordo com as equações abaixo.

$$R^2 = 1 - \frac{SQE}{SQT} \cdot \frac{n-1}{n-p} \quad (6)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQE}{n-p}} \quad (7)$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{W}} \cdot 100 \quad (8)$$

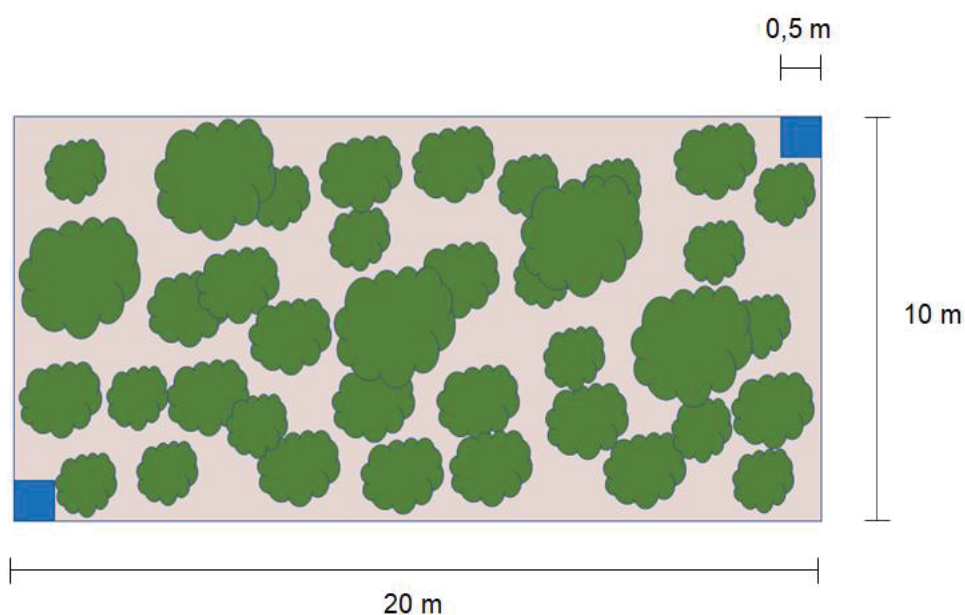
Em que: R^2 = Coeficiente de determinação ajustado; SQE = Soma de quadrados do erro; SQT = Soma de quadrados total; n = Número de observações; p = Número de parâmetros do modelo; S_{yx} = Erro padrão da estimativa; $S_{yx}\%$ = Erro padrão relativo; \bar{W} = Biomassa média total e por compartimento.

As análises estatísticas e os gráficos foram realizados utilizando os pacotes básico e *ggplot2* da linguagem R (R CORE TEAM, 2021; WICKHAM, 2016).

2.3.1.4 Avaliação da necromassa fina (serapilheira)

Para avaliação da serapilheira, foram utilizadas 30 parcelas dos plantios de restauração. Foi considerado com serapilheira toda necromassa senescente com diâmetro de até 2 cm. Na ocasião foram coletadas 60 amostras, duas em cada parcela, com o auxílio de um gabarito de dimensões 0,5 m x 0,5 m. Os gabaritos foram colocados em duas extremidades da parcela, representado pelos quadrados azuis (FIGURA 3) e todo material contido em seu interior foi retirado cuidadosamente, até a exposição da região edáfica.

FIGURA 3: ESQUEMA DAS PARCELAS COM A LOCALIZAÇÃO DOS GABARITOS PARA COLETA DA SERAPILHEIRA EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



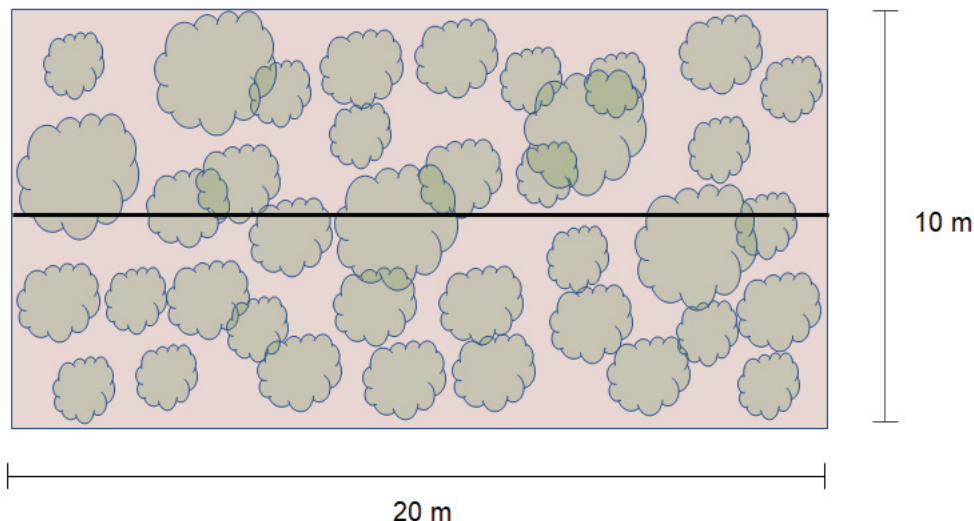
FONTE: A autora (2022).

As amostras foram devidamente acondicionadas e encaminhadas para laboratório, no qual foram colocadas em estufa à 65 °C, até obter peso constante. Depois de secas, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca e moídas em moinho tipo Willey para posterior análise. O teor de carbono das amostras foi determinado pelo método da combustão seca, em equipamento Leco C-144. O teor foi multiplicado pela massa seca para quantificação do estoque de carbono e extrapolado para área de 1,0 (um) ha.

2.3.1.5 Avaliação da necromassa grossa

Foi considerada como necromassa grossa todo material vegetal senescente com diâmetro superior à 2 cm. Para quantificar a necromassa grossa, foram utilizadas 20 parcelas dos plantios de restauração. Para tanto, foi utilizado o método de linha interceptadora, no qual cada unidade amostral é representada por uma linha de comprimento L (FIGURA 4). A linha fica localizada sobre a parcela a ser avaliada e todas as peças que a interceptam têm seus diâmetros mensurados (SANQUETTA et al., 2014).

FIGURA 4: ESQUEMA DAS PARCELAS COM A LOCALIZAÇÃO DA LINHA DE INTERCEPTAÇÃO PARA COLETA DA NECROMASSA GROSSA EM PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



FONTE: A autora (2022).

O grau de decomposição das amostras foi classificado em três estágios, sendo eles: I) pouca decomposição; II) decomposição intermediária; e III) material muito decomposto (SOUZA; AZEVEDO; FREITAS, 2017). Uma fração de cada estágio de decomposição foi coletada e encaminhada para laboratório, em seguida foi colocada em estufa à 65 °C, até obter peso constante.

Posteriormente, as amostras foram pesadas para determinação da massa seca e moídas em moinho tipo Willey para análise. O teor de carbono das amostras foi obtido em equipamento Leco C-144 e o estoque de carbono foi determinado pela multiplicação do teor de carbono pela massa seca em cada grau de decomposição, sendo extrapolado para área de 1,0 (um) ha.

2.3.2 Avaliação da pastagem

A espécie estudada foi *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.Webster. Para coleta da pastagem foi utilizado um gabarito quadrado com área de 1 m². Ao todo, foram coletadas 50 amostras, distribuídas aleatoriamente, retirando-se toda vegetação acima e abaixo do solo, incluindo a biomassa morta. A biomassa foi mensurada em campo e uma fração amostra encaminhada para análise laboratorial.

As amostras foram secas em estufa de aeração forçada a 65 °C até peso constante e determinação do peso seco. Posteriormente, foram preparadas para análise de carbono pelo método da combustão seca em equipamento elementar Leco C-144.

A biomassa seca média foi extrapolada para toda área do estudo, bem como os estoques de carbono acima e abaixo do solo. Também foram realizadas análises estatísticas descritivas e teste *t* para comparação de médias da biomassa, estoque e teor de carbono das frações, ao nível de 5% de probabilidade, uma vez que essas variáveis não apresentaram distribuição normal. Para pastagem também foi calculada a razão de raiz/parte aérea (R).

2.3.3 Avaliação da soja

O cultivo de soja apresentava idade média de 75 dias no momento da coleta. Para avaliação da soja foram coletadas 50 amostras de biomassa acima do solo e biomassa abaixo do solo. As coletas foram realizadas com o auxílio de um gabarito com área de 1,0 m², distribuídas de forma aleatória. As massas dos componentes acima e abaixo do solo foram mensuradas em campo para determinação do peso fresco. Uma amostra do material foi retirada para posterior determinação da massa seca.

Em laboratório, o material coletado no campo foi seco em estufa de aeração forçada a 65 °C, até massa constante. Após determinação da massa seca, as amostras foram preparadas para determinação do teor de carbono pelo método da combustão seca em analisador elementar Leco C-144.

O estoque de carbono foi calculado para biomassa, por meio do produto da massa seca de cada amostra pelo respectivo teor de carbono. Para efeito da análise de carbono, foram consideradas as biomassas acima e abaixo do solo. Na ocasião, calculou-se a razão de raiz/parte aérea (R). Também foram realizadas análises estatísticas descritivas, teste de normalidade de Lilliefors ($\alpha = 0,05$), teste de homogeneidade de variâncias de *Bartlett* ($\alpha = 0,05$) e teste *t* para comparação de médias das frações e estoques de carbono.

2.3.4 Dióxido de carbono equivalente e comparação entre os ambientes

Para determinação do CO₂ equivalente e simulação do CO₂ equivalente emitido, o estoque de carbono de todas as coberturas do solo foi convertido por estequiometria, multiplicado a quantidade de carbono pelo fator de conversão 44/12, referente a razão entre o peso molecular de CO₂ e carbono, de acordo com a equação a seguir:

$$CO_{2eq} = EC \times \frac{44}{12} \quad (9)$$

Em que: CO_{2eq} = Dióxido de carbono equivalente ao estoque de carbono; e EC = Estoque de carbono.

Adicionalmente, foram utilizados dados de biomassa, teores e estoques de carbono da literatura para floresta madura de tipologia Floresta Ombrófila Aberta, com objetivo de comparar os resultados deste estudo (IPCC, 2006; MCTI, 2016). Os valores da literatura também foram convertidos para CO₂ equivalente, por meio do mesmo processo de conversão. Todos os cálculos foram realizados utilizando a linguagem R (R CORE TEAM, 2021).

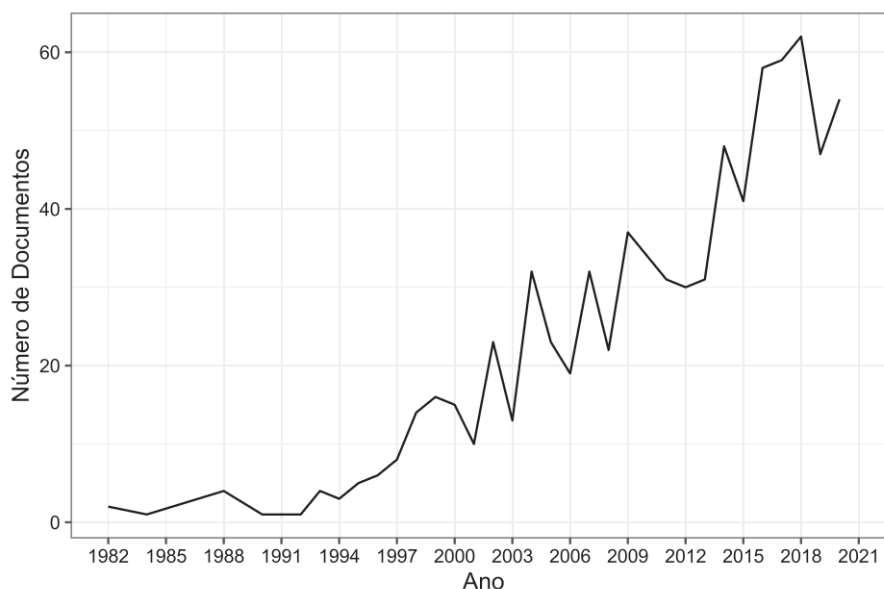
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A busca na base de dados *Scopus* retornou 2.042 publicações, das quais 786 atenderam os critérios de inclusão. Dessas, 93,4% foram enquadradas como artigos científicos, 0,4% como livros ou capítulos de livros, 4,6% como trabalhos de conferências e 1,7% em outras categorias. Tal classificação foi atribuída pela própria base de dados no ato da busca dos termos.

A primeira obra relacionada ao tema foi publicada no ano de 1982. Possivelmente, não se trata da primeira pesquisa publicada oficialmente, mas sim daquela indexada na base de dados *Scopus*. Com o tempo, foi possível observar um comportamento crescente, com relação ao interesse pelo objeto de estudo (FIGURA 5).

FIGURA 5: NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO, INDEXADAS NA BASE DE DADOS *SCOPUS*, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA FLORESTA AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

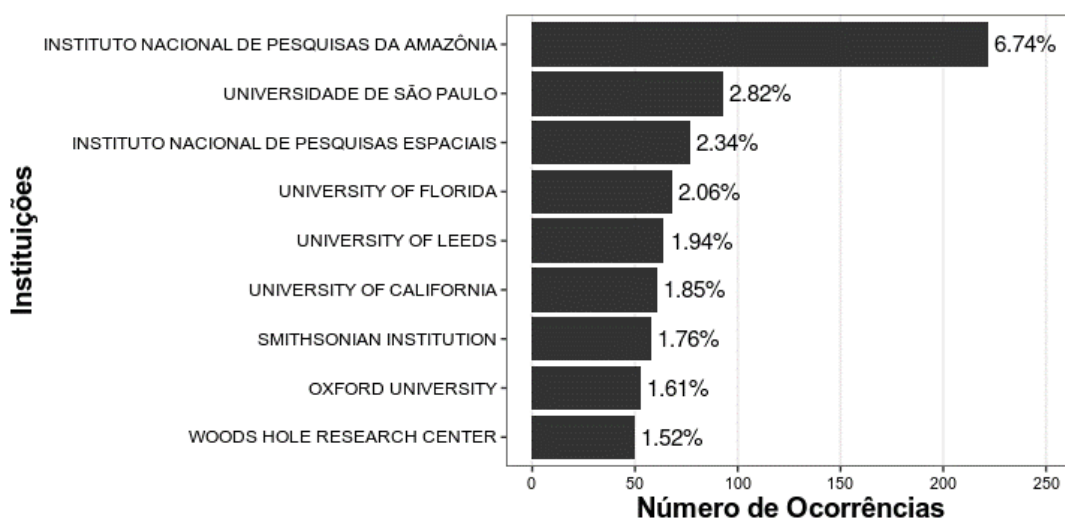
Foi observado um aumento expressivo da demanda de publicações a partir do ano de 1992, um possível reflexo da primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, denominada de Eco-92 ou Rio-92. Na ocasião, representantes de governo, sociedade civil,

pesquisadores e Organizações Não Governamentais se reuniram para conferir a efetividade das propostas da conferência de Estocolmo em 1972 (NOVAES, 1992; VIEIRA, 2012).

O objetivo da reunião também foi negociar convenções e medidas com força de lei, resultando numa agenda de discussões com alternativas para preservação e conservação do meio ambiente, com a proposta de um novo modelo global de desenvolvimento, deixando claro que um dos objetivos centrais era reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (SANDS, 1992). Assim, as ações propostas na Rio-92 certamente corroboraram com o interesse na promoção de estudos voltados às questões ambientais. Com o apelo às alterações climáticas, surge o empenho nas pesquisas sobre o estoque de biomassa e carbono em ambientes florestais.

Com relação as instituições de pesquisa que desenvolveram estudos na região, o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) apresentou o maior número de manuscritos, seguido da Universidade de São Paulo (USP) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (FIGURA 6). Todas as instituições estão representadas pelos autores que mais publicaram sobre o tema, o que justifica suas atuações.

FIGURA 6: PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES, COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

O INPA traz como missão a geração e disseminação do conhecimento e tecnologias para o desenvolvimento da região Amazônica, atuando nas áreas de biodiversidade, dinâmica ambiental, tecnologia e inovação e sociedade e ambiente, com objetivo de subsidiar a formulação de políticas públicas (BRASIL, 2020). O Instituto conta com pesquisadores de renome, como o Dr. Niro Higuchi, o Dr. Philip Martin Fearnside e o Dr. Carlos Alberto Nobre Quesada, que apareceram entre os autores com maior número de publicações.

A Universidade de São Paulo conta com a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq-USP), que possui o curso de graduação em Engenharia Florestal e Pós-Graduação em Recursos Florestais. Até 2017, teve a colaboração do professor Dr. Carlos Clemente Cerri, que também se destacou como um dos pesquisadores que mais contribuiu em volume de trabalhos na área.

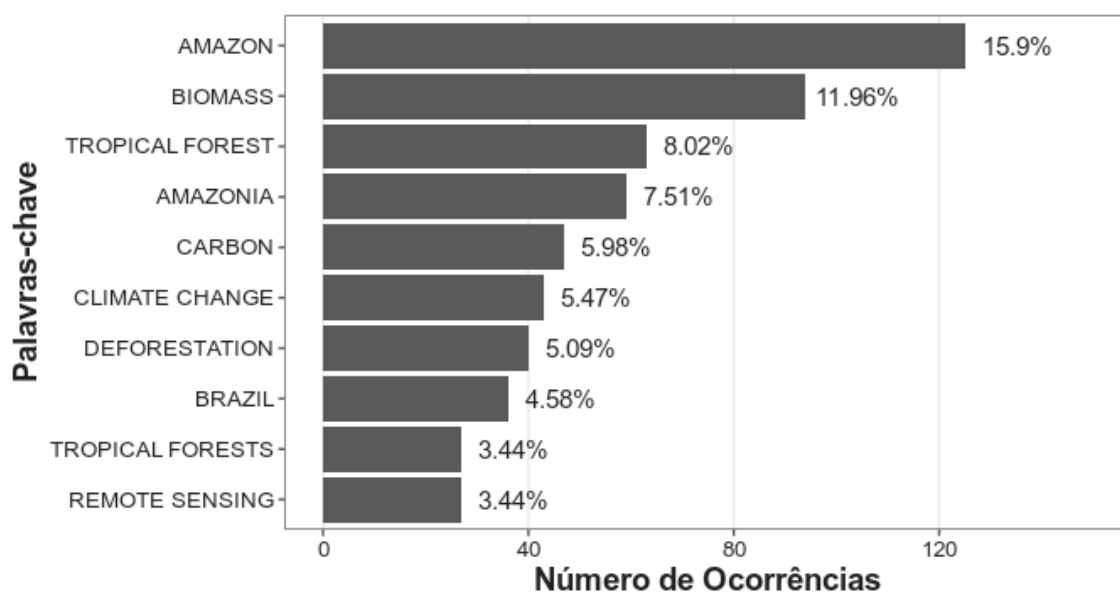
O INPE realiza o monitoramento da Amazônia por meio do PRODES, que utiliza imagens do satélite Landsat, estimando anualmente as taxas de desflorestamento da Amazônia Legal; o DETER, com dados dos satélites Terra e Aqua e CBERS para levantamento mensal; o DEGRAD, que visa o mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira; e o DETEX para Detecção de Exploração Seletiva (BRASIL, 2022). O Instituto conta com a colaboração do pesquisador Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão, que também apareceu como um dos mais influentes quanto ao número de manuscritos.

A maioria das instituições que realizaram pesquisas indexadas no *Scopus*, na região de estudo, são internacionais. O grande interesse do mundo na região Amazônica se dá por comportamentos antagônicos de conservação e exploração. Tal cenário se iniciou com a política de estabelecimento do agronegócio na década de 1970, até os avanços conservacionistas, que tentam desacelerar o desmatamento na Amazônia (PELICICE; CASTELLO, 2021). Vale salientar que, nos últimos anos, os estudos demonstram o grande impacto que a Floresta Amazônica tem sofrido, frente aos ecossistemas florestais do mundo, inclusive nas mudanças no uso e ocupação do solo (ARAUJO et al., 2022; BASTOS et al., 2021; PAN et al., 2011; SANQUETTA et al., 2020).

As palavras-chave mais utilizadas na indexação dos trabalhos relacionados com o tema foram: *Amazon*, *biomass*, *Tropical Forest*, *Amazonia* e *carbon* (FIGURA 7). A escolha das palavras-chave de um manuscrito visa resumir as principais

informações trazidas pelos autores, bem como facilitar a busca dos textos em plataformas digitais.

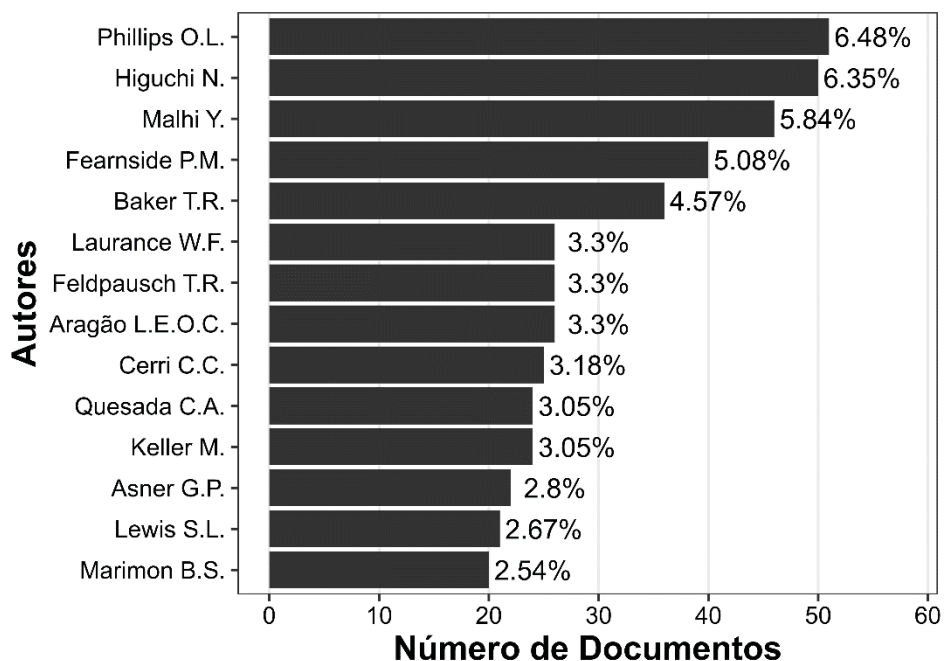
FIGURA 7: PALAVRAS-CHAVE MAIS UTILIZADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

Com relação aos autores que mais publicaram sobre o tema (FIGURA 8), apenas 46,15% são de instituições brasileiras. A identificação dos autores é importante para apontar os especialistas no assunto e nortear pesquisadores que desejam estudar sobre o tema, facilitando a coleta de informações, bem como o direcionamento de suas pesquisas.

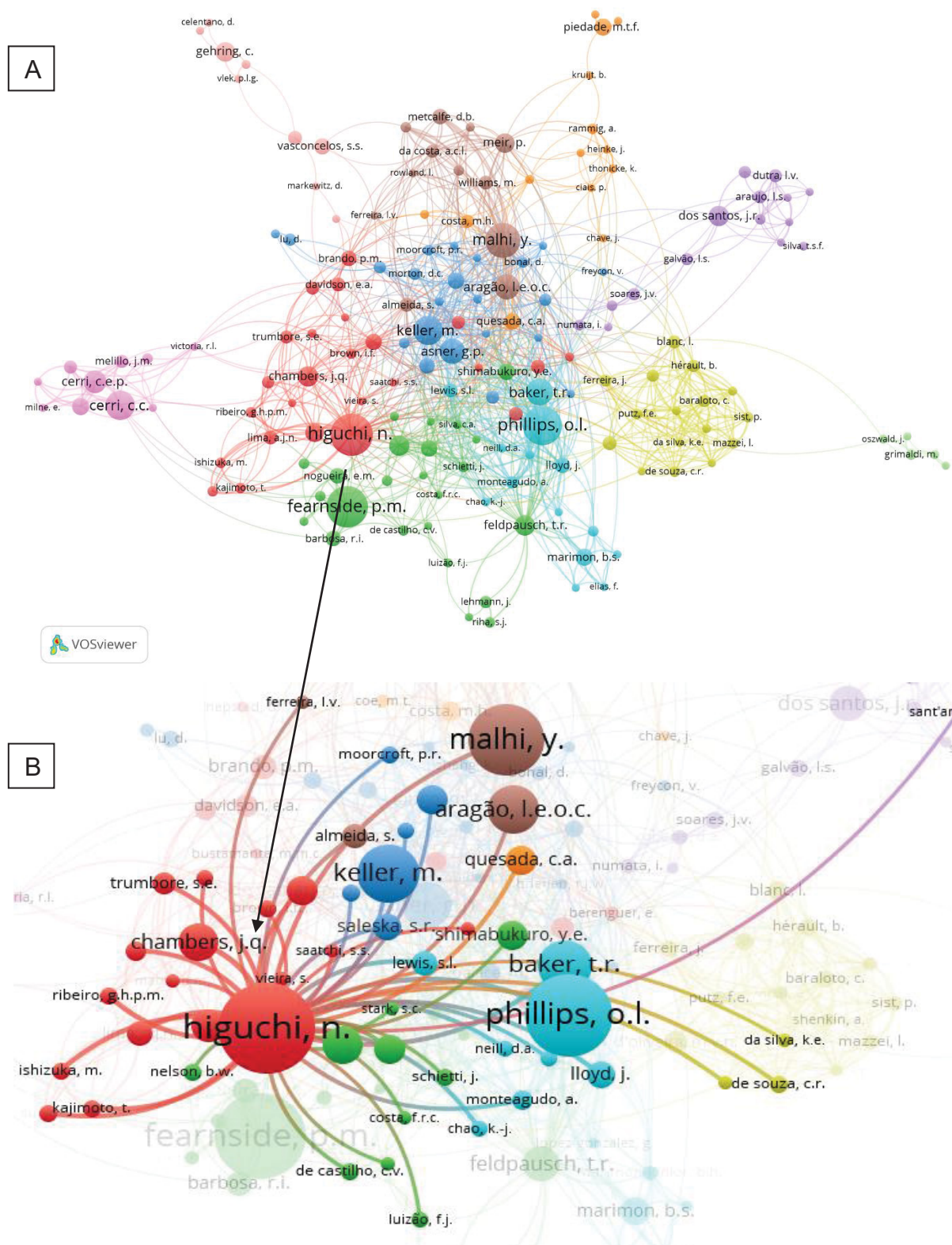
FIGURA 8: AUTORES COM MAIOR QUANTIDADE DE ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

Ao observar a rede de integração entre os autores (FIGURA 9A), é possível perceber que o pesquisador Dr. Niro Higuchi não só é um dos responsáveis pelo maior volume de publicações, como é o autor principal da teia com maior número de integrações (FIGURA 9B). A rede principal conta com integração entre 25 autores, dentre os quais estão aqueles com o maior volume de produção, como o Phillips, Malhi e Baker.

FIGURA 9: TEIA DE CITAÇÕES (A) DOS AUTORES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, COM ÊNFASE NA TEIA COM MAIS INTEGRAÇÕES (B), RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.

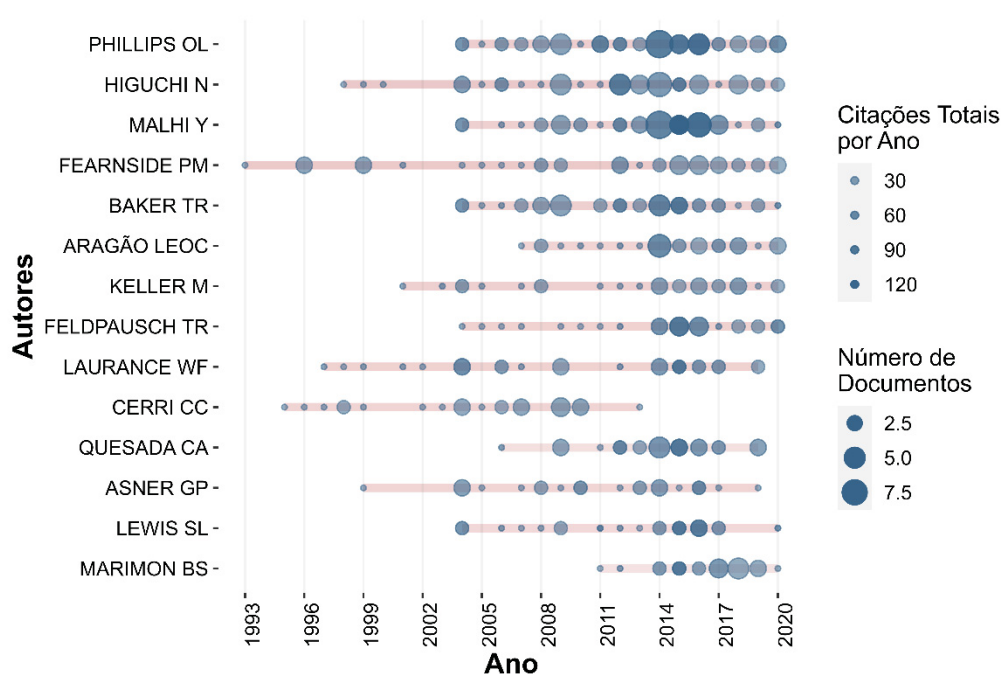


FONTE: A autora (2022).

A rede principal considera aspectos como a quantidade de vezes em que os autores foram citados por outras pesquisas. Assim, quanto maior número de citações, maior a relevância da pesquisa e conseqüentemente do pesquisador.

Observando a produção individual ao longo do tempo, é possível perceber que o maior volume de produção se encontra no período de 2014 a 2018 (FIGURA 10). Tal informação sugere que novos autores influentes devem aparecer nos próximos anos, uma vez que a produção geral continua em crescimento. Isso reflete a renovação de pesquisadores interessados pelo tema.

FIGURA 10: PUBLICAÇÕES AO LONGO DO TEMPO DOS AUTORES RESPONSÁVEIS PELOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



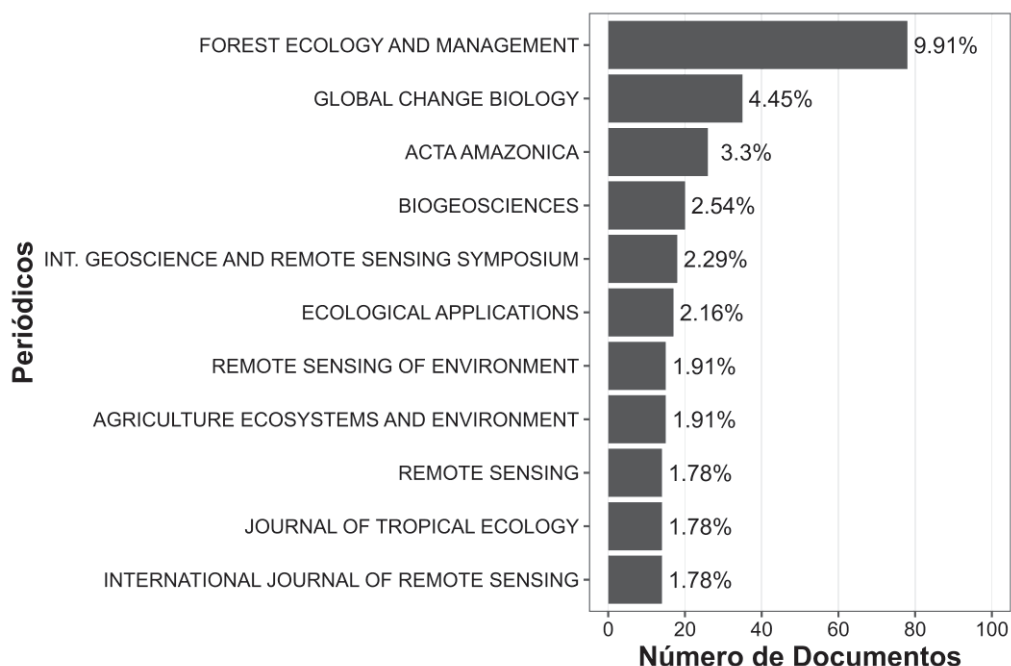
FONTE: A autora (2022).

Grande parte dos pesquisadores, com maior quantidade de manuscritos indexados, não são brasileiros. Tal participação de estudiosos e instituições internacionais favorecem o surgimento de parcerias e convênios que auxiliam no desenvolvimento das áreas estudadas na Floresta Amazônica.

Observando os principais periódicos (FIGURA 11), a maioria é internacional e apresentam impacto na comunidade científica, como *Forest Ecology and Management* e *Global Change Biology*. Porém, cabe destaque também para a *Acta*

Amazônica, revista atrelada ao INPA que aborda prioritariamente assuntos relacionadas à região da Amazônia.

FIGURA 11: PRINCIPAIS PERIÓDICOS COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



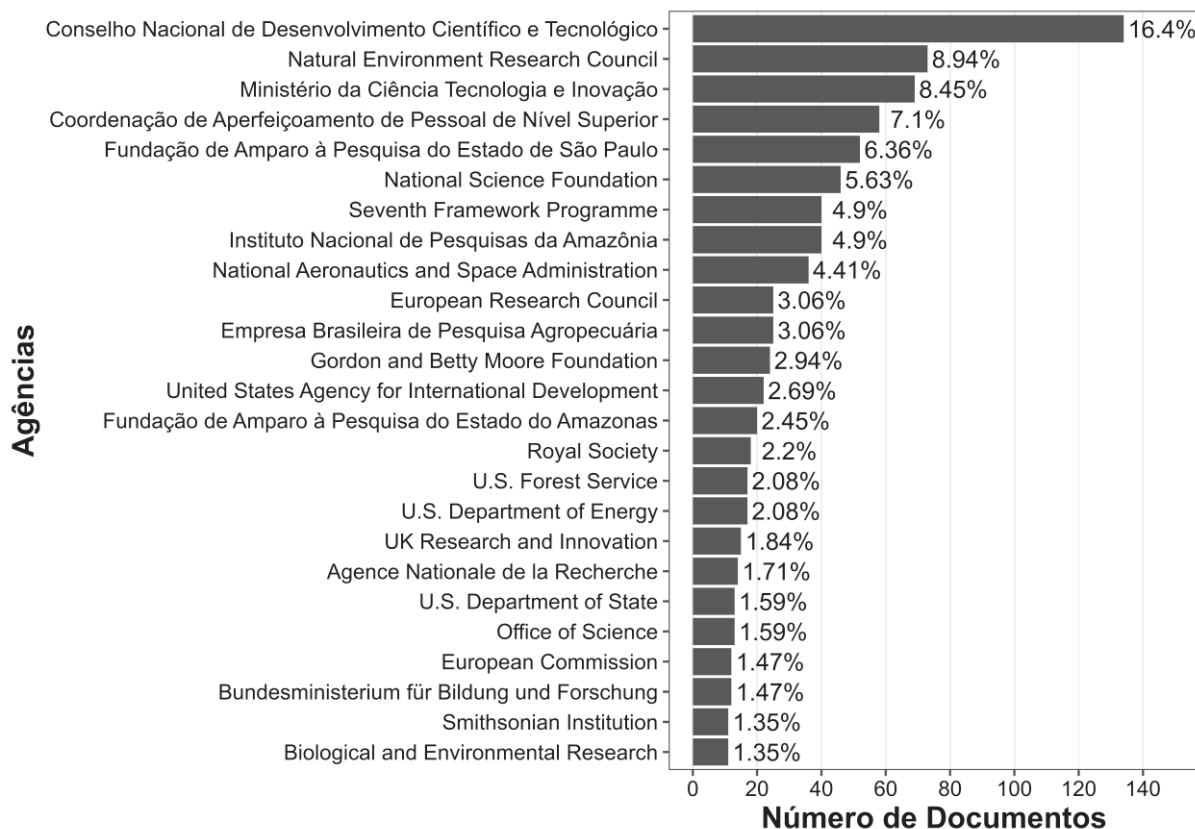
FONTE: A autora (2022).

O periódico *Forest Ecology and Management* é internacional, cujos manuscritos são avaliados por pares e divulga conhecimento a respeito da ecologia vinculada com o manejo dos recursos florestais. O *Global Change Biology* também é revisado por pares e trata de aspectos relacionados às mudanças ambientais e climáticas. Por sua vez, a *Acta Amazonica* é um periódico também avaliado por pares, vinculado ao INPA com foco na Amazônia. Observando o escopo de cada revista, percebe-se a relevância de cada uma e a posição de destaque que ocupam frente ao número de publicações.

Os maiores agentes financiadores das pesquisas sobre o tema são brasileiros, como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), seguido do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (FIGURA 12). Vale salientar que o CNPq está vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, contribuindo significativamente para pesquisa brasileira, por ser um expressivo órgão financiador de projetos de extensão em nível superior e de pós-

graduação. Apesar do destaque destas instituições, o fato de tantas instituições internacionais estarem envolvidas com a pesquisa brasileira reforça a possibilidade de parcerias e financiamentos.

FIGURA 12: PRINCIPAIS AGÊNCIAS FINANCIADORAS DE ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

3.2 ESTADO DA ARTE

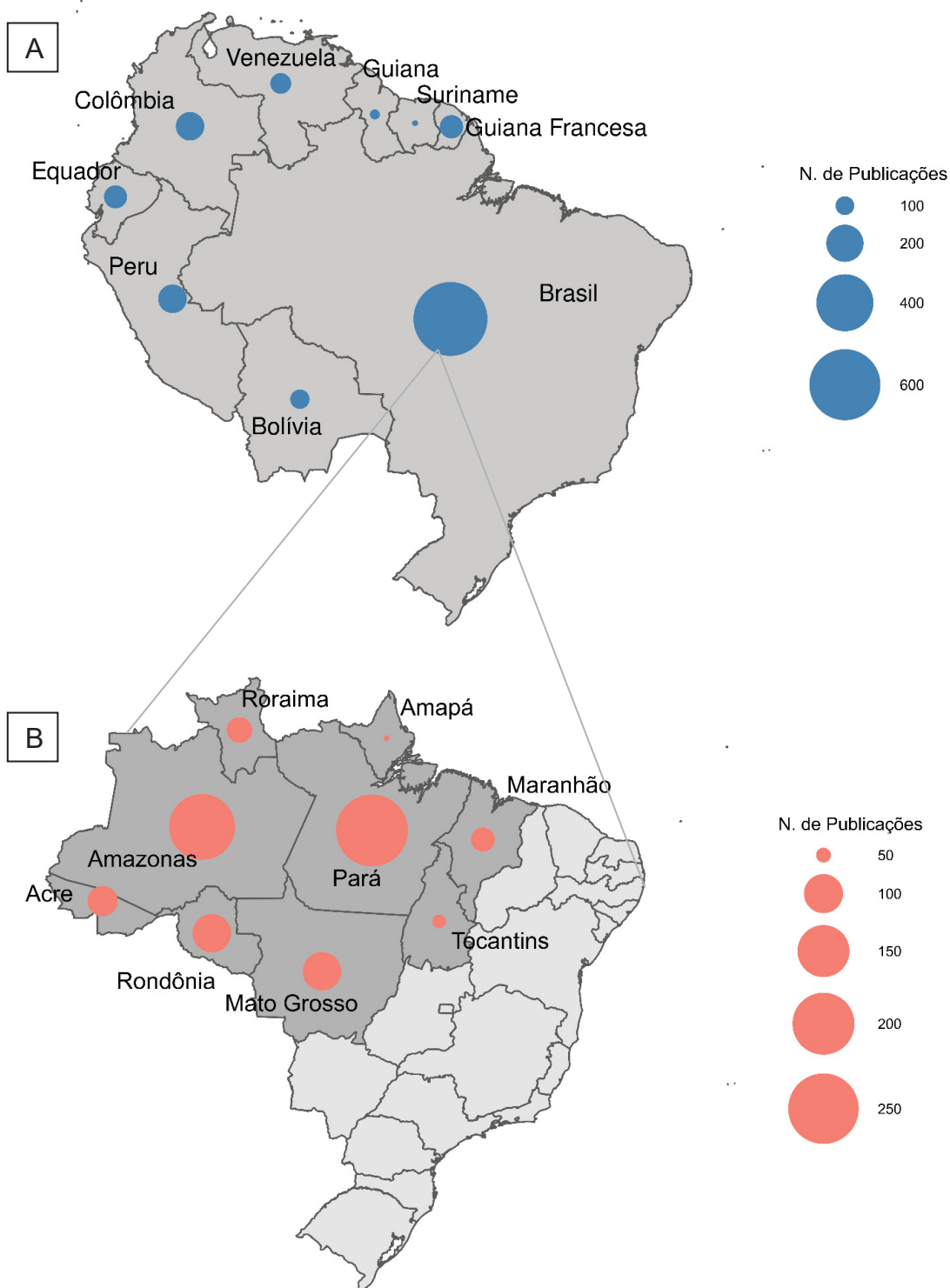
A Floresta Amazônica conta com uma de extensão de cerca de seis milhões de km² (DOMINGUEZ et al., 2022), abrangendo o Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa e Suriname. O Brasil é o país com maior extensão territorial, 4.196.943 km², o que representa cerca de 60% da região amazônica, e compreende os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Rondônia, Roraima, Pará, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão (BRASIL, 2019).

O país com maior número de estudos foi o Brasil, em seguida, destaca-se o Peru e a Colômbia (FIGURA 13A). No entanto, vale salientar que o Brasil contou

com mais de 42% das pesquisas, e que poucos estudos foram realizados na Guiana e no Suriname. Na verdade, o Suriname apenas foi contabilizado em trabalhos que estudaram a Floresta Amazônica inteira, não sendo encontrados trabalhos específicos para a região. Assim, os dois países aparecem como possíveis lacunas e ambientes potenciais a serem estudados.

Observando especificamente o Brasil (FIGURA 13B), percebe-se a predominância de pesquisas realizadas nos estados do Pará e Amazonas. Os dois estados representam aproximadamente metade de todos os trabalhos realizados no país. Em contraste, os estados do Amapá e Tocantins surgem com número reduzido de estudos, representando apenas 5% do total das pesquisas.

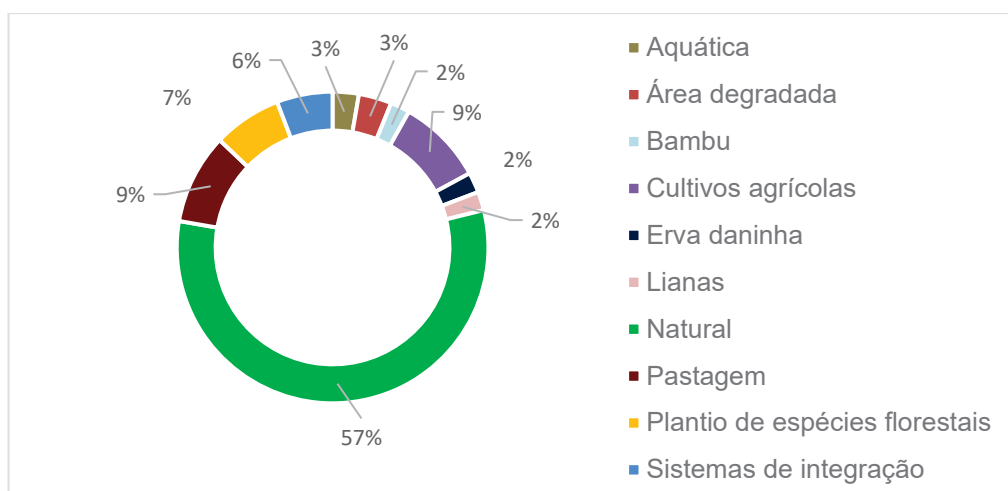
FIGURA 13: PAÍSES (A) E ESTADOS BRASILEIROS (B) COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

A maioria das observações foram realizadas em áreas de florestas naturais, sendo elas primárias ou não, incluindo as áreas de regeneração natural (FIGURA 14). Tais ambientes representaram mais da metade das publicações sobre estoques de biomassa e carbono na região Amazônica.

FIGURA 14: TIPOS DE VEGETAÇÃO COM ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



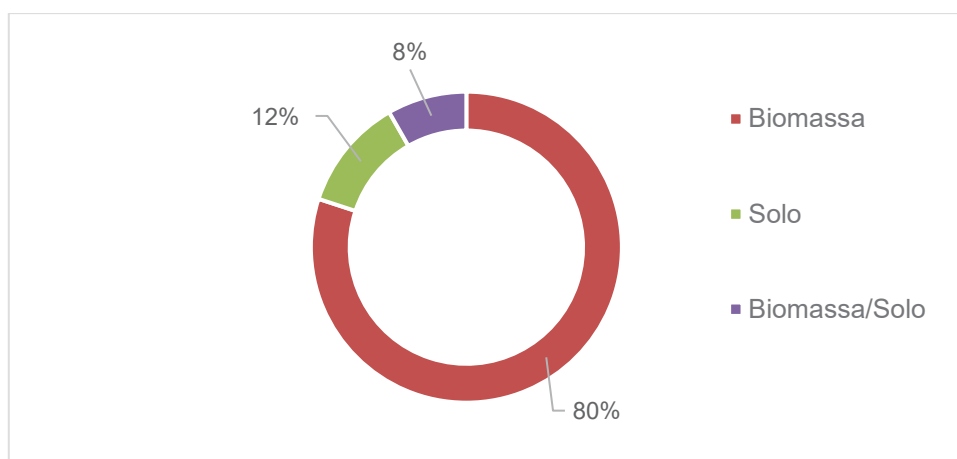
FONTE: A autora (2022).

Os estudos sobre cultivos agrícolas, pastagem e áreas degradadas, coberturas do solo que em sua maioria constituem uma mudança no uso e ocupação do solo, culminando na supressão da vegetação natural, representam pouco mais de 20% das publicações. Os plantios de espécies florestais, sendo eles de interesses comerciais ou conservacionistas, bem como os sistemas de integração, como os de lavoura-pecuária-floresta, também foram estudados, porém, apresentaram baixa quantidade de pesquisas. Sendo assim, novas lacunas foram identificadas, uma vez que a maioria dos pesquisadores dispenderam esforços e recursos para estudar apenas os ambientes naturais, não dando tanta atenção àqueles que geram degradação e maior emissão de GEE, ou ainda àqueles que podem ser um sistema alternativo de produção.

A biomassa, em geral, foi o componente mais estudado. Com relação ao solo, 12% dos manuscritos avaliados quantificaram exclusivamente o estoque de carbono nesse compartimento, em que 8% das pesquisas estimaram o carbono tanto na biomassa quanto no solo (FIGURA 15). Vale ressaltar a importância do estudo na

região edáfica, pois os solos armazenam cerca de 2,5 vezes a mais carbono que a vegetação, sem contar que a mudança na estrutura florestal pode acarretar o aumento da decomposição da matéria orgânica, alterando o balanço de carbono do sítio (BARROS; FEARNSSIDE, 2016).

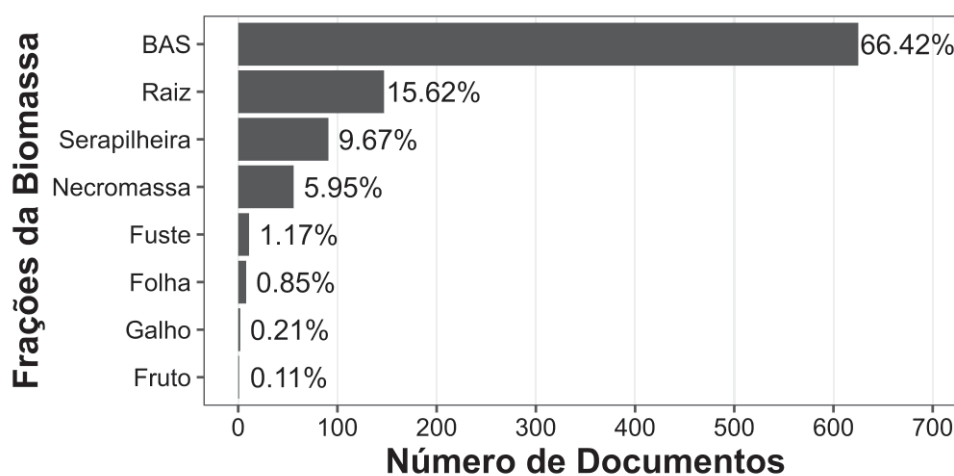
FIGURA 15: COMPONENTES AVALIADOS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

A biomassa acima do solo (BAS) foi a parte da planta mais avaliada, seguida da biomassa abaixo do solo (raízes), da serapilheira e necromassa (grossa) (FIGURA 16). A discrepância na quantidade de estudos é grande, pois os estudos de BAS representam mais de 65% das pesquisas. As raízes aparecem em segundo lugar, representando 15,6% dos estudos, seguidas pelo compartimento serapilheira e necromassa grossa, com 9,7% e 5,9%, respectivamente. Essa foi uma lacuna identificada, uma vez que todos os compartimentos devem ser adicionados para se obter os estoques totais de biomassa e carbono em um sistema.

FIGURA 16: FRAÇÕES DA BIOMASSA AVALIADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

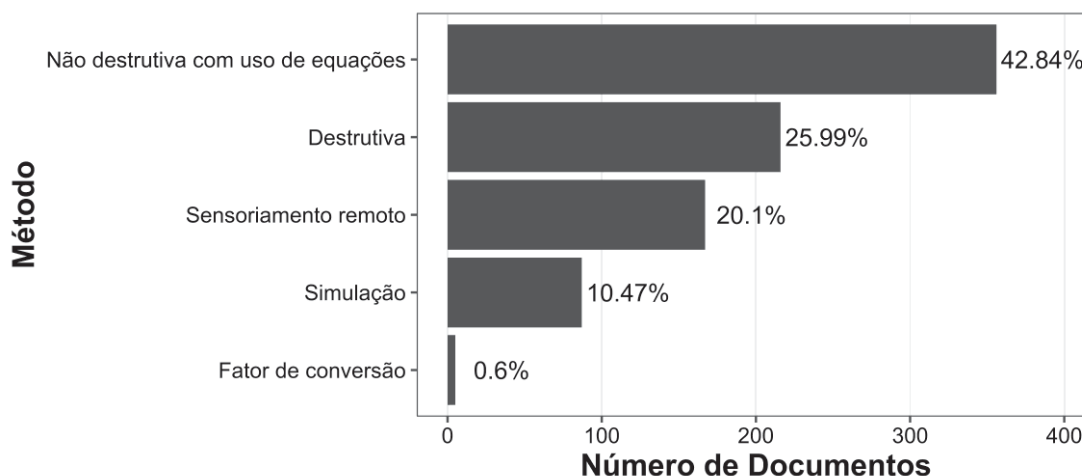
A maior avaliação da BAS pode ser justificada pelo uso de equações para determinação da biomassa nas pesquisas. A utilização de equações já validadas facilita a obtenção dos resultados, por se basear no método indireto, em que não há a necessidade de supressão da vegetação (CHAVE et al., 2005). As raízes e necromassa foram pouco estudadas, apesar da importância para quantificação dos estoques de carbono no sistema. A dificuldade na coleta das raízes pode ser um indicador da baixa quantidade de estudos. Com relação a necromassa, a maioria das pesquisas tratam apenas de macro e micronutrientes em serapilheira, não sendo realizada a avaliação do teor de carbono (CAPELLESSO et al., 2016; LIU et al., 2004; LUDVICHAK et al., 2016; WANG et al., 2019).

Vale lembrar que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define que os reservatórios de carbono em um ecossistema florestal englobam a biomassa acima do solo, as raízes, a matéria orgânica do solo e a necromassa grossa e fina (IPCC, 2006). Tal definição ressalta a importância de estudos em todos os compartimentos, em que os resultados desta pesquisa apontam lacunas que necessitam ser estudadas.

Para quantificar a biomassa, o método não destrutivo com uso de equações foi o mais utilizado (FIGURA 17). Nesse método, faz-se necessários dados de inventários de campo com as variáveis de interesse. O método destrutivo apareceu em seguida, com quantidade de pesquisas menos expressiva. Na sequência, o

sensoriamento remoto e a simulação, que surgem como métodos mais recentes e que usam novas tecnologias e/ou modelos de previsão, aliados com dados de campo para validação do método.

FIGURA 17: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE BIOMASSA NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

O uso de equações utiliza dados de inventário florestal, em que são mensuradas as variáveis desejadas, por isso é um método que facilita a obtenção das informações. No entanto, pode implicar em uma série de erros, pois além do erro da própria equação, pode acumular os erros na mensuração.

A coleta dos dados é imprescindível para mensurar os recursos florestais, podendo ser avaliada em diferentes escalas. Para realização de avaliações precisas, *in situ*, é necessário escolher adequadamente os métodos de amostragem, que normalmente são aplicados em parcelas. Tais parcelas devem cobrir a área desejada de forma significativa, para posterior mensuração do objeto de estudo. Em se tratando da mensuração de árvores, a complexidade estrutural pode dificultar a medição e gerar erros como amostrais ou não amostrais, sistemáticos ou aleatórios, acarretando numa diferença entre o valor real e a estimativa (LIANG et al., 2018; SANQUETTA et al., 2014).

Além do mais, a própria equação proposta para estimativa dos resultados traz consigo um erro, que será acumulado aos dos resultados de campo, no entanto, a maioria dos usos de equações ignoram tais erros (WESTHUIZEN et al., 2022).

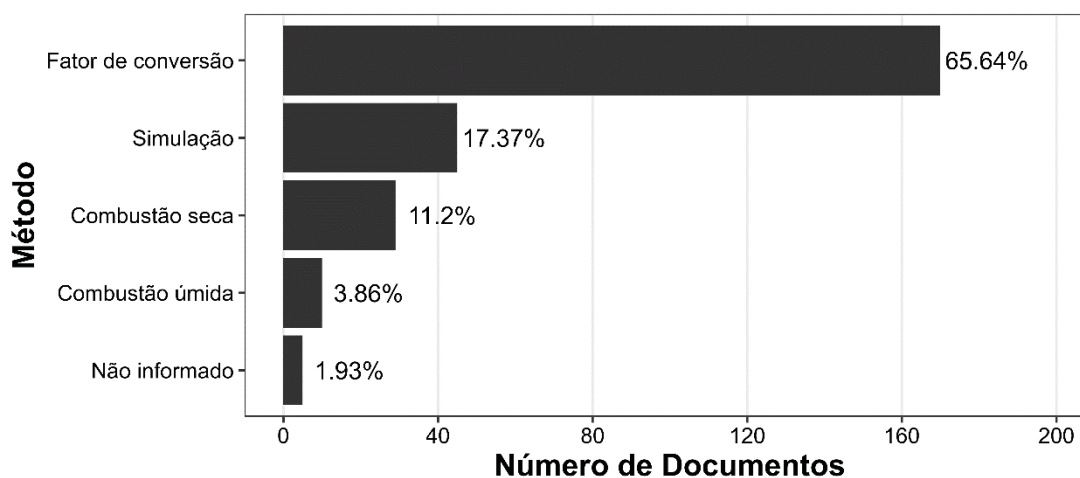
Sendo assim, ao utilizar este método, é preciso escolher uma base de dados precisa, bem como avaliar as equações, a fim de observar se atendem as necessidades de um sítio específico.

Por outro lado, o método destrutivo, ou direto, no qual a vegetação é suprimida, mensurada em campo e transportada para laboratório para determinação do conteúdo de umidade e análises químicas, fornece resultados mais assertivos, além de possibilitar outras determinações, como do teor de carbono. Tal método resulta numa determinação e não deve ser confundido com estimação (SILVA; PAULA NETO, 1979). No entanto, o método destrutivo pode aumentar os custos e tempo para realização do inventário e muitas vezes não é adequado, por motivos legais e dificuldade de acesso. A maioria das pesquisas que realizaram esse método o fizeram por falta de equações específicas para área ou para ajustar modelos matemáticos para uma região.

O sensoriamento remoto e a simulação também são métodos indiretos, possibilitando a estimativa da biomassa à distância. No entanto, há a necessidade de calibração ou validação com banco de dados de campo para melhorar as estimativas, sendo indicados para locais de difícil acesso e de grandes extensões territoriais (CORTE et al., 2020; REX et al., 2020). O fator de conversão foi o método menos utilizado, porém pode auxiliar na estimativa para biomassa de difícil avaliação, como as raízes.

No que diz respeito ao teor de carbono na biomassa, o uso de um fator de conversão foi o método mais utilizado (FIGURA 18). A simulação foi outro método que se destacou para previsões dos estoques. Foi considerado como simulação o trabalho que fez estimativas para datas futuras, ou seja, previsão do estoque. Ambos os métodos são indiretos e não precisam de análises laboratoriais, uma vez que os fatores são obtidos na literatura, ao passo que as simulações são realizadas com dados de inventários florestais e de outras pesquisas.

FIGURA 18: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

As combustões secas e úmidas aparecem na sequência e são baseadas em métodos laboratoriais que utilizam amostras de campo, sendo essas analisadas com resultados específicos para uma determinada região. Como trabalham com a amostra local, tendem a gerar resultados mais preciso para um determinado sítio. Dentre os métodos diretos, recomenda-se a utilização da combustão seca, pois apresenta menor variação entre as amostras requerendo uma quantidade menor de repetições, além gerar menos resíduos, pois não possuem a necessidade da digestão por ácidos (SILVA et al., 2021b).

Cerca de 2% das publicações não informaram o tipo de metodologia utilizada para determinar o teor de carbono na amostra vegetal e posterior conversão para o cálculo do estoque. Não informar a metodologia pode ser caracterizado como uma lacuna do conhecimento, uma vez que não se sabe da precisão que os resultados expressos possam apresentar.

Os fatores de conversão de carbono utilizados para árvores, encontrados na literatura, para determinação da BAS variaram de 0,456 até 0,5 e para raízes de 0,47 até 0,5 (QUADRO 2). É preciso destacar que, a depender do fator escolhido, pode haver uma discrepância de valores, que tendem a subestimar ou a superestimar os resultados.

QUADRO 2: FATORES DE CONVERSÃO UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DE CARBONO NA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.

Árvores de áreas naturais, áreas recuperadas ou plantios de espécies florestais					
Biomassa Acima do Solo			Biomassa Abaixo do Solo		
Fator	% de trabalhos	Referências	Fator	% de trabalhos	Referências
0,456	0,61	(MARTIN; DORAISAMI; THOMAS, 2018)	0,47	5,88	(KAUFFMAN; DONATO, 2012; THOMAS; MARTIN, 2012)
0,46	1,21	(IPCC, 2006, 2014a)	0,4735	2,94	(MARTIN; THOMAS, 2011)
0,47	7,27	(IPCC, 2006; KAUFFMAN; DONATO, 2012; MCGRODDY; DANFRESNE; HEDIN, 2004; THOMAS; MARTIN, 2012)	0,474	5,88	(MARTIN; THOMAS, 2011)
0,4735	1,82	(MARTIN; THOMAS, 2011)	0,48	11,76	(AGUIAR et al., 2012; GOODMAN et al., 2013; IPCC, 2006; SILVA, 2007)
0,474	2,42	(MARTIN; THOMAS, 2011)	0,485	8,82	(HIGUCHI et al., 1998; SILVA, 2007)
0,48	4,24	(AGUIAR et al., 2012; GOODMAN et al., 2013; HIGUCHI; CARVALHO JR., 1994; IPCC, 2006; MARTIN; THOMAS, 2011; SILVA, 2007)	0,489	5,88	(SILVA, 2007)
0,485	7,27	(HIGUCHI et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2008; SILVA, 2007)	0,5	35,29	(BORGES et al., 2016; BROWN; LUGO, 1984; CHAVE et al., 2005; IPCC, 2008; MACDICKEN, 2015; MOKANY; RAISON; PROKUSHKIN, 2006; PENMAN et al., 2003; SILVER et al., 2005)
0,489	2,42	(SAATCHI et al., 2011; SILVA, 2007)	Não informado	23,53	-
0,494	0,61	(GOODMAN et al., 2013)	-	-	-
0,5	38,79	(BACCINI et al., 2012; BERENGUER et al., 2014; BROWN; LUGO, 1982, 1984; CARVALHO JR. et al., 1995; CHAMBERS et al., 2000; CHAVE et al., 2005; CLARK et al., 2001; FELDPAUSCH et al., 2012; HOUGHTON et al., 2001; IPCC, 2006, 2008; MACDICKEN, 2015; MALHI et al., 2004; MARKEWITZ et al., 2004; PENMAN et al., 2003; SAATCHI et al., 2011)	-	-	-
Não informado	33,33	-	-	-	-

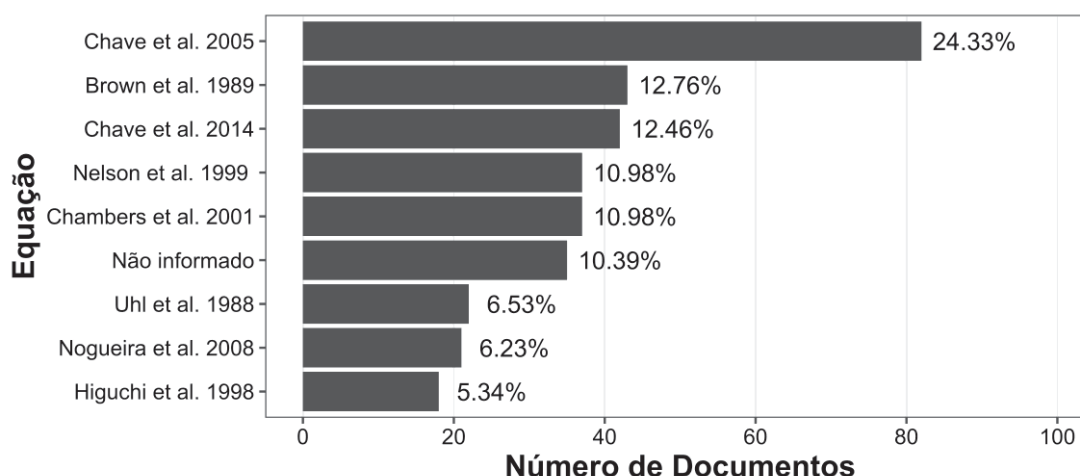
FONTE: A autora (2022).

Aproximadamente 70% dos trabalhos utilizaram o fator de conversão como método de determinação de carbono na biomassa. Apesar de ser um método de fácil obtenção de resultados, por utilizar dados da literatura, pode ocorrer

expressivos erros quando extrapolado para áreas extensas, como já discutido anteriormente.

Quanto às equações, Chave *et al.* (2005) e Chave *et al.* (2014), juntamente com Brown *et al.* (1989), são as mais utilizadas nas pesquisas (FIGURA 19). Ao todo, foram encontradas 86 equações, no entanto, as cinco mais utilizadas representaram quase metade das pesquisas, sendo que dessas, duas são de autoria do pesquisador Dr. Jérôme Chave, se caracterizando como equações flexíveis e recomendadas na estimativa de biomassa de florestas tropicais. A principal discussão atual aborda se as equações gerais são adequadas aos locais em que não há uma equação específica ou se há a necessidade de desenvolver equações locais (FAYOLLE *et al.*, 2013).

FIGURA 19: PRINCIPAIS EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

Os modelos de Chave *et al.* (2005, 2014) utilizam variáveis dendrométricas como o diâmetro a 1,3 m acima do solo (DAP), densidade e altura total (h) como variáveis independentes, enquanto Brown *et al.* (1989) utiliza o DAP e altura (QUADRO 3).

QUADRO 3: MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA DOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.

Modelos	Variáveis	R ²	S _{yx}	Referência
$\text{Exp}(-2,977+\ln(\text{DAP}^2h))$	DAP e h	0,996	0,311	(CHAVE et al., 2005)
$\rho \times \text{Exp}(-1,499 + 2,148\ln(\text{DAP}) + 0,207(\ln(\text{DAP}))-0,0281(\ln(\text{DAP})^3)$	DAP e ρ	0,996	0,356	
$\text{Exp}(-3,1141+0,9719\ln(\text{DAP}^2h))$	DAP e h	0,99	0,06079	(BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989)
$0,0673 \times (\rho \times \text{DAP}^2h)^{0,976}$	DAP, h e ρ	-	0,357	(CHAVE et al., 2014)
$\text{Exp}[-1,803-0,976E+0,976\ln(\rho) + 0,2673\ln(\text{DAP}) - 0,0299[\ln(\text{DAP})^2]]$	DAP e ρ	-	0,413	
$-370+0,333\ln[\ln(\text{Db})+0,933[\ln(\text{Db})]^2-0,122[\ln(\text{Db})]^3$	Diâmetro da base	0,973	0,297	(CHAMBERS et al., 2001)
$\ln(W) = -1,4702+2,4449(\text{DAP})+0,9028\ln(\rho)$	DAP e ρ	0,989	0,15	(NELSON et al., 1999)
O manuscrito apresenta equações por compartimento	DAP e h	-	-	(UHL; BUSCHBACHER; SERRAO, 1988)
$\ln(W) = 1,716+2,335\ln(\text{DAP})$	DAP	0,964	0,306	(NOGUEIRA et al., 2008)
$0,001 \text{ DAP}^1,579h^2,621$	DAP e h	0,94	540* (Kg)	(HIGUCHI et al., 1998)

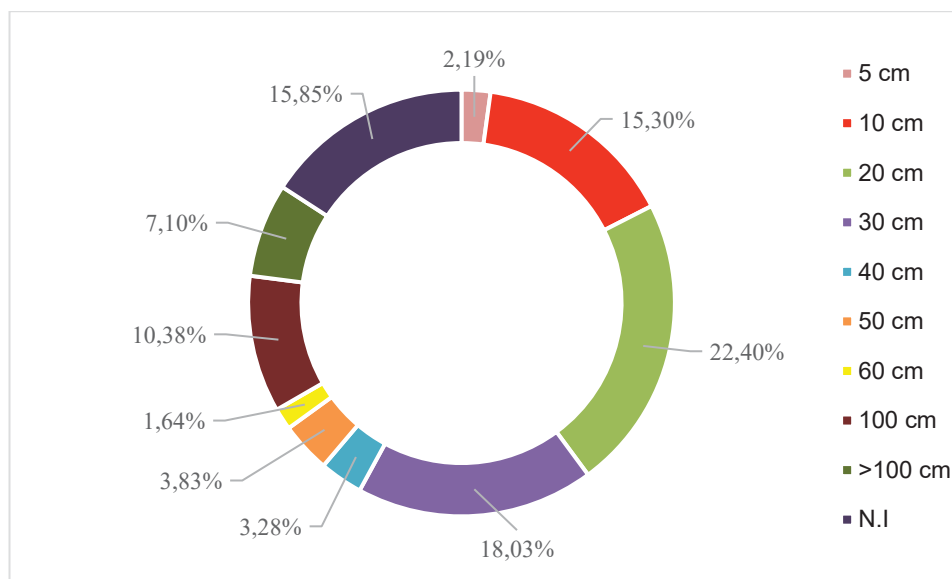
No qual:DAP= Diâmetro à altura do peito; h = altura; ρ = densidade básica da madeira; Db = densidade básica da madeira; E = Variável ambiental disponível em dados suplementares do manuscrito; W = biomassa acima do solo; R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = Erro padrão da estimativa.

FONTE: A autora (2022).

Dos modelos mais empregados, nove utilizam a variável DAP, cinco a altura e quatro a densidade. O DAP é uma variável de fácil medição e, apesar da altura também ser importante para as estimativas de biomassa, sua medição não é um processo simples nas florestas tropicais (FELDPAUSCH et al., 2012). A densidade da madeira é uma variável que pode ser obtida por métodos laboratoriais que necessitam de amostras ou na literatura especializada.

Para a região edáfica, foram encontradas pesquisas que avaliaram grandes profundidades de solo (> 100 cm), porém a maioria quantificou o carbono até os 20 primeiros centímetros do perfil (FIGURA 20). Alguns estudos avaliaram mais de 100 centímetros de profundidade do solo, porém tais pesquisas recorreram a perfuradores automáticos de solo para coleta do material ou estimaram o carbono por meio de simulação.

FIGURA 20: PROFUNDIDADES MÁXIMAS DE SOLO AVALIADAS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.

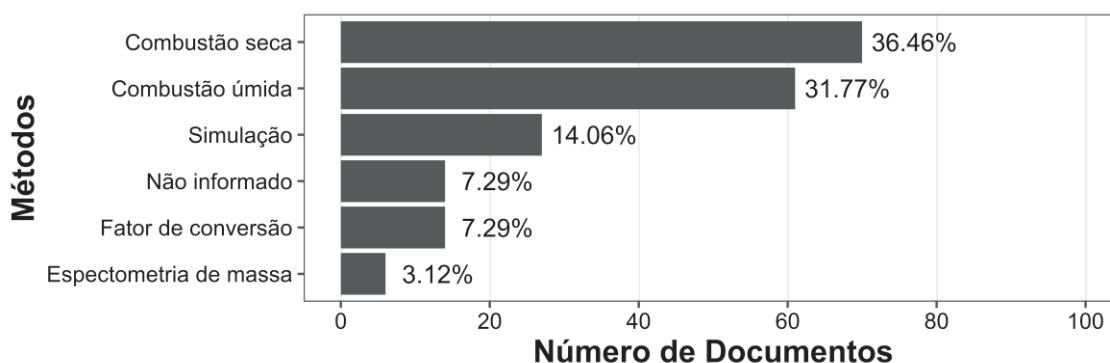


FONTE: A autora (2022).

A segunda medida mais avaliada foi até os 30 cm de profundidade. Vale salientar que o IPCC (2003) afirma que a entrada de matéria orgânica tende a se concentrar nos horizontes superiores do solo, ficando a maior parte retido nos primeiros 30 cm, o que torna a boa parte do carbono contido nos solos suscetíveis à distúrbios. No entanto, os primeiros 20 cm são aqueles que concentram a maior quantidade de carbono (BASTOS et al., 2021).

Ao contrário da determinação de carbono na biomassa, as análises laboratoriais apareceram com mais frequência na determinação de carbono dos solos (FIGURA 21). A maioria das pesquisas coletaram amostras indeformadas para a determinação da densidade e, em seguida, extrapolaram o teor de carbono para a camada desejada.

FIGURA 21: MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE CARBONO DOS SOLOS NOS ESTUDOS PUBLICADOS E INDEXADOS NA BASE DE DADOS SCOPUS, RELACIONADAS AO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO NA REGIÃO AMAZÔNICA.



FONTE: A autora (2022).

Alguns pesquisadores recorreram ao método da simulação, por meio de modelos para previsão e mapas de solo, aliados a um banco de dados, porém em menor proporção. Mais de 7% das pesquisas não descreveram ou citaram o método utilizado para obtenção dos dados, gerando uma nova lacuna.

3.3 AVALIAÇÃO LOCAL DE BIOMASSA E CARBONO

3.3.1 Avaliação dos plantios de restauração

3.3.1.1 Determinação da biomassa por árvore individual

Após mensuração dos indivíduos derrubados foi observado que o diâmetro à altura do peito mínimo foi de 3,69 cm e o máximo de 17,03 cm, já as alturas variaram de 4,3 m até 14,33 m. A biomassa total média por indivíduo, determinada pelo método direto, foi de 29,49 kg por árvore, variando de 4,35 kg a 106,32 kg.

O compartimento que mais contribuiu para o estoque de biomassa foi o fuste, representando uma média de 52,95% da biomassa total da árvore. Ao separar a biomassa acima do solo das raízes, a parte aérea correspondeu a 84,51% da biomassa total. As folhas foram o compartimento com menor contribuição para biomassa por indivíduo, contribuindo com 10,91% da biomassa total. A coleta por compartimento é oportuna, pois além de permitir o conhecimento dos teores de carbono por compartimento permite saber a contribuição de cada compartimento para biomassa total das árvores (HIGUCHI et al., 1998).

As vantagens do método direto para determinação da biomassa são os resultados mais precisos e acurados, além da coleta de material para análises laboratoriais. Por outro lado, suas desvantagens são o alto custo, a demanda de tempo e mão de obra elevada, além da possibilidade de tendenciosidade na escolha do local de estudo, bem como a dificuldade de corte e medição detalhada de algumas espécies, por mecanismos legais (NELSON et al., 2014; SANQUETTA et al., 2002; SILVEIRA et al., 2008; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012; WEISKITTEL et al., 2015; WHITE et al., 2016).

As determinações diretas são a base para modelagem e por isso os dados coletados em campo devem refletir a realidade da área que se deseja estimar, só assim as estimativas de biomassa serão confiáveis. É importante a integração entre diversos métodos para aumentar a confiabilidade e otimizar o tempo da quantificação dos estoques de biomassa e carbono de um local. Com isso a combinação de técnicas como a destrutiva, inventário florestal, sensoriamento remoto e análises laboratoriais parecem ser mais adequadas para precisão e acurácia dos resultados (SANQUETTA et al., 2020).

O valor calculado para o Fator de Expansão de Biomassa (FEB) foi de 1,81. São poucos os valores encontrados na literatura e o IPCC (2003) apresenta números de referência para floresta madura que variam de 2,00 até 9,00, com média de 3,0. Sanquetta e colaboradores (2019) trabalhando com plantios de restauração com 5 anos e meio na mesma região deste estudo encontraram FEB de 1,58. Apesar do valor do presente estudo ser próximo ao mínimo do IPCC é possível perceber a importância da determinação do FEB para plantios de restauração florestal na Amazônia, uma vez que valor de referência não reflete a realidade.

Já a razão raiz parte aérea (R) foi de 0,20, próximo ao valor encontrado por Sanquetta et al. (2019). Porém o valor médio dessa razão, apresentado pelo IPCC para florestas tropicais, é de 0,37, variando de 0,20 a 0,56. O valor de R estima a participação das raízes com relação à biomassa total quando não há possibilidade de coleta da biomassa abaixo do solo.

Assim, quando conhecido o valor de R para um local é possível incluir os sistemas radiculares nos inventários de biomassa e carbono, inclusive para relatórios de estoque e emissão de GEEs. Os valores de FEB e de R são fatores utilizados para conversão e/ou expansão da biomassa, para obtenção da biomassa aérea ou outros componentes da árvore, por meio de equações geradas a partir da

dados obtidos pelo método direto (CARON et al., 2014). Assim, o FEB é encontrado por meio relação entre a biomassa aérea com a biomassa do fuste e o R por meio da relação raiz parte aérea, sendo o R utilizado quando há necessidade de estimativa das raízes e o FEB quando há estimativa da biomassa por meio do volume e densidade da madeira (CORTE; SILVA; SANQUETTA, 2012; SANQUETTA et al., 2019). No entanto, se este estudo utilizasse o valor de referência do IPCC (2003) ao invés dos dados obtidos na coleta local os resultados seriam superestimados.

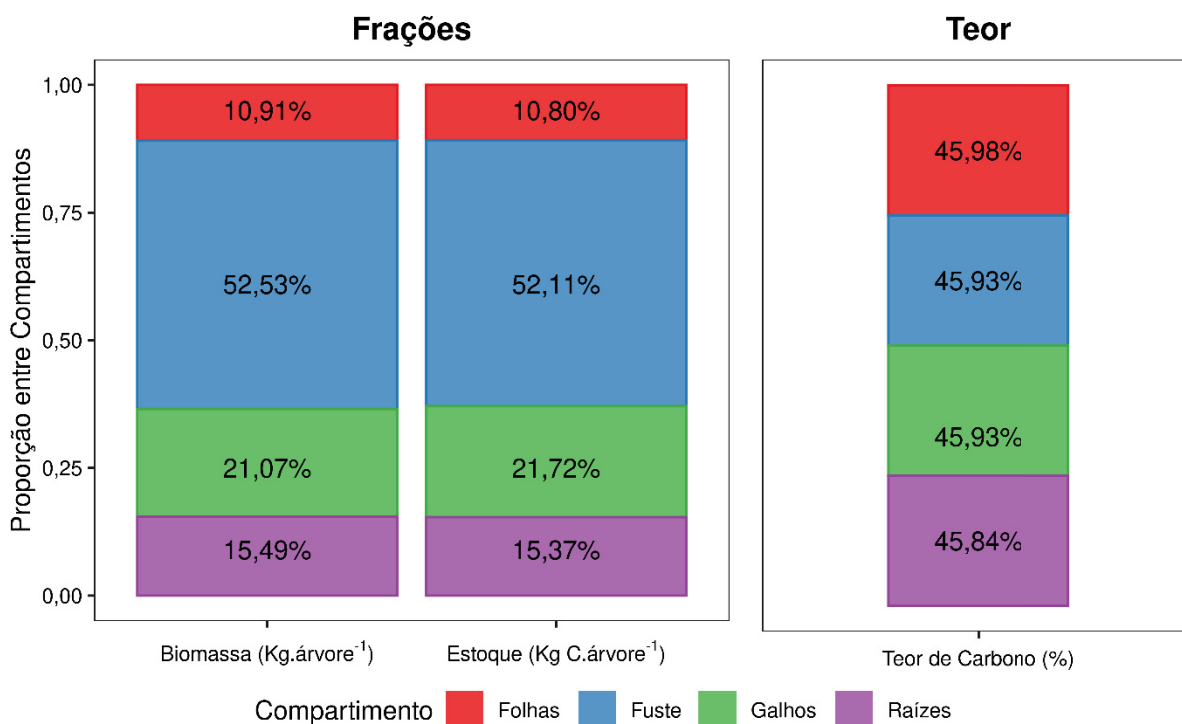
3.3.1.2 Determinação dos teores e estoques de carbono

O teor médio de carbono da biomassa total foi de 45,91%, esse teor foi calculado com base em uma média ponderada da contribuição da biomassa de cada compartimento. Os teores de carbono nos compartimentos variaram de 43,28% nas folhas até 51,24% também nas folhas. O teor médio, indicado pelo IPCC (2006) como fator de conversão para Floresta Tropical Úmida é de 47%, esse valor é uma média de vários estudos e pode não ser representativo para um determinado sítio, subestimando ou superestimando os resultados.

Os fatores de conversão encontrados nas publicações indexadas na base de dados *Scopus* até o ano de 2020 variaram de 45,6% a 50%. O valor encontrado na avaliação local ficou entre os valores apresentados na literatura, porém muito mais próximo do limite inferior, o que significa que a utilização do limite superior implicaria em uma superestimativa dos resultados.

Com relação ao estoque médio de carbono, esse foi de 13,53 kg.C.árvore⁻¹, sendo a maior contribuição a do fuste, com média de 7,09 kg.C.árvore⁻¹, já a fração que menos contribuiu foi as folhas com 1,47 kg.C.árvore⁻¹. Os teores médios de carbono variaram pouco entre os compartimentos e o fuste foi o componente que mais contribuiu para o estoque de carbono e biomassa (FIGURA 22). No geral o fuste contém a maior proporção da biomassa em indivíduos arbóreos de Florestas Tropicais (SOUZA et al., 2018).

FIGURA 22: CONTRIBUIÇÃO DE CADA COMPARTIMENTO NA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO TOTAL, EM PORCENTAGEM, PARA PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.



FONTE: A autora (2022).

Utilizando o teor de carbono indicado pelo IPCC (2006), o estoque de carbono na biomassa passaria de 13,53 kg.C.árvore⁻¹ para 13,86 kg.C.árvore⁻¹. Apesar de não parecer uma grande diferença, é preciso lembrar que este valor é para uma árvore e que quando for extrapolado para hectare a influência dessa diferença passa a ser mais evidente.

Avaliações locais são importantes, porém nem sempre são viáveis, seja por falta de recursos ou tempo para execução do trabalho. No entanto, quando possível é indicada a coleta do material para avaliação da área de estudo, uma vez que a depender do fator de conversão utilizado pode haver subestimação ou superestimação dos resultados.

O método de determinação escolhido em laboratório também é importante para o processo, sobretudo pela precisão e custos dos resultados. Muitas avaliações utilizam o método volumétrico, por meio da digestão úmida em ácido sulfúrico. No entanto, o método gera grande quantidade de resíduos que podem causar poluição ambiental, além de conter erros gerados por meio do operador, uma vez que o ponto de oxidação é determinado visualmente (ARAUJO et al., 2020).

Atualmente o método de combustão seca tem sido o mais utilizado, uma vez que além da menor quantidade de resíduo gerado na operação, entrega resultados mais precisos e acurados (SILVA et al., 2021b). No entanto o equipamento utilizado no processo apresenta custo elevado, o que dificulta a realização de análises por esse método. Porém, há uma tendência de substituição gradual das avaliações realizadas por combustão úmida para a combustão seca, sobretudo pela eficiência no tempo e precisão dos resultados.

3.3.1.3 Ajuste de modelos alométricos

Os resultados dos ajustes dos modelos alométricos estão representados na TABELA 1. Os parâmetros estimados foram significativos, ao nível de 5% de probabilidade, para todos os modelos e compartimentos, exceto para o modelo de Schumacher-Hall e compartimentos Bg, Bfo e Br. Em particular, o componente fuste e a biomassa total tiveram seus parâmetros estimados significativos nos três modelos testados. O fuste é o componente que apresenta maior contribuição e menor variação na biomassa total da árvore (SOUZA et al., 2018). Essa menor variação permite a estimativa de parâmetros com maior precisão.

TABELA 1: ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DOS MODELOS ALOMÉTRICOS TESTADOS PARA BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

Modelo	Parâmetros	Bfu	Bg	Bfo	Br	Bt
Spurr	β_0	3,0528*	1,7498ns	1,1749ns	1,3365*	7,3139*
	β_1	0,0148*	0,0050*	0,0024*	0,0038*	0,0260*
Schumacher-Hall	β_0	-3,0328*	-2,4477*	-3,3742*	-1,8145*	-1,6037*
	β_1	1,4335*	1,6110*	1,3953*	1,0180*	1,4220*
	β_2	1,1714*	0,1102ns	0,5150ns	0,4340ns	0,7998*
Husch	β_0	-2,0571*	-2,3553*	-2,9453*	-1,4530*	-0,9375*
	β_1	2,0868*	1,6722*	1,6825*	1,2600*	1,8681*

No qual: β_i = Parâmetros estimados dos modelos; Bfu = Biomassa do fuste; Bg = Biomassa dos galhos; Bfo = Biomassa das folhas; Br = Biomassa das raízes; Bt = Biomassa total; * = Significativo à um nível de 5% de significância; ns = não-significativos

FONTE: A autora (2022).

Os erros da estimativa da biomassa total variaram de 12,02 kg a 12,15 kg por indivíduo (

TABELA 2). Em termos relativos, esse erro variou de 43,17% a 43,62%. Para os três modelos testados, a biomassa de galhos foi a que apresentou maior erro, contrastando com o compartimento fuste, que apresentou as menores taxas de erro relativo. Este resultado pode estar relacionado com o fato que a quantidade de

galhos pode variar de acordo com fatores bióticos, como espécie, defesa contra patógenos e outros organismos, ou alterações morfológicas em razão de estresse abiótico (TAIZ et al., 2017).

TABELA 2: ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS MODELOS ALOMÉTRICOS TESTADOS PARA BIOMASSA TOTAL E COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

Modelo	Compartimentos	R ²	Syx	Syx(%)
Spurr*	Bfu	0,8053	4,5239	30,6813
	Bg	0,2142	6,2725	109,3516
	Bfo	0,2126	2,9685	97,2500
	Br	0,6195	1,8895	43,7905
	Bt	0,6507	12,1472	43,6172
Schumacher-Hall	Bfu	0,7982	4,4352	30,0798
	Bg	0,2746	6,1024	106,3853
	Bfo	0,2365	2,9432	96,4220
	Br	0,5180	2,1362	49,5083
	Bt	0,6483	12,0591	43,3007
Husch	Bfu	0,6993	5,6416	38,2615
	Bg	0,2831	6,0642	105,7196
	Bfo	0,2351	2,9460	96,5142
	Br	0,5060	2,1651	50,1773
	Bt	0,6501	12,0226	43,1698

No qual: Bfu = Biomassa do fuste; Bg = Biomassa dos galhos; Bfo = Biomassa das folhas; Br = Biomassa das raízes; Bt = Biomassa total; R² = Coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = Erro Padrão da Estimativa; * = Significativo a nível de significância de 0,1%, no teste de Breusch-Pagan.

FONTE: A autora (2022).

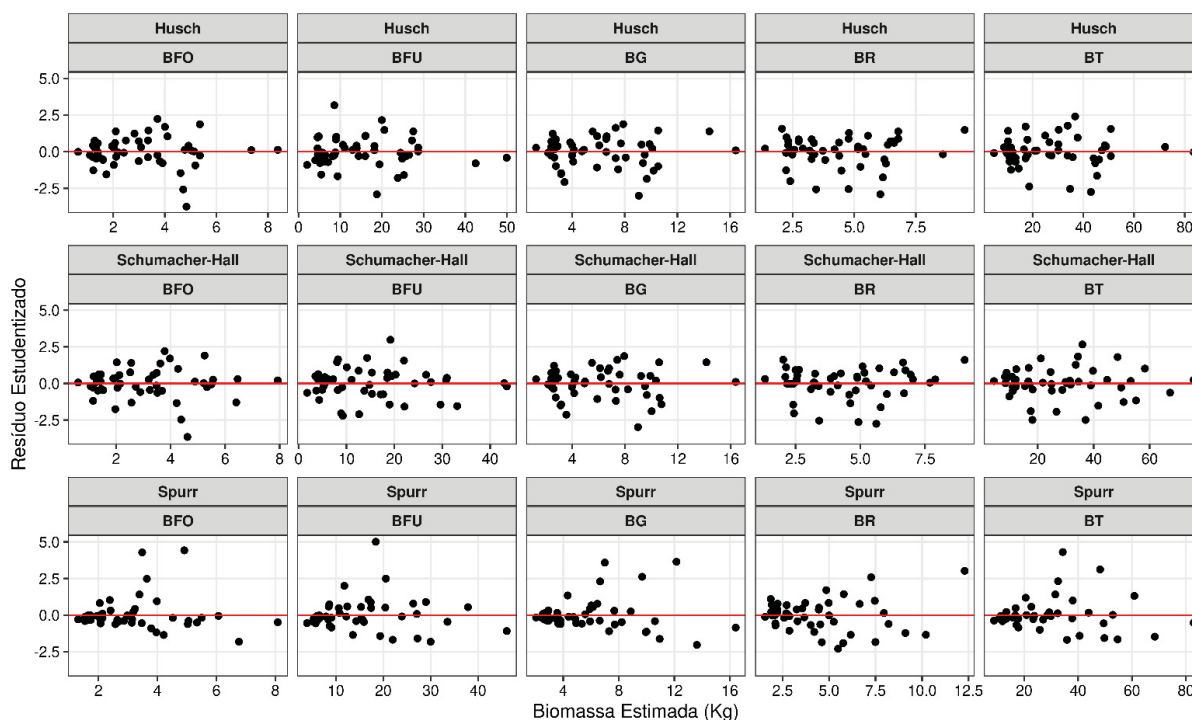
A dispersão de resíduos dos ajustes sugere heterocedasticidade em todos os compartimentos do modelo de Spurr (FIGURA 23). Para os modelos linearizados essa tendência não foi observada. A transformação dos dados, que muitas vezes é reflexo da linearização do modelo, pode contribuir para variâncias mais homogêneas (GUJARATI; PORTER, 2011).

De acordo com os critérios estatísticos avaliados (

TABELA 2) e análise gráfica de resíduos (FIGURA 23), foi selecionado o modelo de Husch para realizar a estimativa de biomassa por hectare. A heterocedasticidade é um fenômeno frequentemente presente em modelos alométricos de biomassa florestal, devido à grande variância da biomassa total e por

componente, sobretudo com o aumento das dimensões das árvores (COUTINHO et al., 2021).

FIGURA 23: RESÍDUOS ESTUDENTIZADOS DOS AJUSTES DOS MODELOS ALOMÉTRICOS DA BIOMASSA TOTAL E POR COMPARTIMENTO, NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



FONTE: A autora (2022).

Utilizando o modelo de Husch, foi possível estimar a biomassa e o estoque de carbono arbóreo total, por hectare, a partir do diâmetro médio e altura média das parcelas amostrais do plantio de regeneração (APÊNDICE 1). A biomassa total média foi de $54,79 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ sendo o compartimento mais representativo o fuste, que representou 56,36% da biomassa total (APÊNDICE 1). A biomassa acima do solo representou 88,47% da biomassa total, sendo o componente mais abundante quando comparado com a raiz. A fração menos representativa foi a das folhas, com cerca de 10,63% de contribuição na biomassa total. A ordem de contribuição dos compartimentos para biomassa foi: fuste > galho > raiz > folha.

Se o aumento médio de crescimento das florestas em questão fosse constante, implicaria em um crescimento médio anual de $7,83 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Considerando o valor de referência médio para floresta tropical madura de $279,08 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (IPCC, 2006; MCTI, 2016), o plantio em estudo alcançaria o estoque da floresta madura em cerca de 35 anos. No entanto, florestas jovens tendem a crescer

mais no início, tendo sua velocidade de crescimento reduzida com o passar do tempo, devido a fatores como competição. Também é preciso lembrar que existe uma infinidade de processos ecológicos presentes em uma floresta madura, como processos fenológicos e senescência de folhas maduras, que se consolidam após um longo período.

Apesar do plantio deste estudo ser composto em grande parte por espécies nativas, foi observado que a biomassa por hectare se aproxima com a de plantios comerciais homogêneos, que tendem a ter maior crescimento. Um plantio de *Schizolobium parayba* (Vell.) Blake aos seis anos, também em Rondônia, apresentou biomassa de 41,94 Mg.ha⁻¹ (NEVES et al., 2022). Avaliando um plantio de *Parkia* sp. com aproximadamente metade da idade do plantio deste estudo, Costa et al. (2014) encontraram biomassa de 19,65 Mg.ha⁻¹ para *Parkia multijuga* Benth., 19,52 Mg.ha⁻¹ para *Parkia nitida* Miq. e 9,58 Mg.ha⁻¹ para *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp.

Plantios de espécies florestais são importantes para reduzir a perda de biodiversidade e aumentar os recursos florestais, sejam eles comercializáveis ou serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono (NUNES et al., 2020). Conhecer os estoques de biomassa é fundamental para estimar os estoques de carbono dos plantios de restauração.

Diferente do método direto, que determina a biomassa de um local, o método indireto consiste numa estimativa do valor da biomassa. Tem como vantagens a facilitação do trabalho de campo e redução os custos e tempo da coleta (CORTE et al., 2020; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012) por meio de modelos alométricos ajustados a partir de dados obtidos pelo método direto, sensoriamento remoto ou simulação. Vale ressaltar que qualquer método indireto escolhido deve ser calibrado ou ajustado com dados advindos do método direto (WEISKITTEL et al., 2015).

Modelos alométricos são a representação estatística da relação entre duas variáveis biométricas. Para biomassa florestal, normalmente essa relação é feita entre a biomassa e variáveis rotineiramente mensuradas em inventários florestais, como o DAP e altura (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; CHAMBERS et al., 2001; CHAVE et al., 2014; FAYOLLE et al., 2013; HIGUCHI et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2008). As dimensões da copa também podem ser utilizadas para a estimativa da biomassa arbórea (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012; TRAUTENMÜLLER et al., 2021).

A altura dos indivíduos e o diâmetro à altura do peito são variáveis altamente correlacionadas com a biomassa florestal, sendo frequentemente indicadas nas estimativas de biomassa (SUWA et al., 2013). Como um DAP pode ter diferentes alturas, sua combinação com a variável h reduz a superestimativa ou subestimativa da biomassa (CHAVE et al., 2005).

A utilização de modelos alométricos traz como vantagem a possibilidade de obter a biomassa sem a necessidade de coleta, o que reduz a mão de obra e tempo de execução (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2012). Por outro lado, tal praticidade possui um erro associado a essa estimativa, além da possibilidade de utilizar equações não tão apropriadas para o local de interesse (NELSON et al., 2014; VORSTER et al., 2020; WANG; ZHONG; KIMMINS, 2002). Ademais, algumas equações são mais abrangentes em consequência da utilização de diversos bancos de dados, distribuídos pelo mundo, para sua construção (CHAVE et al., 2005).

Dados de inventário florestal, com determinação direta da biomassa, geram resultados precisos, porém em áreas extensas podem causar grandes incertezas (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989). No entanto esses inventários ainda parecem gerar resultados mais representativos que aqueles advindos de equações alométricas. Porém, as equações alométricas, apesar de desenvolvidas com um pequeno banco de dados proveniente da mensuração direta da árvore, são facilmente aplicáveis, reduzindo custos e tempo de execução em grandes áreas, além de conseguir realizar estimativas para áreas de difícil acesso (BROWN; LUGO, 1992; CHAVE et al., 2005, 2014; FELDPAUSCH et al., 2012; NOGUEIRA et al., 2008)

Estudos envolvendo estimativas de biomassa e carbono em plantios de restauração são importantes para compreender de que forma o crescimento dessas áreas impacta na contabilização global dos estoques de biomassa e carbono. Além do mais, a maior parte das equações encontradas na literatura são para florestas maduras, utilizando dados para os ajustes que não refletem a biometria de plantios jovens (SANQUETTA et al., 2020).

3.3.1.4 Avaliação da necromassa fina (serapilheira)

A serapilheira contribuiu com uma biomassa média de 9,81 Mg.ha⁻¹. A biomassa da serapilheira representou cerca de 14,54% da biomassa total do plantio.

O teor médio de carbono encontrado na serapilheira foi de 44,57%, que implica num total de 4,37 Mg C.ha⁻¹. Utilizando o teor de carbono indicado pelo IPCC de 39% (2006), para áreas nas quais não existem avaliações locais da serapilheira, o estoque de carbono seria de 3,83 Mg C.ha⁻¹ o que subestimaria o resultado em 12,45%. Tais resultados reforçam a importância da quantificação da necromassa fina nos inventários globais de biomassa e carbono.

De forma geral, em regiões tropicais as folhas sempre são a fração mais representativa da serapilheira, sendo que sua proporção depende principalmente das espécies que compõem o local, bem como de fatores como idade dos indivíduos e abióticos como regime hídrico (CALDEIRA *et al.*, 2013; HOLANDA *et al.*, 2017; TAIZ *et al.*, 2017). A quantidade de folhas na serapilheira tende a aumentar em estações com baixa pluviosidade, no qual as plantas perdem mais deste componente como estratégia de sobrevivência (CASTELLANOS-BARLIZA *et al.*, 2018). O estoque da serapilheira está fortemente correlacionado com a abertura do dossel (ZELARAYÁN *et al.*, 2015), assim, áreas de regeneração tendem a ter quantidades menores de serapilheira que ambientes primários da mesma fitofisionomia.

A serapilheira é um compartimento muito importante para o equilíbrio dos ecossistemas, uma vez que atua na regulação de temperatura e umidade dos solos, sem contar que reduz os processos erosivos da região edáfica, servindo de abrigo para diversas espécies da fauna de solo, além da sua contribuição no ciclo biogeoquímico (ALMEIDA; LUIZÃO; RODRIGUES, 2015; CALDEIRA *et al.*, 2013). No entanto, apesar de sua importância, a maioria das pesquisas avaliam a dinâmica do estoque biomassa e de nutrientes e não o estoque de carbono (LIU *et al.*, 2004; LUDVICHAK *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2017).

De todos os trabalhos indexados na base *Scopus* relacionados com estoque de biomassa e carbono na Amazônia, apenas 9,67% avaliaram a serapilheira. Trabalhos como este são importantes para preencher as lacunas no conhecimento que ainda existem sobre o tema, bem como otimizar os valores utilizados na elaboração dos relatórios de emissão de GEEs.

3.3.1.5 Avaliação necromassa grossa

A necromassa coletada no plantio de reflorestamento representou 4,23% da biomassa total do plantio e foi devidamente classificada de acordo com o estágio de decomposição. A necromassa média foi de 2,85 Mg.ha⁻¹, sendo que cada estágio contribuiu com 17,19%, 55,44% e 27,37%, I, II e III, respectivamente. Os materiais mais preservados foram menos frequentes e o estágio II, o mais abundante (TABELA 3).

TABELA 3: CONTRIBUIÇÃO DA NECROMASSA NOS DIFERENTES ESTÁGIOS DE DECOMPOSIÇÃO EM PLANTIO DE REFLORESTAMENTO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

	Estágio de decomposição (Mg.ha ⁻¹)			Total
	I	II	III	
Média	0,49	1,58	0,78	2,85
Mínimo	0	0	0	-
Máximo	5,54	19,99	3,21	-
Desvio-Padrão	1,13	3,84	0,96	-

FONTE: A autora (2022).

Em florestas tropicais, além de uma maior diversidade da necromassa, as taxas de decomposição são mais aceleradas em todas as estações, devido as altas temperaturas e umidade, o que aumenta a atividade microbiana, por isso uma menor quantidade do estágio I (SANCHES et al., 2009). A avaliação da necromassa é pouco presente nos estudos de biomassa florestal, no entanto para esta pesquisa representou cerca de 7,6% da biomassa total das árvores.

Assim como a necromassa fina ainda são poucas as publicações sobre estoque de biomassa e carbono indexadas no *Scopus* que avaliam a necromassa grossa. Mais precisamente 5,95% dos trabalhos quantificaram e/ou estimaram a necromassa grossa de ambientes na Floresta Amazônica. Dada a proporção de material senescente existente em um ambiente Florestal é de suma importância contabilizar e incluir seus estoques de biomassa e carbono para evitar subestimativas dos resultados. O material senescente continua estocando carbono, que vai sendo liberado lentamente durante seu processo natural de decomposição.

3.3.2 Avaliação da pastagem

A biomassa seca total apresentou média de 12,63 Mg.ha⁻¹, no qual 7,79 Mg.ha⁻¹ (61,67%) se refere à BAS e 4,83 Mg.ha⁻¹ (38,23%) às raízes (TABELA 4). A razão raiz-parte aérea (R) foi de 0,62, indicando que a biomassa abaixo do solo representa a menor parte da matéria seca, sendo observada diferença estatística entre os compartimentos. A biomassa aérea diferiu da raiz pelo teste de t (p-valor=0,004).

TABELA 4: BIOMASSA, TEOR E ESTOQUE DE CARBONO DE PASTAGENS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

	Biomassa (Mg.ha ⁻¹)		Teor (%)		Estoque (Mg C.ha ⁻¹)	
	Acima	Abaixo	Acima	Abaixo	Acima	Abaixo
Mínimo	1,36	0,63	41,90	38,78	0,61	0,26
Média	7,79	4,83	43,88	41,31	3,42	1,99
Máximo	29,26	18,25	45,10	44,47	12,85	7,54
CV (%)	74,40	86,80	1,79	2,31	74,60	86,80

A diferença entre a biomassa acima do solo e da raiz pode estar relacionado às questões ambientais, como a disponibilidade hídrica, ou simplesmente ao manejo de corte dado à vegetação (TAIZ et al., 2017). O teor médio de carbono total foi de 42,92%, calculado a partir de uma ponderação da biomassa dos compartimentos, sendo 43,88% para a parte aérea, 41,31% para raízes. Todos os teores médios diferiam estatisticamente, o nível de 5% de probabilidade, por meio do teste de Kruskal-Wallis (p-valor = 0.0000).

O estoque de carbono total médio foi de 5,41 Mg.C.ha⁻¹, sendo a porção da aérea responsável por 63,23% do estoque total de carbono, enquanto as raízes 36,77%. Estudos realizados em áreas de Floresta Amazônica mostram que em locais onde houve a conversão de floresta em pastagem, com utilização do fogo para limpeza dos terrenos, houve redução da biomassa em até 94%, sem falar na perda de carbono da região edáfica e consequente emissão de CO₂ para atmosfera (LONGO et al., 2016; NAVARRETE et al., 2016). Assim, a substituição de floresta por pastagem pode reduzir o estoque de carbono e biomassa vegetal e culminar em emissões significativas de dióxido de carbono para a atmosfera.

O estoque de carbono na biomassa aérea foi significativamente diferente do estoque de carbono da raiz (p-valor = 0,0015). A quantidade média de carbono estocada na biomassa aérea, encontrado neste trabalho, diferiu cerca de 2,15 Mg.C.ha⁻¹ do valor de referência de 7,56 Mg.C.ha⁻¹ indicado pelo IPCC (2006).

Entretanto, ao utilizar o teor de carbono indicado pelo IPCC, igual a 47%, não foi constatada diferença significativa (p -valor = 0,7056) entre os estoques de carbono.

A quantificação adequada dos estoques de carbono é fundamental para traçar estratégias que auxiliem na mitigação de emissão de GEEs e, conseqüentemente, com a redução dos efeitos das alterações climáticas. Vale salientar que, com retirada da vegetação natural, além da perda do carbono estocado na biomassa, também há alteração nos solos, uma vez que, com a alteração da vegetação para o sistema de cultivo, aumenta a mineralização da matéria orgânica do solo, com alterações edafoclimáticas no microambiente e redução de material vegetal senescente (KOPITTKKE et al., 2017).

3.3.3 Avaliação da soja

O valor médio de biomassa seca total encontrado nos plantios de soja foi de 7,55 Mg.ha⁻¹, no qual 6,73 Mg.ha⁻¹ (89,14%) se refere à biomassa acima do solo e 0,83 Mg.ha⁻¹ (10,86%) às raízes, com coeficientes de variação de 26,97% e 34,56%, respectivamente (TABELA 5). A razão raiz-parte aérea (R) foi de 0,12, representando a BAS a maior parte da matéria seca. Tanto as biomassas acima quanto abaixo do solo apresentaram distribuição normal (p -valor > 0,05) de acordo com o teste de Lilliefors.

TABELA 5: BIOMASSA, TEOR E ESTOQUE DE CARBONO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.

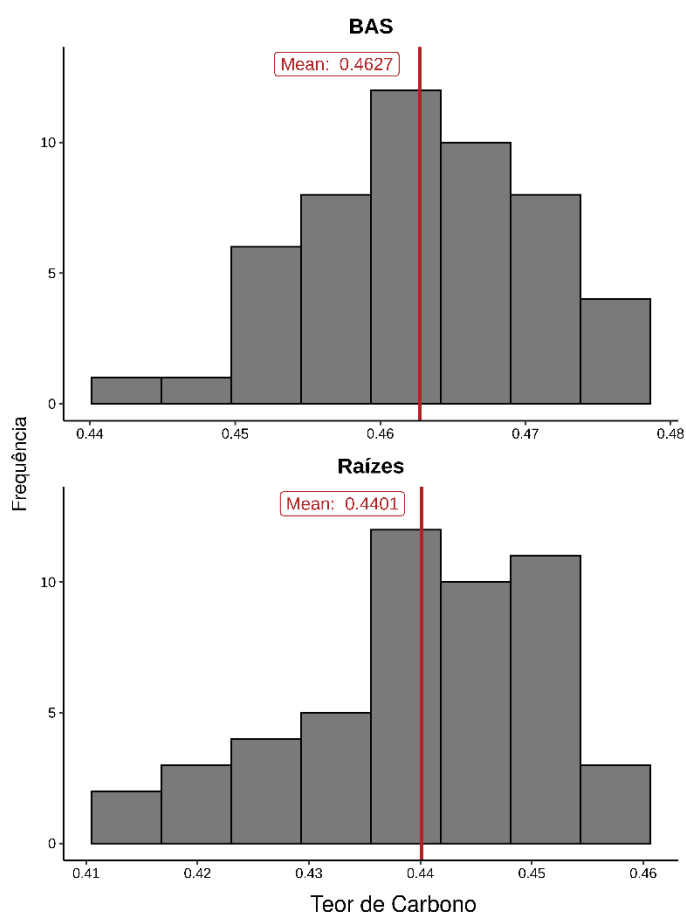
	Biomassa (Mg C ha.-1)		Teor de Carbono		Estoque (Mg C ha.-1)	
	BAS	Raízes	BAS	Raízes	BAS	Raízes
Mínimo	3,45	0,39	0,44	0,41	1,90	0,12
Média	6,73	0,82	0,46	0,44	3,27	0,22
Máximo	12,68	16,18	0,48	0,46	6,02	0,36
CV (%)	27,00	34,60	1,65	2,47	24,90	23,60

Conforme os dados do relatório anual do IPCC (2019), o estoque de carbono acumulado em cultivos agrícolas, após um ano de conversão da terra, é de aproximadamente 4,70 Mg.ha⁻¹, sendo esse valor superior ao encontrado neste estudo. No entanto, deve-se levar em conta a quantidade de rotações, espécie cultivada, bem como o manejo do solo. Além disso, o valor de referência representa

uma média, tanto dos tipos de cultivo, quanto do total da produção, e deve ser utilizado para ambientes onde há ausência de dados locais.

As médias dos teores de carbono foram 46,27%, para a biomassa acima do solo e 44,01%, para raízes, respectivamente (FIGURA 24). Estes teores médios diferiam estatisticamente por meio do teste *t* ($p\text{-valor} \leq 0,05$) para variâncias heterogêneas ($p\text{-valor} \leq 0,05$ para o teste de *Bartlett*).

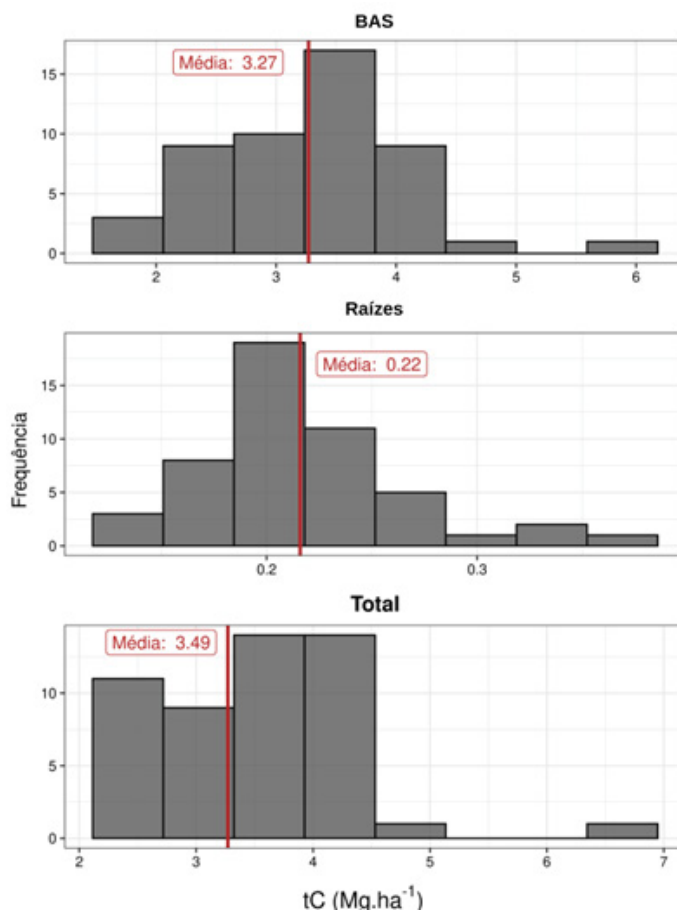
FIGURA 24: DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE CARBONO NAS BIOMASSAS ACIMA E ABAIXO DO SOLO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



FONTE: A autora (2022).

O estoque de carbono total médio foi de 3,49 Mg.C.ha⁻¹, com valores mínimo de 2,14 Mg.C.ha⁻¹ e máximo 6,36 Mg.C.ha⁻¹ (FIGURA 25), e coeficiente de variação de 23,73%. A porção da BAS foi responsável por 93,81% do estoque total de carbono, enquanto a biomassa abaixo do solo correspondeu à 6,19%.

FIGURA 25: DISTRIBUIÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO NAS BIOMASSAS ACIMA E ABAIXO DO SOLO EM PLANTIOS DE SOJA NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



FONTE: A autora (2022).

O estoque médio de carbono encontrado neste trabalho diferiu (p -valor $\leq 0,05$) cerca de 1,21 Mg.C.ha⁻¹ do valor de referência (IPCC, 2019). Entretanto, ao utilizar o teor de carbono indicado pelo IPCC, igual a 47%, não foi observada diferença significativa (p -valor = 0,7056) entre os estoques de carbono.

Comparando o valor encontrado nesta pesquisa com os de referência em floresta natural, é possível observar que o estoque de carbono na soja é menor que os dados de referência. Ressalta-se que os dados da simulação representam um valor médio, estipulado pelo IPCC. O estoque total médio de carbono é equivalente à 12,79 Mg.Cha⁻¹ de CO₂eq, utilizando os teores sugeridos pelo IPCC, o valor sobe para 13,01 Mg.C.ha⁻¹ de CO₂eq. A diferença nos cálculos, utilizando um fator de conversão e os valores encontrados em laboratório, reforça a necessidade de estudos locais.

Em 2019, 348,4 mil ha foram cultivados com soja no estado de Rondônia, o que representa um rendimento médio de 3.541 kg.ha⁻¹. Em 2020, a área cultivada passou para 381,1 mil ha, representando um aumento de 9%, com rendimento médio de 3.368 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2021). Ainda de acordo com o relatório do CONAB (2021), área ocupada por plantios de soja representava 17% de toda plantação de soja da região Norte no ano de 2020, ocupando o estado a terceira posição na região em extensão de terra destinada para a produção de grãos.

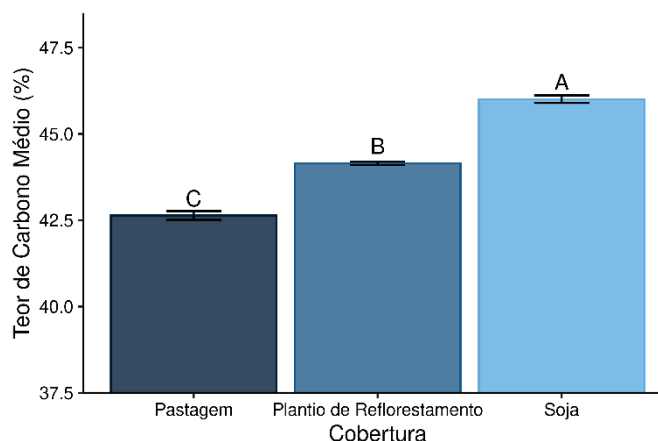
A conversão de um sistema natural para implantação de cultivos agrícolas acarreta a perda de carbono do solo, devido a mudança das espécies, insumos agrícolas e aumento do processo de erosão. Culturas perenes estocam maior quantidade de carbono do que anuais, com destaque para região edáfica, na qual há uma maior proporção das raízes em cultivos perenes. Além disso, para cultivos agrícolas, destaca-se o uso de insumos nitrogenados que aumenta a decomposição do material vegetal senescente, bem como o cultivo na camada superficial favorecendo o processo de erosão dos solos (BODDEY *et al.*, 2015).

O solo representa cerca de quatro vezes o carbono estocado na vegetação e três vezes o valor da atmosfera (IPCC, 2001; ANOKYE *et al.* 2021). As alterações no uso e na ocupação do solo acarretam distúrbios na região edáfica, responsável pela maior contribuição na reserva de carbono orgânico (PACHECO *et al.*, 2018). Apesar de atuar como sumidouro de CO₂ atmosférico, o carbono orgânico do solo é dinâmico, uma vez que mudanças no uso, na ocupação ou no manejo do solo por alterações antrópicas podem ocasionar a emissão de gases de efeito estufa (FAO, 2017).

3.3.4 Dióxido de carbono equivalente e comparação entre os ambientes

Comparando os teores de carbono dos três ambientes é possível perceber que a soja apresentou o maior teor médio de carbono e que todas as coberturas diferiram entre si (FIGURA 26). No entanto, apesar da diferença no teor do carbono, e da soja ter apresentado o maior percentual, os estoques não obedeceram a mesma ordem, sobretudo pela quantidade de biomassa superior produzida pelos plantios de restauração.

FIGURA 26: COMPARAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO DAS DIFERENTES COBERTURAS FLORESTAIS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

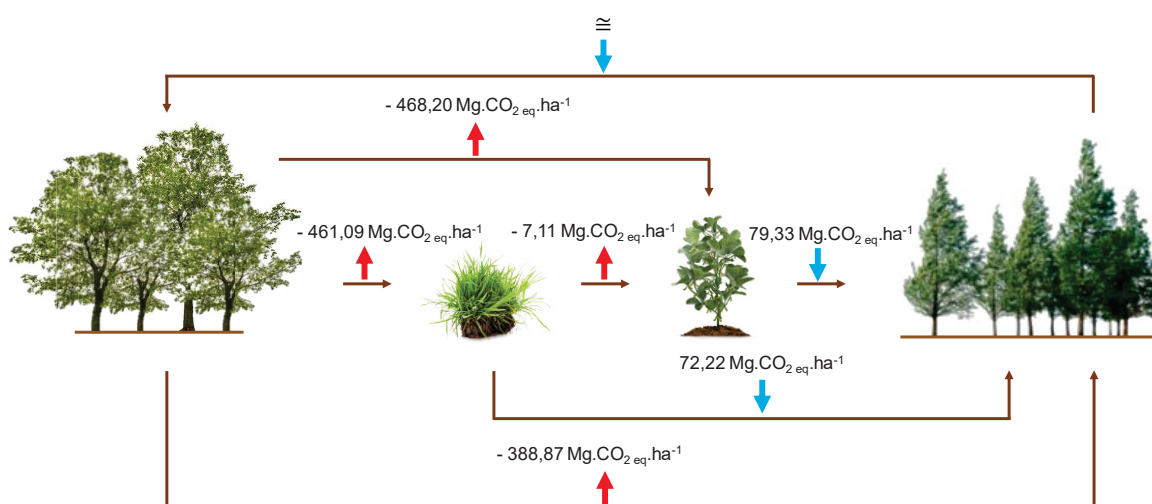


Letras diferentes representam diferença estatística entre as coberturas, por meio do teste de Tukey à um nível de 5% de significância.

FONTE: A autora (2022).

Para comparar os dados deste estudo, relacionados com estoques de biomassa, carbono e CO₂ equivalente, foram utilizados valores da literatura para floresta madura, pastagens e cultivos agrícolas (IPCC, 2006; MCTI, 2016) (FIGURA 27). Para áreas sem vegetação foi considerada a biomassa igual a 0.

FIGURA 27: COMPARAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIAS COM OS RESULTADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.



No qual \cong = Valor aproximado, setas vermelhas emissão e setas azuis remoção.

FONTE: A autora (2022).

Em valores de CO₂eq, a cifra na área florestal equivale a remoção de 480,96 Mg ha⁻¹. A emissão de CO₂ atmosférico não é o único inconveniente causado pela conversão de florestas para produção agrícola e pastagens. A exposição do solo, bem como o aumento da evapotranspiração e da atividade microbiana também são fatores relevantes que devem ser levados em consideração (BARROS; FEARNSTIDE, 2016; LI et al., 2018).

A mudança de um ambiente de floresta natural para pastagem pode acarretar a redução do estoque de biomassa do sistema. Para este estudo, a perda representa mais de 97% de carbono. A diferença entre o estoque de carbono encontrado neste estudo, 19,87 Mg.CO₂eq.ha⁻¹ e o valor de referência que é de 58,70 Mg.CO₂eq.ha⁻¹ (IPCC, 2006), demonstra a necessidade de avaliações locais para evitar tendências nas estimativas.

Diversos relatórios estão dedicados a estimar o fluxo anual líquido de dióxido de carbono (CO₂) ocasionado por atividades antrópicas, sobretudo desmatamento e mudanças na cobertura do solo (IPCC, 2014b, 2019; MCTI, 2016). Porém em áreas de Floresta Tropical, a grande atividade antrópica, representada sobretudo pelo desmatamento, torna a floresta um vetor que contribui para o aumento das mudanças climáticas pela grande taxa de emissão de CO₂.

Outros gases de efeito estufa, como óxido nitroso e óxido nítrico são amplamente emitidos em solos de sistemas agrícolas, sobretudo pelo uso de insumos agrícolas nitrogenados (ALVES et al., 2015). No entanto, por ser uma leguminosa, a soja demanda menos insumos agrícolas dessa natureza, além de contribuir com a fixação de nitrogênio no solo (CONNOR, 2018). Além disso, em áreas degradadas, a cultura da soja colabora com o estoque de carbono, tanto na biomassa vegetal, quanto na região edáfica (MARANHÃO et al., 2019).

O manejo adequado de áreas florestais é muito importante, pois os produtos de origem madeireira continuam estocando carbono durante todo o seu ciclo de vida. A madeira utilizada para a confecção desses produtos abre espaço na floresta para o crescimento de novos indivíduos que, ao formar sua biomassa pelo processo de fotossíntese, vão contribuir para uma nova estocagem de carbono.

As árvores em crescimento têm uma capacidade maior de estocar carbono uma vez que estão no processo do acúmulo de biomassa, possibilitando uma mudança positiva no balanço de carbono (SANQUETTA et al., 2002). Além do mais, em áreas desprovidas de vegetação, há uma maior exposição do solo e,

consequentemente, maior perda de carbono, pois além da lixiviação e dos processos erosivos, a respiração microbiana aumenta, elevando o efluxo de CO₂ (VALENTINI; ABREU; FARIA, 2015).

Os produtos florestais de origem madeireira também devem ser quantificados, em termos de estoque de carbono, uma vez que sua vida útil tende a ser longa, porém deve-se ter cuidado para saber o que de fato deve ser contabilizado e para evitar dupla contagem. Os valores de carbono estocado, calculado por meio de equações para computar o decaimento, ou seja, dinâmica do carbono ao longo do tempo e, consequentemente, o CO₂ equivalente (IPCC, 2019), também devem ser incluídos em inventários de emissão de GEE.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a taxa consolidada de desmatamento para os estados da Amazônia Legal Brasileira (ALB), cresceu 7,13%, quando comparada com os dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), em 2019. Para o PRODES, são consideradas como áreas de desmatamento, aquelas que sofreram corte raso, com remoção completa de sua cobertura florestal primária, sem levar em conta o futuro uso e ocupação da terra (INPE, 2021)

No entanto, o manejo florestal para produção madeireira é uma atividade muito importante para o país, porém é preciso verificar aspectos como a intensidade da atividade de exploração e a taxa de recuperação da floresta para que a atividade seja sustentável e não impacte no processo de resiliência dos ambientes florestais (D'OLIVEIRA et al., 2013). Além de futuro impacto econômico que pode ser causado, a supressão desordenada da vegetação pode interferir em diversos recursos florestais não madeireiros, ou serviços ecossistêmicos como a biodiversidade, o controle de cheias, o estoque de carbono e os ciclos biogeoquímicos (PIONTEKOWSKI et al., 2014).

Para comparar os dados de necromassa de plantios de restauração deste estudo, também foram utilizados valores da literatura para floresta madura (IPCC, 2006; MCTI, 2016) (TABELA 6).

TABELA 6: COMPARAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA DE NECROMASSA COM OS RESULTADOS DAS ANÁLISES ANÁLISES REALIZADAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

Cobertura do solo	Necromassa total (Mg.ha ⁻¹)	Teor de carbono (%)	Estoque	CO ₂ eq	Diferença CO ₂ eq
Floresta madura (IPCC, 2006; MCTI, 2016)	36,01	39,0%	14,04	51,49	-
Plantios de restauração	12,66	44,7%	5,66	20,75	- 30,74

FONTE: A autora (2022).

A substituição da floresta madura por plantio de reflorestamento implica numa perda de necromassa, sobretudo pela redução da biomassa e, conseqüentemente do material senescente. Tal diferença pode culminar em uma emissão de 30,74 Mg.CO₂eq.ha⁻¹. Mesmo assim em longo prazo os plantios podem ser uma alternativa de recomposição de áreas degradadas, sobretudo com o aumento da biomassa ao longo do tempo.

A grande emissão de CO₂ contribui com o aumento do efeito estufa. O efeito estufa é um processo natural de ordem biogeoquímica no qual a emissão de gases como o metano, óxido nitroso e dióxido de carbono contribuem para formação da atmosfera, garantindo que a Terra tenha condições de vida com a temperatura equilibrada (PARRON et al., 2015). Caso atmosfera não existisse, toda a energia térmica emanada pelo sol retornaria para o espaço e a terra congelaria.

No entanto, apesar de ser um processo natural e necessário, o efeito estufa vem sendo acelerado por meio de atividades antrópicas, o chamado efeito estufa antropogênico (IPCC, 2013). O efeito estufa antropogênico é acelerado por meio da intensificação das atividades agropecuárias e industriais, utilização de combustíveis fósseis, aumento dos resíduos sólidos urbanos, mudança no uso e ocupação do solo, entre outros.

Diante do quadro apresentado por diversos relatórios sobre a emissão atual e projeção de emissão de gases de efeito estufa, bem como as conseqüências que isso pode trazer para a humanidade (IPCC, 2013; MCTI, 2016), é preciso pensar em estratégias para a redução da emissão e/ou absorção desses gases. Uma boa alternativa para diminuir a pressão atmosférica é a retirada do CO₂ atmosférico por meio do sequestro biológico, sobretudo em reservatórios terrestres como vegetação e solo.

As plantas têm a capacidade de armazenar carbono em sua biomassa, especialmente as árvores, que possuem um volume de biomassa maior,

armazenando mais carbono pelo processo fotossintético. Além disso, a vegetação é um importante meio de entrada e manutenção do carbono nos solos pela queda do material senescente e proteção da região edáfica contra os processos erosivos. Portanto, dentre outras práticas, é necessário tomar algumas medidas para a manutenção deste equilíbrio, como a proteção das florestas, a contenção da fragmentação e a prática de manejo florestal de baixo impacto.

Apesar da capacidade de resiliência dos ecossistemas naturais, o aumento na concentração de CO₂ atmosférico pode causar desequilíbrio no processo fisiológico dos ecossistemas florestais e a elevação da temperatura pode acelerar os processos de decomposição da matéria orgânica, implicando em uma liberação mais acelerada de GEE (TAIZ et al., 2017). Esse ciclo de degradação e aumento de temperatura pode culminar na perturbação do ambiente, impossibilitando sua resiliência.

Ao longo do tempo ocorreram diversas conferências internacionais sobre as mudanças climáticas. A mais famosa delas, a conferência de Estocolmo realizada em 1972, teve como objetivo conscientizar a humanidade em relação ao uso racional do meio ambiente e de seus recursos. Na ocasião, os países foram separados em desenvolvidos ou industrializados, chamados de anexo I e os subdesenvolvidos, os não-anexo I (ONU, 1973).

Os países classificados como industrializados, por possuírem maior emissão de GEE, assumiram o compromisso de reduzir intensamente suas emissões, ou atividades antrópicas que culminam nessas emissões. Já os países subdesenvolvidos poderiam colaborar de forma voluntária, sem metas obrigatórias. Na ocasião, não foram estabelecidas quais as metas deveriam ser cumpridas.

Por meio da Rio-92, realizada no Brasil em 1992, ocorreram diversos desdobramentos para tratar do combate às mudanças climáticas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa (ONU, 1993). O protocolo de Quioto, criado em 1997, regulamentou as metas propostas na Convenção-Quadro das Nações Unidas, especificando os meios para implementar as reduções de emissões. Para alcançar as metas do protocolo, foram previstas medidas domésticas por meio de discussões, normas e legislações, para os mais diversos setores (UNFCCC, 1997).

Além do mais, também foram apresentados mecanismos de flexibilização devido à dificuldade em combater as emissões (UNFCCC, 1997). Foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização, sendo eles Mecanismos de

Desenvolvimento Limpo (MDL), o Comércio Internacional de Emissões e a Implementação Conjunta. O primeiro aplicado para países em desenvolvimento.

O MDL foi uma importante ferramenta para que países em desenvolvimento, como o Brasil, pudessem contribuir com as reduções voluntárias de maneira certificada e comercializável. O protocolo de Quioto se encerrou oficialmente em dezembro de 2002 e conseqüentemente o MDL também, sendo sucedido por um novo acordo global sobre o clima definido na COP 21, o acordo de Paris. Em meio as exigências do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo estavam a redução da emissão de GEE e/ou aumento do sequestro de carbono e a contribuição para o desenvolvimento sustentável dos países que abrigam seus projetos de crédito de carbono.

O setor de agricultura, floresta e outros usos da terra (*Agriculture, Forests and other land use – AFOLU*), é um dos setores relacionado às mudanças climáticas, definido pelo IPCC para contabilizar a emissão de GEE. Para que haja contabilização de carbono é preciso que haja um projeto para gerar os créditos de carbono. Nos projetos de redução de GEE, o enfoque é dado para o desenvolvimento e implementação de energia de fontes renováveis, tratamentos de dejetos animais e processos industriais. Em relação aos projetos de remoção de CO₂, as ações são voltadas para o reflorestamento. Os projetos mencionados possibilitam o investimento de países do anexo I, em países não-anexo I, possibilitando o cumprimento das metas dos países desenvolvidos, com o menor custo e maior auxílio ao desenvolvimento sustentável de países considerados subdesenvolvidos.

Quanto aos tipos de projeto de carbono aplicáveis às florestas, estes podem ser para o mercado regulado e para o mercado não regulado, ou voluntário. Vale lembrar que de acordo com a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima), floresta é uma “área de no mínimo 0,05-1,0 ha com cobertura de copa de mais de 10-30%, com árvores com o potencial de atingir a altura mínima de 2-5 metros na maturidade in situ” (UNFCCC, 2001). Para o Brasil o limite adotado é sempre o superior.

Os projetos florestais do mercado regulado podem ser do tipo A/R (*afforestation/reforestation*), e ambos estão destinados ao plantio de espécies florestais. Os projetos do tipo A são aqueles cujo objetivo é a conversão de áreas

não florestadas há pelo menos 50 anos em florestas, por meio de atividades silviculturais. Já os projetos do tipo R obedecem aos mesmos critérios do A, porém em áreas convertidas em um período menor que 50 anos (MCTI, 2009). Dentro dos projetos do tipo A/R, uma área que foi abandonada e passou por um processo de regeneração natural não pode ser considerada como uma área elegível para o desenvolvimento de projetos desse tipo, uma vez que estes tipos de projeto utilizam o plantio de espécies florestais para recomposição da área degradada.

Os projetos REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), ou de Redução das Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal, utilizam incentivos de mercado e financeiro para promoção da mitigação de emissão de gases de efeito estufa, por meio da conservação de florestas nativas (DUCHELLE et al., 2018). Os projetos de REDD estão localizados no mercado de carbono não regulado, ou voluntário (BOS et al., 2017). O objetivo é recompensar toda iniciativa que consigam reduzir a emissão de GEE provocadas por atividades antrópicas sobre os ambientes florestais, contribuindo o desenvolvimento sustentável aliado às questões sociais dos países em desenvolvimento, promovendo o uso da floresta de forma sustentável (ANGELSEN, 2008; UNFCCC, 2011).

A primeira sigla foi RED, que se dedicava a redução do desmatamento em floresta, em segunda REDD, que incluiu além do desmatamento a degradação. Posteriormente a sigla passou a REDD+, incluindo como preocupação a conservação, manejo sustentável e aumento dos estoques de carbono. Hoje tem-se a REDD++ que além de todos os aspectos mencionados se preocupa com a atividade de agricultura para melhores práticas e menor taxa de desmatamento. Muitos projetos de REDD agregam florestas secundárias e áreas de cultivo itinerante (MERTZ, 2009). Países subdesenvolvidos podem ser ao aderirem programas de carbono aplicáveis às florestas, com a manutenção ou aumento dos seus estoques, porém não existe obrigatoriedade de monitoramento dos fluxos de carbono florestal (ROZENDAAL et al., 2022).

A quantificação dos estoques de biomassa e carbono podem ser utilizadas para elaboração de projetos e planejamento de ações como florestamento, reflorestamento, ou Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal em Países em Desenvolvimento (REDD+), seja em escala local, ou nacional. Conhecer os estoques de carbono e biomassa possibilita a identificação da necessidade e do melhor tipo de projeto a ser aplicado em uma área.

4 CONCLUSÃO

A revisão bibliométrica possibilitou identificar que a vegetação resultante da alteração do uso e ocupação do solo de Floresta Amazônica ainda é pouco avaliada, no que diz respeito ao estoque de carbono e biomassa. Além do mais a distribuição geográfica dos locais de estudo ainda não contempla diversas regiões com ocorrência de Floresta Amazônica, sendo caracterizado também como uma lacuna no conhecimento. Ainda foi possível perceber que as pesquisas realizadas na Floresta Amazônica estudam preferencialmente o carbono da biomassa, sendo a região edáfica pouco avaliada. Quando observados apenas os estudos de biomassa, a biomassa acima do solo é a mais avaliada enquanto as raízes e necromassa são pouco estudadas.

O fator de conversão de biomassa para carbono tem sido amplamente utilizado, porém pode gerar resultados pouco confiáveis. Além do mais os teores de carbono das coberturas de solo avaliadas neste estudo são ligeiramente inferiores aos valores de referência do IPCC, indicando, portanto, que podem existir superestimativas ao adotar os valores “*default*”. Assim, são recomendadas avaliações locais do teor de carbono, sobretudo pelo método da combustão seca, que gera menor quantidade de resíduos, com mais precisão dos resultados e menor tempo de execução das análises.

As mudanças no uso e ocupação do solo avaliadas neste estudo geraram grande perda de biomassa e carbono, considerando os valores de referência para floresta madura. No entanto os plantios de restauração são a cobertura que gera menor perda e que tem maior capacidade de alcançar os valores de referência.

Para os plantios de restauração o fuste foi o compartimento que mais contribuiu com maior estocagem de carbono na biomassa total. Para os demais cultivos a BAS apresentou maior contribuição. A necromassa fina e grossa também contribuíram com os estoques e devem ser levadas em conta na quantificação do estoque globais de biomassa e carbono.

Dentre os modelos testados para o plantio de reflorestamento, o modelo de Husch representou melhor, estatisticamente, a relação entre as variáveis escolhidas e a biomassa. A estimativa dos estoques de carbono foi semelhante à tendência encontrada na literatura, indicando que tal modelo tem se apresentado como o mais adequado para a realização dessas estimativas.

Os resultados das estimativas/determinações são imprescindíveis para elaboração de relatórios, locais, regionais e globais. Tais relatórios são a base para confecção de projetos de mitigação dos impactos ambientais, bem como a elaboração de legislação, políticas públicas, tratados e ações coletivas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da revisão bibliométrica foi possível verificar que é necessário e oportuno o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas a vegetação proveniente das alterações no uso e ocupação do solo da Floresta Amazônica. As lacunas identificadas quanto a distribuição geográfica dos estudos também sugere oportunidade de realização de pesquisas inovadoras.

Dada a importância do solo para os estoques globais de carbono, se faz necessário maior desenvolvimento de quantificações do estoque de carbono na região edáfica. No que diz respeito aos estudos de raízes e necromassa, suas contribuições em termos percentuais demonstra a necessidade de quantificação desses compartimentos para uma contabilização adequada dos estoques globais de biomassa e carbono.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se o aumento do banco de dados para o ajuste dos modelos, bem como a realização de novos ajustes de equações alométricas. Também é sugerida a determinação dos estoques de carbono do solo e avaliação do efluxo de CO₂.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. D. et al. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: The INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 18, n. 11, p. 3346–3366, 2012.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANGELSEN, A. **Moving ahead with REDD: Issues, options and implications**. v. 65. Bogor: CIFOR, 2008. 156p.
- ARAUJO, E. C. G. et al. Determinação do teor de carbono orgânico total em amostra vegetal pelo método volumétrico com diferentes volumes de ácido sulfúrico. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 50–53, 2020.
- ARAUJO, E. C. G. et al. Carbon stock assessment and comparison in soybean plantations in Southwest Brazilian Amazon. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 16, p. 1–10, 2022.
- BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182–185, 2012.
- BARROS, H. S.; 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.
- BASTOS, A. S. et al. Amazon plinthosols: Carbon stocks and physical properties under different land uses. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 749–765, 2021.
- BERENQUER, E. et al. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, v. 20, n. 12, p. 3713–3726, 2014.
- BORETTI, A.; ROSA, L. Reassessing the projections of the World Water Development Report. **npj Clean Water**, v. 2, n. 15, p. 1–6, 2019.
- BORGES, C. H. A. et al. Artrópodes edáficos em fragmentos de floresta ombrófila aberta na Paraíba, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 26–32, 2016.
- BOS, A. B. et al. Comparing methods for assessing the effectiveness of subnational REDD+ initiatives. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 7, p. 1–12, 2017.
- BRASIL. **Florestas do Brasil em resumo 2019**. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 207p.
- BRASIL. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/composicao/rede-mcti/instituto-nacional-de-pesquisas-da-amazonia>>. Acesso em: 11 de Abril de 2022

BRASIL. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=6>>. Acesso em: 16 de Abri de 2022

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

BRASIL. **Plano Amazônia Sustentável**: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira. Presidência da República. Brasília: MMA, 2008. 112p.

BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**: fase 2016-2020. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento. Brasília: MMA, 2018. 92p.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica**, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, n. 4, p. 881–902, 1989.

BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in Tropical Forests and their role in the global carbon cycle. **Biotropica**, v. 14, n. 3, p. 161–187, 1982.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Biomass of Tropical Forests: A new estimate based on forest volumes. **Science**, v. 223, n. 4642, p. 1290–1293, 1984.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Aboveground biomass estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon. **Interciencia**, v. 17, n. 1, p. 8–18, 1992.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 111–119, 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.

CARON, B. O. et al. Fator de expansão de biomassa em floresta estacional decidual montana no Rio Grande do Sul. In: CORTE, A. P. D. et al. **Atualidades em mensuração florestal**. 1. ed. Curitiba: UFPR, 2014. p. 174-177.

CARVALHO JR., J. A. et al. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. **Atmospheric Environment**, v. 29, n. 17, p. 2301–2309, 1995.

CHAMBERS, J. Q. et al. Decomposition and carbon cycling of dead trees in Tropical Forests of the Central Amazon. **Oecologia**, v. 122, n. 3, p. 380–388, 2000.

CHAMBERS, J. Q. et al. Tree damage, allometric relationships, and aboveground net primary production in a tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 73–84, 2001.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.

CLARK, D. A. et al. Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 356–370, 2001.

CONNOR, D. J. Land required for legumes restricts the contribution of organic agriculture to global food security. **Outlook on Agriculture**, v. 47, n. 4, p. 277–282, 2018.

CORTE, A. P. D. et al. Forest inventory with high-density UAV-Lidar: Machine learning approaches for predicting individual tree attributes. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 179, n. April, p. 1–14, 2020.

CORTE, A. P. D.; SILVA, F.; SANQUETTA, C. R. Fator de expansão de biomassa e razão de raízes-parte aérea para *Pinus* spp. plantadas no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 755, 2012.

COSTA, K. C. P. et al. Estoques de biomassa e nutrientes em três espécies de *Parkia* em plantios jovens sobre área degradada na Amazônia Central. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 637–646, 2014.

COUTINHO, V. M. et al. How to estimate black wattle aboveground biomass from heteroscedastic data? **Floresta**, v. 51, n. 1, p. 28–36, 2021.

DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, n. 7381, p. 321–328, 2012.

D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. Can forest management be sustainable in a bamboo dominated forest? A 12-year study of forest dynamics in western Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 672–679, 2013.

DOMINGUEZ, D. et al. Forecasting Amazon rain-forest deforestation using a hybrid machine learning model. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 2, p. 1–18, 2022.

- DUCHELLE, A. E. et al. What is REDD+ achieving on the ground? **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 32, p. 134–140, 2018.
- EKUNDAYO, T. C.; OKOH, A. I. A global bibliometric analysis of *Plesiomonas*-related research (1990 – 2017). **PLoS ONE**, v. 13, n. 11, p. 1–17, 2018.
- FALAGAS, M. E. et al. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB Journal**, v. 22, n. 2, p. 338–342, 2008.
- FAO. Faostat: dados sobre alimentação e agricultura. 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/pt/>
- FAYOLLE, A. et al. Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. **Forest Ecology and Management**, v. 305, p. 29–37, 2013.
- FELDPAUSCH, T. R. et al. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. **Biogeosciences**, v. 9, n. 8, p. 3381–3403, 2012.
- FORRESTER, D. I. et al. Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. **Forest Ecology and Management**, v. 396, p. 160–175, 2017.
- GASPARYAN, A. Y. et al. Writing a narrative biomedical review: Considerations for authors, peer reviewers, and editors. **Rheumatology International**, v. 31, n. 11, p. 1409–1417, 2011.
- GATTI, L. V. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n. 7867, p. 388–393, 2021.
- GOODMAN, R. C. et al. Amazon palm biomass and allometry. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 994–1004, 2013.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. New York: Bookman, 2011. 920p.
- HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153–166, 1998.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. **Anais...** 1994.
- HOLANDA, A. C. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 621–633, 2017.

HOUGHTON, R. A. et al. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: A comparison of estimates. **Global Change Biology**, v. 7, n. 7, p. 731–746, 2001.

HUBAU, W. et al. Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. **Nature**, v. 579, n. 7797, p. 80–87, 2020.

INPE. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal em 2020 foi de 10.851 km²**. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5811>. Acesso em:

IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. 2006 Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2020

IPCC. **AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report**. 2008.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020

IPCC. **2013 Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol**. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020

IPCC. **Climate Change and Land**. 2019

KAUFFMAN, J. B.; DONATO, D. C. **Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. Bogor: CIFOR, 2012. 40p.

KHUDZARI, J. M. et al. Bibliometric analysis of global research trends on microbial fuel cells using Scopus database. **Biochemical Engineering Journal**, v. 136, p. 51–60, 2018.

KOPITTKKE, P. M. et al. Global changes in soil stocks of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulphur as influenced by long-term agricultural production. **Global Change Biology**, v. 23, n. 6, p. 2509–2519, 2017.

LI, W. et al. Gross changes in forest area shape the future carbon balance of tropical forests. **Biogeosciences**, v. 15, n. 1, p. 91–103, 2018.

LIANG, X. et al. In-situ measurements from mobile platforms: An emerging approach to address the old challenges associated with forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 143, n. January, p. 97–107, 2018.

LIU, C. et al. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, n. 2, p. 105–114, 2004.

LONGO, M. et al. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 30, n. 11, p. 1639–1660, 2016.

LUDVICHAK, A. A. et al. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1041–1048, 2016.

MACDICKEN, K. G. **A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects**. Arlington, VA (USA): Winrock International Institute for Agricultural Development, 2015. 87p.

MALHI, Y. et al. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 563–591, 2004.

MARANHÃO, R. L. A. et al. The spatiotemporal dynamics of soybean and cattle production in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 2150–2162, 2019.

MARKEWITZ, D. et al. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 177–199, 2004.

MARQUES, J. D. O. et al. Soil carbon stocks under Amazonian Forest: Distribution in the soil fractions and vulnerability to emission. **Open Journal of Forestry**, v. 7, n. 2, p. 121–142, 2017.

MARTIN, A. R.; DORAISAMI, M.; THOMAS, S. C. Global patterns in wood carbon concentration across the world's trees and forests. **Nature Geoscience**, v. 11, n. 12, p. 915–920, 2018.

MARTIN, A. R.; THOMAS, S. C. A reassessment of carbon content in tropical trees. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, p. 1–9, 2011.

MARTINS, S. V. **Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 4a ed., editora Aprenda Fácil: Viçosa, 266 p., 2017.

MCGRODDY, M. E.; DANFRESNE, T.; HEDIN, L. O. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial redfield-type ratio. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2390–2401, 2004.

MCTI. **Mecanismo antiluteolítico: Fisiologia e estratégias**. [s.l.: s.n.]. v. 1

MCTI. **4ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima das Nações Unidas fortalece articulação institucional**. 2016 Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2020/10/4a-comunicacao-nacional-do-brasil-a-convencao-do-clima-das-nacoes-unidas-fortalece-articulacao-institucional>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2020

MERTZ, O. Trends in shifting cultivation and the REDD mechanism. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, n. 2, p. 156–160, 2009.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: Shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v. 12, n. 1, p. 84–96, 2006.

MOLINA, P. X. et al. Spatially-explicit testing of a general aboveground carbon density estimation model in a western Amazonian forest using airborne LiDAR. **Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2016.

MONTOYA, F. G. et al. A fast method for identifying worldwide scientific collaborations using the Scopus database. **Telematics and Informatics**, v. 35, n. 1, p. 168–185, 2018.

NAVARRETE, D. et al. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. **Global Change Biology**, v. 22, n. 10, p. 3503–3517, 2016.

NELSON, A. S. et al. Development and evaluation of aboveground small tree biomass models for naturally regenerated and planted species in eastern Maine, U.S.A. **Biomass and Bioenergy**, v. 68, p. 215–227, 2014.

NELSON, B. W. et al. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1–3, p. 149–167, 1999.

NEVES, A. H. B. et al. Biomassa e carbono em plantio comercial de paricá na Amazônia. **Nativa**, v. 10, n. 2, p. 154–162, 2022.

NOGUEIRA, E. M. et al. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853–1867, 2008.

NOVAES, W. Eco-92: avanços e interrogações. **Estudos Avançados**, v. 6, n. 15, p. 79–93, 1992.

ONU. **United Nations Conference on the Human Environment**. New York: [s.n.].

ONU. **United Nations Conference on Environment and Development**. Environmental Geology. New York: [s.n.].

PACHECO, F. A. L. et al. Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 5, p. 79–86, 2018.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988–993, 2011.

PARRON, L. M. et al. Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos na avaliação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Colombo: Embrapa Florestas; Brasília: Embrapa, 2015. pp. 57-70.

PATRO, P.; MISRA, D. P. Registering and reporting systematic reviews. **Central Asian Journal of Medical Hypotheses and Ethics**, v. 1, n. 2, p. 122–126, 2020.

PELICICE, F. M.; CASTELLO, L. A political tsunami hits Amazon conservation. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 31, n. 5, p. 1221–1229, 2021.

PENMAN, J. et al. **Interaction of recombinant octameric hemoglobin with endothelial cells**. Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003.

PHILLIPS, O. L. et al. Carbon uptake by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. **Carbon Balance and Management**, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2017.

PIONTEKOWSKI, V. J. et al. Avaliação do desmatamento no Estado de Rondônia entre 2001 e 2011. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 297–306, 2014.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

REX, F. E. et al. Comparison of statistical modelling approaches for estimating tropical forest aboveground biomass stock and reporting their changes in low-intensity logging areas using multi-temporal LiDAR data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1–20, 2020.

ROMERO, F. M. B. et al. Allometric equations for volume, biomass, and carbon in commercial stems harvested in a managed forest in the southwestern amazon: A case study. **Forests**, v. 11, n. 8, p. 1–17, 2020.

ROZENDAAL, D. M. A. et al. Aboveground forest biomass varies across continents, ecological zones and successional stages: Refined IPCC default values for tropical and subtropical forests. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 1, p. 1–14, 2022.

SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 24, p. 9899–9904, 2011.

SALUNKHE, O. et al. A systematic review on the aboveground biomass and carbon stocks of Indian forest ecosystems. **Ecological Processes**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2018.

SANCHES, L. et al. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 183–189, 2009.

SANDS, P. The United Nations Framework Convention on Climate Change. **Review of European Community & International Environmental Law**, v. 1, n. 3, p. 270–277, 1992.

SANQUETTA, C. R. et al. **As florestas e o carbono**. Curitiba: Imprensa, 2002.

SANQUETTA, C. R. et al. Carbon stock and removal of CO₂ in young stands of forest restoration in Rondônia. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 991–1000, 2020.

SANQUETTA, C. et al. Fatores de expansão e de conversão de biomassa e razão de raízes em povoamentos de restauração florestal em Rondônia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, p. 871–881, 2019.

SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. Curitiba: Multi-graphic, 2014. 409p.

SANQUETTA, C. R. et al. Simultaneous estimation as alternative to independent modeling of tree biomass. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 8, p. 1099–1112, 2015.

SANTORO, M. et al. The global forest above-ground biomass pool for 2010 estimated from high-resolution satellite observations. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 8, p. 3927–3950, 2021.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Solos da região amazônica. In: CURI, N. C. et al. (Eds.). **Pedologia: Solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 111–175.

SILVA, A. C. F. et al. Carbon in forest species of the Atlantic Forest as an indicator of stocks and quality. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 630–638, 2021a.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: UFRPE, 1979. 185 p.

SILVA, R. P. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus- AM. 2007. p. 152. Dissertação (**Mestrado em Biodiversidade Tropical e Recursos Naturais**) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM.

SILVA, H. F. et al. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 943–953, 2015.

SILVA, T. C. et al. Non-timber forest products in Brazil: A bibliometric and a state of the art review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 17, p. 1–24, 2020.

SILVA, T. C. et al. Comparison of methodologies for determining the carbon content in wood. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, supl. 2, n. e8400, p. 1–8, 2021b.

SILVEIRA, P. et al. O Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 185–206, 2008.

SILVER, W. L. et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, v. 11, n. 2, p. 290–306, 2005.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2012. 272p.

SOUZA, C. R. et al. Carbon stock and dynamics in a managed forest in Central Amazon. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 119, p. 427–436, 2018.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; FREITAS, F. C. **Metodologia para avaliação necromassa em florestas tropicais**. Comunicado Técnico 130, Embrapa, 6 p., 2017.

SUWA, R. et al. Significance of topographic gradient in stem diameter - height allometry for precise biomass estimation of a tropical moist forest in the central Amazon. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 47, n. 1, p. 109–114, 2013.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Florestal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012.

TRAUTENMÜLLER, J. W. et al. Regression estimators for aboveground biomass and its constituent parts of trees in native southern Brazilian forests. **Ecological Indicators**, v. 130, p1–11, 2021.

TSOUCALAS, G.; SGANTZOS, M. Mediterranean Journal. **Mediterranean Journal of Rheumatology**, v. 28, n. 4, p. 223–226, 2017.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R.; SERRAO, E. A. S. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of Plant Succession. **The Journal of Ecology**, v. 76, n. 3, p. 663, set. 1988.

UNFCCC. **United Nations Framework on Climate Change Kyoto Protocol**. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Addendum), FCCC/CP/1997/L7/Add. 1. 1997.

UNFCCC. **United Nations Framework on Climate Change Kyoto Protocol**. Status of ratification of the convention and its Kyoto protocol. 2001.

UNFCCC. **United Nations Framework on Climate Change Kyoto Protocol**. Report of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice on its thirty-third session. Cancun, p. 1–25, 2011.

VALENTINI, C. M. A.; ABREU, J. G.; FARIA, R. A. P. G. Respiração do solo como bioindicador em áreas degradadas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 127–143, 2015.

VAN RAAN, A. F. J. Advances in bibliometric analysis: research performance assessment and science mapping. In: BLOCKMANS, W.; ENGWALL, L.; WEAIRE,

D. **Bibliometrics**: Use and Abuse in the Review of Research Performance. v. 87. London: Portland Press Ltd, 2014. p. 17–28.

VIEIRA, R. S. **Rio+20 Conferências das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**: contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “Direito da Sustentabilidade” Revista NEJ Novos Estudos Jurídicos, 2012. Disponível em: <www.univali.br/periodicos>; Acesso em: 12 de abril de 2022.

VORSTER, A. G. et al. Variability and uncertainty in forest biomass estimates from the tree to landscape scale: The role of allometric equations. **Carbon Balance and Management**, v. 15, n. 1, p. 1–20, 2020.

WANG, J. R.; ZHONG, A. L.; KIMMINS, J. P. Biomass estimation errors associated with the use of published regression equations of paper birch and trembling Aspen. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 19, n. 3, p. 128–136, 2002.

WANG, Y. et al. Effects of litter quality and quantity on chemical changes during eucalyptus litter decomposition in subtropical Australia. **Plant and Soil**, v. 442, n. 1–2, p. 65–78, 2019.

WEISKITTEL, A. R. et al. A call to improve methods for estimating tree biomass for regional and national assessments. **Journal of Forestry**, v. 113, n. 4, p. 414–424, 2015.

WESTHUIZEN, S. V. D. et al. Measurement error-filtered machine learning in digital soil mapping. **Spatial Statistics**, v. 47, p. 1–20, 2022.

WHITE, J. C. et al. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 5, p. 619–641, 2016.

APÊNDICE

APÊNDICE 1: ESTIMATIVA DA BIOMASSA, DO ESTOQUE DE CARBONO E DO CO₂ EQUIVALENTE DE CADA PARCELA, CALCULADOS POR MEIO DO MODELO AJUSTADO PARA PLANTIOS DE RESTAURAÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Parcela	<i>d</i>_{médio} (cm)	<i>h</i>_{média} (m)	<i>B</i> (Mg.ha⁻¹)	<i>C</i> (Mg.ha⁻¹)	CO₂_{eq} (Mg.ha⁻¹)
1	10,44	7,54	53,18132	24,37981	89,39262
2	10,3	7,64	96,84375	44,39589	162,7849
3	12,44	10,67	65,7254	30,13036	110,478
4	11,19	8,18	55,5738	25,47659	93,41416
5	11,61	8,28	67,27501	30,84075	113,0827
6	10,17	6,57	76,07195	34,87351	127,8695
7	9,65	7,58	69,08691	31,67138	116,1284
8	9,91	8,5	78,56163	36,01485	132,0544
9	10,68	7,82	64,63949	29,63255	108,6527
10	8,56	5,95	40,97548	18,78431	68,87579
11	12,3	7,57	58,32611	26,73832	98,04051
12	11,48	6,85	45,7193	20,95901	76,8497
13	12,14	8,46	32,17091	14,74805	54,07617
14	8,85	6,5	21,29357	9,761568	35,79242
15	13,42	8,88	55,43175	25,41147	93,17538
16	16,29	8,54	59,3468	27,20624	99,7562
17	15,32	9,71	90,11873	41,31295	151,4808
18	14,23	7,64	97,47965	44,6874	163,8538
19	11,6	7,41	66,18735	30,34213	111,2545
20	14,84	7,88	66,29308	30,3906	111,4322
21	9,07	5,6	34,96771	16,03018	58,77732
22	7,77	5,73	31,77578	14,56691	53,412
23	8,97	5,35	60,92974	27,9319	102,417
24	8,4	5,58	66,08999	30,2975	111,0908
25	10,96	5,81	65,44345	30,00111	110,0041
26	13,05	6,37	70,84516	32,4774	119,0838
27	12,06	6,11	85,04379	38,98646	142,9503
28	7,24	4,69	31,61763	14,49441	53,14616
29	7,53	5	38,57135	17,68219	64,83469
30	9,08	5,67	90,62754	41,5462	152,3361
31	9,52	5,48	69,803	31,99965	117,3321
32	8,81	5,39	71,52685	32,78991	120,2297
33	7,92	4,7	50,25853	23,03992	84,47969
34	8,04	5,03	82,99305	38,04634	139,5032
35	9,76	6,12	75,91826	34,80306	127,6112
36	10,34	5,14	41,1954	18,88513	69,24547
37	10,22	5,13	36,76372	16,85352	61,79623

38	7,15	4,38	36,48446	16,7255	61,32682
39	7,48	4,68	46,33279	21,24025	77,88092
40	9,41	5,57	48,60901	22,28373	81,70702
41	12,38	6,21	56,64898	25,96948	95,22142
42	9,19	6,3	31,9955	14,66763	53,78131
43	9,3	5,67	30,83157	14,13406	51,82487
44	10,04	6,97	61,62042	28,24853	103,5779
45	7,36	6,93	46,12091	21,14311	77,52475
46	8,15	6,03	20,56852	9,429187	34,57369
47	10,59	7,5	31,84686	14,59949	53,53147
48	8,09	6,88	8,931935	4,094649	15,01371
49	8,16	5,38	25,00572	11,46332	42,03218
50	10,98	7,33	29,73629	13,63195	49,9838
Média	10,25	6,62	54,79	25,12	92,09