



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

DEISIANE SANTOS DA CRUZ

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

BELÉM
2024

DEISIANE SANTOS DA CRUZ

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof.^o Dr. Fabiano Emmert
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Lina Bufalino
Coorientador: Prof.^o Dr Rodrigo Geroni

BELÉM
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C955e Cruz, Deisiane Santos da
ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE / Deisiane Santos da Cruz. - 2024.
86 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.
Orientador: Prof. Me. Fabiano Emmert
Coorientador: Prof. Dr. Lina Bufalino; Rodrigo Geroni Mendes Nascimento.
1. Inventário florestal. 2. Floresta secundária. 3. Necromassa. 4. Densidade. 5. Mortalidade. I. Emmert, Fabiano, *orient.* II. Título
-

DEISIANE SANTOS DA CRUZ

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA E MORTALIDADE DE ÁRVORES EM
UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ciências Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

08 de agosto de 2024
DATA DA APROVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fabiano Emmert – Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Prof^ª. Dr^ª. Lina Bufalino – Coorientador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Prof. Dr. Rodrigo Geroni – Coorientador
Universidade Prof. Dr. Federal Rural da Amazônia – UFRA

Dr^ª Michelliny Pinheiro de Matos Bentes – 1º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

Prof. Dr. Sueo Numazawa – 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Dr. Deusdedit Cruz Filho – 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e infinitamente, gostaria de agradecer a Deus, eu não seria nada sem você, meu amado, Jesus. Para sempre Totus Tuus.

Meu agradecimento especial é para minha vovozinha (Nazaré), ela que deixou de viver seus próprios sonhos para viver para os meus.

Aos meus pais, Djalma e Marilene por todo apoio durante todos esses anos. Muito obrigada por acreditarem no meu sonho.

Aos amigos do laboratório, em especial a Marina Mell por todo acreditar nessa pesquisa fazendo parte do seu desenvolvimento como minha primeira “orientada”, obrigada pela paciência e apoio, principalmente por ouvir minhas reclamações diária (rs) durante esse processo.

Aos amigos que foram realizar a coleta de dados comigo: Leandro Nascimento, Camila Mainardi, Lucas Viana, Amanda Silva, Lucas Lima, vocês foram incríveis, obrigada por encarar a famigerada FEIGA, vulgo “No limite”.

Aos meus orientadores do mestrado: Lina Bufalino, por ceder seu laboratório para as análises; Rodrigo Geroni, pelos conselhos e puxões de orelhas e especial ao Fabiano Emmert por toda paciência e amizade que teve comigo durante os 4 anos que fiquei sob sua orientação. Sou imensamente grata por todas os seus conselhos e orientações, com certeza levei para minha vida pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Mensuração e Manejo dos Recursos Florestais (LABFOR) por todo o suporte que me foi dado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), por me proporcionar condições para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Paula Pinheiro, secretária do PPGCF, por estar sempre disposta a nos ajudar, fazendo o possível para resolver nossas demandas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

À Fazenda Escola de Igarapé – Açú e aos colaboradores que muito auxiliaram durante a execução da pesquisa.

“Põe um motivo sobrenatural na tua atividade profissional de cada dia, e terás santificado o trabalho.” (São Josemaria Escrivá)

RESUMO

A mortalidade das árvores é um processo importante nos ecossistemas florestais e está associado à dinâmica do povoamento. Esse componente florestal desempenha um papel importante nos ciclos biogeoquímicos, especialmente no do carbono. Apesar da importância, ainda existem lacunas sobre as respostas da mortalidade de árvores na comunidade e no ecossistema e como os processos geradores ocorrem em florestas secundárias. Nesse sentido, surgiram as seguintes perguntas: de que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa? E o que pode explicar a morte das árvores da comunidade nessa região? Com o intuito de compreender melhor esses fenômenos, o estudo objetivou estimar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como indicador, e investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu no nordeste paraense. Para atingir este objetivo, este trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo abordou a necromassa arbórea em uma floresta secundária na Amazônia e o segundo investigou possíveis explicações para a morte das árvores na comunidade e analisa o comportamento delas dentro do sítio. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola de Igarapé – Açu e para a mensuração dos indivíduos arbóreos (galhos e árvores), foram instalados 30 conglomerados em layout cruz de malta. Os resultados obtidos para o primeiro capítulo mostraram que estatisticamente não há diferença significativa na estimativa da necromassa com a ponderação da densidade básica, porém, os dados desta variável sofreram uma diminuição com o aumento da decomposição. Já o segundo capítulo apontou que não houve influência na incidência de madeira morta devido aos modos de morte e à distância da borda, mas é significativa nas classes de decomposição e direção de queda. Em resumo, o estudo contribui para o entendimento da dinâmica dos povoamentos florestais secundários, pois a mortalidade das árvores e a decomposição da necromassa são processos importantes para o ciclo do carbono e outros ciclos biogeoquímicos. Além disso, esse estudo pode servir de base para estudos futuros.

Palavras – chave: Amazônia, Floresta secundária, Necromassa, Dinâmica florestal, Densidade básica da madeira, Fatores bióticos e abióticos.

ABSTRACT

Tree mortality is an important process in forest ecosystems and is associated with stand dynamics. This forest component plays an important role in biogeochemical cycles, especially carbon cycles. Despite its importance, there are still gaps in the community and ecosystem responses to tree mortality and how the processes that generate it occur in secondary forests. In this sense, the following questions have arisen: how does the weighting of basic wood density, considering different decomposition classes, influence the estimation of necromass stock? And what can explain the death of the community's trees in this region? In order to better understand these phenomena, the study aimed to estimate the necromass stored in the woody reservoir of decomposing material, using basic wood density as an indicator, and to investigate how trees are dying in a fragment of secondary forest in the municipality of Igarapé-Açu in northeastern Pará. To achieve this objective, this work was divided into two chapters. The first chapter looked at tree necromass in a secondary forest in the Amazon and the second investigated possible explanations for the death of trees in the community and analyzed their behavior within the site. The experiment was conducted at the Fazenda Escola de Igarapé - Açu and 30 conglomerates were set up in a Maltese cross layout to measure tree individuals (branches and trees). The results obtained for the first chapter showed that statistically there was no significant difference in the estimate of necromass with the weighting of basic density; however, the data for this variable decreased as decomposition increased. The second chapter pointed out that there was no influence on the incidence of dead wood due to the modes of death and distance from the edge, but it was significant in the decomposition classes and direction of fall. In summary, the study contributes to understanding the dynamics of secondary forest stands, as tree mortality and necromass decomposition are important processes for the carbon cycle and other biogeochemical cycles. Furthermore, this study can serve as a basis for future studies.

Keywords: Amazonia, Secondary forest, Necromass, Forest dynamics, Basic wood density, Biotic and abiotic factors

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CONTEXTUALIZAÇÃO

Figura 1 – Localização da área de estudo em fragmento de floresta secundária na Fazenda Escola de Igarapé Açu.....20

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Imagens ilustrativas de layout em cruz de malta com suas respectivas direções cardeais dos conglomerados utilizados na área de estudo.....40

Figura 2 – Imagens representativas dos critérios de inclusão da necromassa florestal no inventário, onde: indivíduos inclusos (A), (B) e (C); indivíduos não inclusos (D) e (E) 40

Figura 3 – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição, onde: classe inicial (A); Classe média (B); classe avançada (C)41

Figura 4 – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.....42

Figura 5 – Imagens ilustrativas da retirada dos discos de madeira nos indivíduos mortos e do processo para a obtenção da densidade básica da madeira, onde: Coleta em campo (A), decarcação para corte (B), corte das cunhas (C), saturação das amostras em água destilada (D), volume pelo método de arquimed (E) e sacagem das amostras em estufa (F)44

Figura 6 – Distribuição da frequência do número de necromassa por classes diamétricas (cm) e Volume médio ($m^3 \cdot ha^{-1}$) estimado de madeira morta caída por classe diamétrica e por tipo de necromassa, galhos (G) e árvores (A), na área de estudo. 48

Figura 7 – Estoque de necromassa médio por hectare pela ponderação da densidade básica em um fragmento florestal secundário da Amazônia, onde: classe I representa o estoque pela média geral da densidade básica da literatura, II pela densidade geral dos indivíduos da área de estudo e III pela densidade pela ponderação das classes de decomposição49

CAPTULO 2

Figura 1 – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.....67

Figura 2 – Modos de morte dos indivíduos encontrados na área de estudo: Árvore com raiz exposta (A); Árvores quebradas (B).68

Figura 3 – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição: inicial (A); média (B); avançada (C)69

Figura 4 – Descrição do método para identificar a direção de queda dos indivíduos mortos na área de estudo, localizada na Fazenda Escola de Igarapé – Açu.	70
Figura 5 – Distribuição das frequências de diâmetro (a) e comprimento (m) por Galhos (G) e Árvores (A).	72
Figura 6 – Distribuição diamétrica (a) e de comprimento (b) por modo de morte do número de indivíduos inventariados na área de estudo, onde raiz exposta (RE); árvore quebrada (AQ).	73
Figura 7 – Direção de queda das árvores caídas (a); distribuição de tamanhos por direção de queda para classe de diâmetro (cm) (b) e classe de comprimento (m) (c)	74
Figura 8 – Distribuição das classes de diâmetro (cm) (a) e classe de comprimento (m) (b) por classe de decomposição na área de estudada. Onde: classe de decomposição: Inicial (IN); Média (ME); Avançada (AV)	75
Figura 9 – Representação gráfica da correlação entre a frequência de árvores mortas (n) e a distância da borda (m) nos conglomerados em um fragmento florestal secundário.....	75

LISTA DE TABELA
REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 – Tabela resumo dos materiais consultados para o desenvolvimento dessa pesquisa
.....27

CAPÍTULO 1

Tabela 1– Classificação das classes de ponderação para o cálculo de necromassa na área de estudo.....46

Tabela 2– Estatísticas descritivas do inventário por conglomerados em estágio único pelas proporções do material lenhoso morto caído na área de estudo.....47

Tabela 3 – Densidades básica e teor de umidade da literatura e por classe de decomposição da área de estudo.....48

Tabela 4 – Lista de espécies e suas densidades básica da madeira da área de estudo encontradas na literatura.....57

LISTA DE QUADROS
CAPÍTULO 2

Quadro 1 – Ficha de campo.....84

LISTA DE SIGLAS

ANOVA – Análise de variância

AQ – Árvore quebrada

AV – Avançado

C – Carbono

CD – Classe de decomposição

D_j – densidade em cada classe de decomposição j em g.cm⁻³, obtida por meio de coletas em campo e procedimentos laboratoriais do projeto

EQ – Equação

FEIGA – Fazenda Escola de Igarapé-Açu

GEE – Gases do efeito estufa

GPS – Sistema de posicionamento global

IN – Inicial

LE – Literatura

LTPF – Laboratório De Tecnologia de Produtos Florestais

ME – Médio

M_s – Massa da madeira seca, em g

RE – Raiz exposta

UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia

V_v – Volume verde ou saturado, em cm³

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.1 Estrutura da dissertação	18
1.2 Perguntas científicas e hipóteses	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 <i>Geral:</i>	19
1.3.2 <i>Específicos:</i>	19
1.4 Caracterização da área de estudo	20
REFERÊNCIAS	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 Florestas secundárias	25
2.2 Processo de fragmentação: efeito de borda em florestas	26
2.3 Mortalidade de árvores	27
2.4 Necromassa Florestal	28
2.5 Densidade básica da madeira	30
REFERÊNCIAS	32
DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE NECROMASSA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL	37
1 INTRODUÇÃO	39
2 MATERIAL E MÉTODO	40
2.1 Método e processo de amostragem	40
2.2 Critérios de inclusão	41
2.3 Classes de decomposição de campo	42
2.4 Volume florestal	43
2.5 Teor de umidade e densidade básica da madeira	44
2.6 Cálculo da necromassa	46
2.6 Análise de dados	47
2.6.1 <i>Estatísticas do inventário florestal</i>	47
2.6.2 <i>Estatísticas das densidades</i>	48
2.6.3 <i>Estimativas de necromassa</i>	48
3 RESULTADOS	48
3.1 Estatística do inventário	48
3.2 Densidade básica da necromassa	50

3.3 Estoque de necromassa	51
4 DISCUSSÃO	52
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE	59
TAMANHOS DE ÁRVORES E MODOS DE MORTE EM UMA FLORESTA SECUNDÁRIA NO NORDESTE DO PARÁ, BRASIL	65
1 INTRODUÇÃO	67
2 MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1 Método de amostragem	68
2.2 Distribuição de tamanhos (galhos e árvores) da madeira morta	68
2.3 Modos de morte	69
2.4 Classes de decomposição	70
2.5 Direções de queda	71
2.6 Efeitos de borda	72
2.7 Análise de dados	72
2.7.1 <i>Distribuição de tamanhos</i>	72
2.7.2 <i>Classe de decomposição e modo de morte</i>	73
2.7.3 <i>Direção de queda</i>	73
2.7.4 <i>Efeito de borda</i>	73
3 RESULTADOS	74
4 DISCUSSÃO	78
5 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
APÊNDICE	86

1 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

2 A mudança climática combinada com o aumento da pressão humana representa uma
3 ameaça significativa para as florestas em todo o mundo (Neumann *et al.*, 2017; Klein e
4 Hartmann, 2018). Esses fatores estão associados ao aumento de perturbações e secas extremas
5 nas áreas florestais (Zuleta *et al.*, 2022), resultando em um aumento da mortalidade das árvores
6 (Barbosa *et al.*, 2017). No entanto, muitas lacunas ainda existem sobre o entendimento de como
7 a mortalidade das árvores ocorre, e boa parte delas é devido a variação da mortalidade ao longo
8 do tempo e do espaço (Arellano *et al.*, 2019). Detectar as alterações na taxa de mortalidade se
9 tornou cada vez mais importante para proporcionar informações valiosas para a compreensão
10 de como as florestas estão reagindo às pressões exercidas pelas ações humanas (Mcmahon *et*
11 *al.*, 2019). Na Amazônia estudar os processos envolvidos na mortalidade ganha grande
12 importância nas florestas secundárias amazônicas, que desempenham um papel crucial na
13 regulação e equilíbrio do carbono e na preservação da biodiversidade (Elias *et al.*, 2020).

14 As florestas secundárias estão cada vez mais presentes no bioma amazônico brasileiro
15 e são importantes mecanismos para reduzir as emissões líquidas de carbonos (Smith *et al.*,
16 2020). Essa vegetação é o resultado dos processos sucessionais que ocorrem após o uso total
17 ou parcial da floresta primária, principalmente, pelas atividades da agricultura e/ou pecuária
18 (Costa, 2004; Salomão *et al.*, 2012). Essas áreas possuem um alto potencial para o sequestro de
19 carbono, sendo mitigador climático devido ao seu rápido crescimento e múltiplos benefícios
20 para a conservação da biodiversidade e a geração serviços ecossistêmicos (Chazdon *et al.*,
21 2016). Além disso, as árvores presentes nesses ecossistemas continuam desempenhando papéis
22 fundamentais mesmo após sua morte, contribuindo para o estoque de detritos lenhosos que
23 atuam em diversos processos biológicos nas florestas, servindo de habitat para animais,
24 substratos para as plantas e como armazenamento de carbono em madeira morta ou necromassa
25 (Harmon *et al.*, 1986; Palace *et al.*, 2012).

26 A necromassa constitui-se de materiais de diferentes origens, incluindo árvores caídas
27 ou em pé, galhos e pedaços de troncos (Brown, 1997). Embora frequentemente associada a
28 árvores mortas, a necromassa também pode ser proveniente de galhos de árvores ainda vivas
29 que se desprendem e se acumulam acima do solo (Nordén *et al.*, 2004; Svensson *et al.*, 2014).
30 Esses fenômenos ocorrem principalmente devidos a eventos climáticos que ocasionam danos
31 nas copas das árvores, que resulta no desprendimento dos galhos (Reis *et al.*, 2022). A presença

32 desses materiais influência nos processos do ecossistema florestal, que inclui aqueles
33 relacionados ao habitat, ao fluxo de energia e à água (Harmon, 2021). O fluxo de energia
34 presente no ecossistema depende do processo de decomposição desse material lenhoso, já que
35 a concentração de carbono da necromassa pode diminuir significativamente com a
36 decomposição da madeira (Chao *et al.*, 2017).

37 O processo de decomposição da madeira pode mudar ao longo do tempo, tornando
38 desafiadora a compreensão dos efeitos da biodiversidade na putrefação da madeira (Gessner *et*
39 *al.*, 2010). Isso ocorre devido à influência de vários fatores, como a atividade microbiana,
40 temperatura, umidade, diâmetro do detrito e componentes da madeira, bem como compostos
41 químicos, sendo a densidade básica da madeira um dos fatores mais significativos (Zhou *et al.*,
42 2007). Já que a densidade básica da madeira tende a diminuir à medida que o grau de
43 decomposição aumenta (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Embora a mortalidade e
44 seus desdobramentos sejam componentes essenciais na dinâmica florestal, desempenhando um
45 papel crucial nos ciclos biogeoquímicos e na composição das florestas (Franklin *et al.*, 1987),
46 eventos de mortalidade em grande escala podem ter um impacto negativo no fornecimento de
47 serviços ecossistêmicos e na conservação da biodiversidade (Cardinale *et al.*, 2012).

48 Estudos comprovam que a mortalidade de árvores pelo mundo vem crescendo (Allen *et*
49 *al.*, 2010; Mcdowell *et al.*, 2020). Um dos principais motivos desse aumento é a mudança
50 climática, que afeta principalmente a temperatura e a precipitação e vem ocasionando mais
51 frequentes eventos extremos (IPCC, 2023), deixando vulneráveis não apenas as árvores de
52 grande porte, como também, os de pequenos portes (Taccoen *et al.*, 2021). Embora esses
53 eventos afetem a estrutura e a composição das florestas, prever com precisão como, onde e
54 quando a mudança climática se manifestará na mortalidade das árvores ainda é um desafio
55 (Chao *et al.*, 2010). Isso reforça a necessidade de inventários florestais para reconhecimento,
56 quantificação e monitoramento com foco na mortalidade de árvores (Fontes *et al.*, 2018).

57 Ainda pouco explorado, estudos que busquem compreender a dinâmica do estoque da
58 necromassa e sua influência no balanço de carbono são muito importantes nas florestas tropicais
59 devido as extensas áreas e tamanhos dos estoques (Gora *et al.*, 2019) Portanto, analisar a
60 mortalidade das árvores é fundamental para compreender como a mudança climática afeta a
61 estrutura da comunidade e a produtividade dos ecossistemas na Amazônia, subsidiando
62 iniciativas de manejo florestal. Nessa pesquisa, a mortalidade foi abordada de maneira
63 abrangente, permitindo o registro e a obtenção de atributos das árvores que morreram
64 recentemente ou há um tempo maior. Esses atributos foram utilizados para identificar como as

65 árvores estão morrendo e compreender o impacto que a dinâmica do povoamento tem no
66 estoque de necromassa por em uma floresta secundária na Amazônia.

67

68 **1.1 Estrutura da dissertação**

69 Esta dissertação está estruturada em dois capítulos e se ambienta na mesma área de estudo
70 (Figura 1), dessa forma a caracterização da mesma se encontra na sessão da contextualização
71 desta dissertação. O primeiro capítulo abordou o estoque na necromassa arbórea em uma
72 floresta secundária na Amazônia, considerando a ponderação da densidade básica da madeira
73 das árvores mortas na área de estudo para a estimativa da necromassa. O segundo capítulo
74 investigou possíveis explicações para a morte das árvores na comunidade e analisa o
75 comportamento delas dentro do sítio. Estas duas investigações são norteadas por duas perguntas
76 científicas e duas hipóteses abaixo:

77

78 **1.2 Perguntas científicas e hipóteses**

79 Em florestas secundárias, que ganham cada vez mais importância multidimensional no
80 contexto do uso da terra na Amazônia, ainda há muito a se estudar sobre como elas vem
81 funcionando e respondendo às condições ambientais atuais, especialmente como componente
82 ligado ao balanço do carbono com um considerável reservatório de carbono no contexto da
83 mudança do clima. Identificar e desentrelaçar como os fatores estão agindo é fundamental para
84 construir o conhecimento de como as florestas secundárias funcionam biologicamente. Nesse
85 sentido, esta pesquisa buscou iniciar os estudos sobre a mortalidade de árvores em florestas
86 secundárias, abrindo frente para aprofundamentos científicos.

87 Desenvolver procedimentos adequados para estimar o estoque de biomassa florestal é
88 fundamental para compreender o funcionamento das florestas. O método de estimativa da
89 necromassa de um povoamento a partir da amostragem por interceptação e com o uso da
90 densidade básica da madeira (Pearson e Brown, 1997), pode trazer essas informações. Porém,
91 a dificuldade implícita no método está em definir o valor de densidade básica, pois será
92 encontrado na literatura e provavelmente não será vindo do local de estudo e/ou baseado na
93 média das densidades das árvores vivas. Isso torna-se um problema quando consideramos que,
94 com o processo de decomposição da madeira, a densidade tende a diminuir (Moreira *et al.*,
95 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Dessa forma, a pergunta e hipótese que norteiam o primeiro
96 capítulo é:

97 *Q1: De que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes*
 98 *classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa?*

99 *H0: A necromassa é estimada a partir da densidade básica média das árvores morta, sem*
 100 *a necessidade de ponderar o estoque do reservatório em classes de decomposição.*

101 A mortalidade das árvores decorre da interação das características do indivíduo, da espécie
 102 e da associação com as condições do sítio (Franklin *et al.*, 1987; Chao *et al.*, 2008). Inerente ao
 103 indivíduo, a morte depende de características idiossincráticas e genéticas e dos fatores bióticos
 104 e abióticos que estão agindo na árvore. Quanto à espécie, a mortalidade depende das
 105 características genéticas e evolutivas e do crescimento da população, além de condições
 106 endógenas e alógenas impostas ao sítio. Sobre o sítio, a disponibilidade de fatores limitantes do
 107 crescimento, as características geográficas do sítio e o regime de perturbações determinam os
 108 eventos de mortalidade de árvores. O problema é que a interação entre todos os fatores é
 109 complexa e pode ser específica para cada floresta, levando em consideração o legado que a
 110 comunidade e o ecossistema experimentam ao longo do tempo. Dessa forma, a pergunta
 111 científica e hipótese nula que se declara para o segundo capítulo é:

112 *Q2: O que pode explicar a morte das árvores da comunidade nessa região?*

113 *H0: A frequência observada de árvores mortas caídas distribui-se uniformemente ou sem*
 114 *relação com as variáveis qualitativas e geográficas.*

115

116 **1.3 Objetivos**

117 *1.3.1 Geral:*

118 Quantificar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em
 119 decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como parâmetro e investigar como as
 120 árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu
 121 no nordeste Paraense.

122

123 *1.3.2 Específicos:*

124 **Capítulo 1:** Estimar a necromassa estocada no reservatório lenhoso do material em
 125 decomposição, utilizando a densidade básica da madeira como indicador.

- 126 • Quantificar o número de árvores caídas pelo sistema de amostragem;
- 127 • Determinar a densidade básica da madeira das árvores em diferentes estágios de
- 128 decomposição no fragmento florestal;

- 129 • Quantificar o estoque de necromassa do fragmento considerando a variação dos valores
130 de densidade básica da madeira.
- 131 • Identificar como as árvores estão morrendo.

132

133 **Capítulo 2:** Investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária
134 no município de Igarapé-Açu no nordeste Paraense.

- 135 • Determinar as características individuais de tamanho, modo de morte e classe de
136 decomposição das árvores caídas;
- 137 • Obter as características geográficas por meio do ângulo azimutal de direção de queda
138 da árvore e da distância da borda, da distribuição espacial das árvores caídas no
139 fragmento florestal.

140

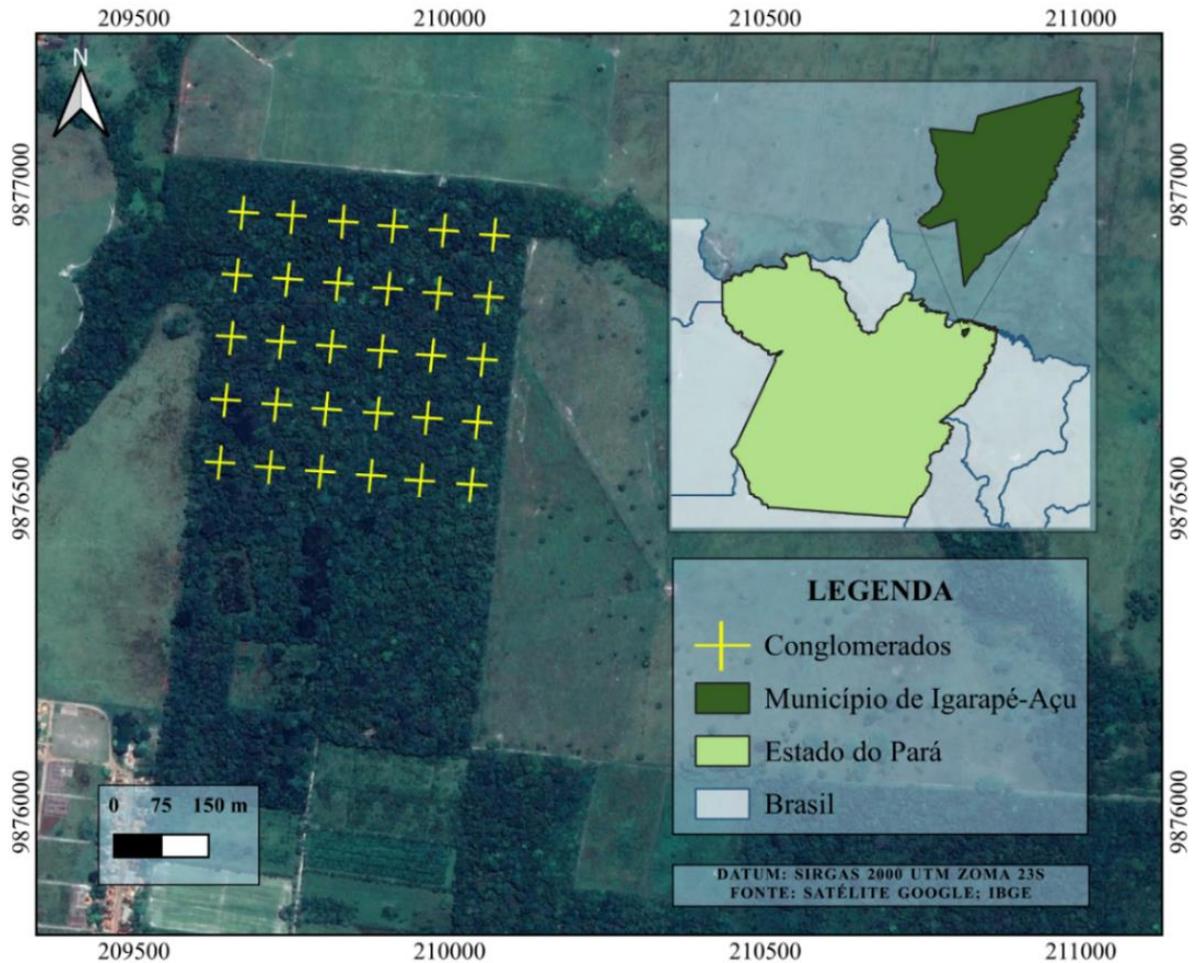
141 **1.4 Caracterização da área de estudo**

142 O estudo foi realizado em uma floresta secundária localizada na Fazenda Escola de Igarapé-
143 Açú (FEIGA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), município de Igarapé-Açu
144 (zona bragantina) na Zona Bragantina do Estado do Pará (Figura 1). De acordo com Köppen, o
145 clima do local é do tipo Am (Alvares *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 2500 mm
146 e temperaturas mínima e máxima de 21,4 °C e 32,2 °C, respectivamente. A umidade relativa
147 do ar tem média anual de 85% (Pachêco *et al.*, 2005). Os solos que predominam o município
148 de Igarapé-Açu são o latossolo amarelo de textura média e o solo concrecionários lateríticos
149 nas terras firmes (Fonseca, 2019). Com relevo caracterizado como plano e suave ondulado,
150 exhibe vertentes longas que não ultrapassam a dez graus (10°) (Da Silva *et al.*, 2009). A cobertura
151 da vegetação original é floresta ombrófila densa (IBGE, 2023), mas poucas áreas de florestas
152 maduras ocorrem na região e a maioria das florestas são secundárias em consequência dos
153 intensos processos de ocupação e das atividades produtivas (Denichl e Kanashiro, 1995). A
154 Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA) fica localizada a cerca de 91 km de Belém, no
155 município de Igarapé-Açu, nordeste do Pará. A Fazenda foi implantada com o objetivo de
156 melhorar a qualidade de ensino dos acadêmicos de graduação e pós-graduação da instituição, a
157 área foi cedida pelo ministério da agricultura para a então Faculdade de Ciências Agrárias
158 (FCAP) em 1984 e em 14 de maio de 1984 a doação foi publicada no Diário Oficial da União
159 (UFRA, 2021).

160

161

162 Figura 1 – Localização da área de estudo em fragmento de floresta secundária na Fazenda Escola de
 163 Igarapé-Açu.



164

165 Fonte: A autora (2024).

166 REFERÊNCIAS

167 ALLEN, Craig D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals
 168 emerging climate change risks for forests. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 4, p.
 169 660-684, 2010.

170 ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil.
 171 Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, pág. 711-728, 2013.

172 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**
 173 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.

174 BARBOSA, R. I.; CASTILHO, C. V.; PERDIZ, R. O.; DAMASCO, G.; RODRIGUES, R.;
 175 FEARNSIDE, P. M. Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian
 176 seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro-Rio Branco Basin in Roraima,
 177 Brazil. **For. Ecol. Manag.** 2017.

178 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food
 179 e Agriculture Org., 1997.

- 180 CARDINALE, Bradley J. *et al.* Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486,
181 n. 7401, p. 59-67, 2012.
- 182 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody
183 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 184 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Growth and wood density predict tree mortality in Amazon
185 forests. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 2, p. 281-292, 2008.
- 186 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Vegetation dynamics of a lowland rainforest at the northern border of
187 the paleotropics at Nanjenshan, southern Taiwan, v. 25, n. 1, p. 29-40, 2010.
- 188 CHAZDON *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the
189 Latin American tropics. **Sci. Adv.** 2016.
- 190 CHAZDON *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the
191 Latin American tropics. **Sci. Adv.** 2016.
- 192 COSTA, F. de A. Path dependency e a transformação agrária do bioma amazônico: o sentido das
193 capoeiras para o desenvolvimento. *Novos Cadernos NAEA*, v. 7, n.2, p.111-158. 2004.
- 194 DA SILVA, Benedito Nelson Rodrigues *et al.* Solos das mesobacias hidrográficas dos igarapés
195 São João e Cumaru, municípios de Marapanim e Igarapé Açu. In: **CONGRESSO**
196 **BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2009.
- 197 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in
198 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 199 FALCETTA, F.M. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): ferramenta
200 de mitigação da crise climática ou perpetuador da hegemonia?. 2023.
- 201 FONSECA, A. I. T. **Laudo hidrogeológico para construção de poço tubular**. Prefeitura de
202 Igarapé-Açu, 2017.
- 203 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and
204 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**
205 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 206 FRANKLIN, Jerry F.; SHUGART, Herman H.; HARMON, Mark E. Tree death as an
207 ecological process. **BioScience**, v. 37, n. 8, p. 550-556, 1987.
- 208 GESSNER, Mark O. *et al.* Diversity meets decomposition. **Trends in ecology e evolution**, v.
209 25, n. 6, p. 372-380, 2010.
- 210 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and
211 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 212 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and
213 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 214 IBGE. (2022). **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares do Universo - Brasil**.
215 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/igarape-acu/panorama>Acesso em: 12 de
216 setembro de 2023.

- 217 KLEIN, Tamir; HARTMANN, Henrik. Climate change drives tree mortality. **Science**, v. 362,
218 n. 6416, p. 758-758, 2018.
- 219 MCDOWELL, Nate G. *et al.* Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. **Science**,
220 v. 368, n. 6494, p. eaaz9463, 2020.
- 221 MCMAHON, Sean M.; ARELLANO, Gabriel; DAVIES, Stuart J. The importance and
222 challenges of detecting changes in forest mortality rates. **Ecosphere**, v. 10, n. 2, p. e02615,
223 2019.
- 224 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood
225 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**
226 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 227 NEUMANN, Mathias *et al.* Climate variability drives recent tree mortality in Europe. **Global**
228 **change biology**, v. 23, n. 11, p. 4788-4797, 2017.
- 229 NORDÉN, Björn *et al.* Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland:
230 contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. **Forest Ecology**
231 **and Management**, v. 194, n. 1-3, p. 235-248, 2004.
- 232 PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. Boletim agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA.
233 Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2005.
- 234 PALACE, Michael *et al.* A review of above ground necromass in tropical forests. **Tropical**
235 **forests**, p. 215-252, 2012.
- 236 REIS, Simone M. *et al.* Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian
237 edge forests. **Journal of Ecology**, v. 110, n. 4, p. 876-888, 2022.
- 238 SALOMÃO, R. P.; VIEIRA, I. C. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; AMARAL, D.D. Sistema
239 Capoeira Classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas
240 secundárias para o estado do Pará. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, v. 7, n.
241 3, p. 297-317, set.-dez. 2012.
- 242 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by
243 decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.
- 244 SMITH, Charlotte C. *et al.* Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated
245 carbon emissions in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7006-7020,
246 2020.
- 247 SVENSSON, Måns *et al.* Dead branches on living trees constitute a large part of the dead wood
248 in managed boreal forests, but are not important for wood-dependent lichens. **Journal of**
249 **Vegetation Science**, v. 25, n. 3, p. 819-828, 2014.
- 250 TACCOEN, Adrien *et al.* Climate change impact on tree mortality differs with tree social status.
251 **Forest Ecology and Management**, v. 489, p. 119048, 2021.
- 252 UNIVERSIDADE FERERAL RURAL DA AMAZÔNIA. Em comemoração aos 70 anos de
253 ufra, vamos relembra 70 fatos importantes sobre a **trajetória da primeira rural do norte do**
254 **país: A fazenda escola de Igarapé-Açu (FEIGA)**. Belém, 2021.
255

- 256 ZHOU, Li *et al.* Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in
257 forest ecosystem. **Journal of Forestry Research**, v. 18, n. 1, p. 48-54, 2007.
- 258 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six
259 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.

260 2 REFERENCIAL TEÓRICO

261 2.1 Florestas secundárias

262 Segundo o Conama (1994), as florestas secundárias são o resultado dos processos de
263 sucessão natural, que ocorrem logo após o uso total ou parcial da vegetação primária por ações
264 antrópicas, ou naturais. As ações antrópicas nas florestas tropicais incluem a pecuária,
265 agricultura, mineração, hidrelétricas e abertura de estradas, extração de madeira e o fogo, cada
266 um apresenta impacto vegetativo diferente (Canteral *et al.*, 2022). Popularmente, ao longo do
267 tempo, muitos nomes surgiram para indicar os estágios da vegetação secundária, os termos
268 indicam principalmente a percepção da dinâmica da estrutura vegetativa no local. Os principais
269 nomes encontrados na literatura são: Quiçassa, Juquira, Masega, Capoeirinha, Capoeira e
270 Capoeirão (Salomão *et al.*, 2022). Em suma, as florestas secundárias estão em um processo de
271 regeneração, em diversos estágios sucessionais e a sucessão secundária estará completa quando
272 alcança uma comunidade mais complexa, diversa e estável (Klein, 1980; Kageyama e Castro,
273 1989; Cordeiro *et al.*, 2017).

274 A regeneração florestal ocorre principalmente após o abandono de áreas agrícolas
275 devido à perda da sua produtividade (Chazdon, 2013). A sucessão é o processo gradual de
276 mudança na composição de espécies, estrutura da comunidade e características físicas que
277 ocorrem em resposta a distúrbio em uma comunidade biológica (Primack e Rodrigues, 2006).
278 A recuperação de um ecossistema cria condições que garantem a reprodução e a diversidade
279 genética de sua população (Kageyama e Gandara, 2003; Oliva *et al.*, 2018). Pois, a riqueza de
280 espécies aumenta rapidamente nos estágios iniciais de sucessão (Elias *et al.*, 2020). Essa
281 recuperação é determinada principalmente por fatores intrínsecos, como a característica de solo,
282 tempo de abandono da área e o histórico de uso do solo (Barros *et al.*, 2020). Em decorrência
283 do seu crescimento, as florestas secundárias são altamente produtivas, importantes para mitigar
284 a mudança do clima (Poorter *et al.*, 2016).

285 Na região amazônica, as áreas em que ocorre a maior formação de capoeiras são as de
286 pousio no sistema de corte e queima e no abandono de áreas de pastagens (Pereira e Vieira,
287 2001). Essas formações de vegetação desempenham diversos serviços tanto ambiental como
288 também social, como, por exemplo, na econômica, fornecendo produtos e subprodutos, sendo
289 fonte de renda para pequenos agricultores (Dourojeanni, 1990). Além disso, essas formações
290 naturais são uma estratégia eficaz e de baixo custo para aumentar a cobertura vegetal, a

291 biodiversidade e a estrutura do solo em uma área antes degradada (Chazdon e Guariguata,
292 2016).

293

294 **2.2 Processo de fragmentação: efeito de borda em florestas**

295 Os fragmentos florestais decorrem de um processo de mudança da paisagem (Fahrig,
296 2003), principalmente atribuído a modificações antrópicas no uso e ocupação da terra (Pires *et*
297 *al.*, 2006). Esse processo consiste na redução ou divisão de áreas florestais em duas ou mais
298 partes (Shafer, 1990). A fragmentação florestal pode resultar em mudanças na biodiversidade e
299 no funcionamento da comunidade remanescente (Turner, 1996). Sendo o desmatamento o
300 principal propulsor das causas da perda global de biodiversidade (Haddad *et al.*, 2015). A
301 fragmentação florestal inevitavelmente cria bordas, desencadeando transformações nos
302 sistemas biológicos, ocasionadas em grande parte por efeitos de borda (Rodrigues e
303 Nascimento, 2006).

304 Os efeitos de borda desempenham um papel de destaque no contexto da fragmentação,
305 possuindo grande potencial de influenciar a organização das áreas remanescente, resultando na
306 exposição a diversas condições climáticas, como a diminuição da umidade do ar, aumento da
307 temperatura, além de uma maior suscetibilidade aos ventos. Isso pode leva a uma diminuição
308 na diversidade de espécies dentro dos remanescentes florestais (Pires *et al.*, 2006). Além disso,
309 esses efeitos podem ser influenciados por fatores externos, como o uso do solo no entorno dos
310 fragmentos. Em ambiente como pastagem, por exemplo, são frequentemente sujeitos a
311 incêndios, que causam perturbação recorrentes na área (Broadbent *et al.*, 2008).

312 As mudanças ecológicas nos fragmentos florestais são fortemente influenciadas pelos
313 efeitos de borda (Laurance *et al.*, 2018). Contudo, a vulnerabilidade também está relacionada
314 ao tamanho e à localização do fragmento na paisagem (Kapos, 1989). Em paisagens com maior
315 cobertura florestal, a preservação e a sobrevivência tendem a ocorrer com maior frequência,
316 enquanto fragmentos menores tendem a ser mais suscetíveis a impactos externos (Schaadt *et*
317 *al.*, 2015). É importante destacar que dentro dos remanescentes, os efeitos variam de forma
318 irregular (Laurance *et al.*, 1998). Compreender o impacto da fragmentação florestal na
319 biodiversidade e nas respostas ecológicas é uma questão central no campo da biologia da
320 conservação (Fahrig *et al.*, 2019).

321 Na Amazônia, o desmatamento associado ao uso da terra tem levado a criação de
322 mosaicos de fragmentos florestais (Barros e Fearnside, 2016). Apesar de não serem diretamente
323 causadas pela fragmentação, as florestas secundárias, frequentemente, resultado da regeneração

324 de áreas desmatadas, se apresentam como pequenas ilhas de habitat, cercadas por uma paisagem
325 dominada por atividades agrícolas e sistemas de uso da terra (Macarthur e Wilson 2001). Com
326 isso, atualmente, as florestas secundárias estão isoladas de outras paisagens florestais (Smith *et*
327 *al.*, 2020). Dessa forma, gerir as florestas remanescentes em paisagens fragmentadas, tanto para
328 a conservação das espécies como para o funcionamento dos ecossistemas, requer uma
329 compreensão detalhada das interações entre os vários fatores (Hartzog *et al.*, 2019).

330

331 **2.3 Mortalidade de árvores**

332 A dinâmica do ecossistema é uma característica básica que mantém o equilíbrio
333 florestal, preservando sua estrutura e sua composição ao longo do tempo. As interações entre
334 os processos de regeneração, crescimento e mortalidade são fundamentais para isso (Dajoz,
335 2006; Colpini *et al.*, 2010). A mortalidade é um processo importante e complexo nos
336 povoamentos florestais, além da redução no volume de biomassa em pé, a morte das árvores
337 também pode aumentar o crescimento dos indivíduos residuais, estabelecer a regeneração e
338 alterar as propriedades do solo (Ruel e Gardiner, 2019). Dessa forma, a mortalidade é um
339 componente importante que controla o desenvolvimento e a produtividade florestal (Valkonen
340 *et al.*, 2020). Para Lee (1971), a mortalidade pode ser caracterizada como regular e irregular. A
341 mortalidade regular refere-se a morte dos indivíduos pela competitividade por luz, água e
342 nutriente, geralmente, no período inicial do seu desenvolvimento. Já a mortalidade irregular se
343 dá por danos de insetos, doenças, vento, fogo e outras ações humanas.

344 Os eventos de mortalidade também trazem sinais sobre a saúde dos ecossistemas
345 florestais (Trumbore *et al.*, 2015). Pois servem como indicadores das condições biológicas e
346 auxiliam na compreensão de como as florestas tropicais estão funcionando e respondendo às
347 pressões exercidas por ações antrópicas (Carey *et al.*, 1994). A mortalidade pode estar ligada a
348 fatores de origens global ou locais como, seca, aumento da temperatura, condutividade
349 hidráulica, capacidade fotossintética e aumento da exposição a patógenos/pragas (Dyer *et al.*,
350 2012; Arellano *et al.*, 2019). Quando se estuda o indivíduo isolado, as mortes das árvores podem
351 ser por causas internas (efeitos genéticos ou fisiológicos) e externas (distúrbios ou causas
352 ambientais) (Gavrilov e Gavrilova, 2001). Além disso, as espécies diferem em suas respostas a
353 essas condições (Wright *et al.*, 2010).

354 A mudança global aumenta a ocorrência de fatores ambientais, que podem resultar no
355 aumento da mortalidade de árvores nas florestas pelo mundo (Mcdowell *et al.*, 2018). Uma das
356 principais ameaças para a sobrevivência das árvores é o aumento da temperatura, pois

357 intensifica a seca atmosférica, a seca nos solos e o efeito do estresse térmico (IPCC, 2014).
358 Diante desse cenário, inúmeros estudos estão surgindo para identificar possíveis causas de
359 morte das árvores nas florestas. O estudo desenvolvido por Stovall *et al.* (2019), demonstrou
360 que a seca exerce maior influência na mortalidade nas árvores de maior porte. Na pesquisa
361 desenvolvida por Hartmann *et al.* (2022), na qual buscou identificar os riscos da mudança
362 climática para a saúde da floresta, também ficou evidente que os componentes florestais se
363 tornam mais sucessivos à mortalidade em ambientes mais quentes e com seca extrema.

364 No trabalho de Magnabosco Marra *et al.* (2018), foi observado que a severidade dos
365 ventos controla a dinâmica da biomassa/carbono ao longo do tempo nas florestas Amazônia.
366 Outros fatores também estão sendo analisados para detectar a mortalidade, como no estudo de
367 Arellano *et al.* (2019), no qual identificou que os danos nas copas ajudam a explicar o aumento
368 da probabilidade de morte dos indivíduos florestais. Na pesquisa de Zuleta *et al.* (2022), foi
369 proposto um ranking dos fatores de risco de mortalidade de árvores em florestas tropicais.
370 Sendo este fundamental para pesquisas futuras, possibilitando o avanço no entendimento sobre
371 mortalidade de árvores.

372

373 **2.4 Necromassa Florestal**

374 A necromassa é definida como a biomassa morta presente nos ecossistemas florestais,
375 que inclui árvores caídas e em pé, galhos e pedaços de troncos (Brown, 1997). Sendo subdivida
376 em duas categorias: liteira fina, que inclui as folhas, gravetos e galhos finos com diâmetro
377 inferior a 2 cm e a liteira grossa, com galhos e tronco com diâmetros maiores ou igual a 2 cm
378 (Pauletto, 2006). A necromassa caída geralmente está presente em maior quantidade em relação
379 a em pé nas florestas maduras, porém a quantidade total é variável dependendo de fatores como,
380 idade do povoamento, estrutura da floresta, regime das perturbações e o clima no local (Gora
381 *et al.*, 2014; Pfeifer *et al.*, 2015; Carlson *et al.*, 2017).

382 Para os ecossistemas florestais, a necromassa possui diversas funcionalidades, atuando
383 no estoque de carbono, na ciclagem dos nutrientes (Esquivel-Muelbert *et al.*, 2020; Dalagnol *et*
384 *al.*, 2021), como hábitat para organismos como invertebrados, répteis e pequenos mamíferos,
385 pode ser considerada substrato para germinação e crescimento de espécies vegetais (Harmon *et*
386 *al.*, 1986), exercendo um papel importante como indicador da qualidade do habitat,
387 especialmente para invertebrados (Alexander, 2004; Lassauce *et al.*, 2011), dessa forma a
388 necromassa acaba moldando a biodiversidade (Piaszczyk *et al.*, 2022). Sua classificação em
389 níveis de decomposição com base nos levantamentos de campo tem sido utilizada para melhorar

390 a quantificação dessa biomassa morta nas florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence,
 391 2006). Alguns estudos atuais demonstram a importância dessa classificação e estão realizando
 392 o levantamento do estoque de necromassa de acordo com a classificação da decomposição do
 393 material lenhoso. Porém poucas pesquisas estão sendo realizadas nas florestas secundárias
 394 amazônicas, como se pode observar na tabela a seguir:

395 Tabela 1– Tabela resumo dos materiais consultados para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Item	Título do trabalho	Área de estudo	Tipo	Referências
1	Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo	Mata Atlântica no estado de São Paulo	Dissertação	Viega, (2010).
2	Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices	Florestas primárias da Amazônia colombiana.	Artigo científico	Navarrete <i>et al.</i> (2016).
3	Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, Sudeste e centro ocidental paranaense	Centro-sul, Centro ocidental e Sudeste Paranaense	Dissertação	Oliveira, (2017).
4	Dead Wood Necromass in a Moist Tropical Forest: Stocks, Fluxes, and Spatiotemporal Variability	Floresta tropical madura e úmida no Panamá	Artigo científico	Gora <i>et al.</i> (2019).
5	Wood density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil	Mata Atlântica brasileira e floresta estacional tropical	Artigo científico	Moreira <i>et al.</i> (2019)
6	Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil	Fragmento secundário de Mata Atlântica no Brasil	Artigo científico	Villanova <i>et al.</i> (2019).
7	Propriedades físico-químicas e dinâmica da necromassa em floresta estacional semidecidual	Fragmento de floresta secundária de Mata Atlântica	Tese	Villanova, (2021).
8	A simple concept for estimating deadwood carbon in forests	Florestas austríacas.	Artigo científico	Neumann <i>et al.</i> (2023).
9	Determinação do volume de resíduos lenhosos pelo método das linhas interceptadoras na Amazônia brasileira	Floresta madura na Amazônia brasileira	Dissertação	Nunes, (2023)
10	Impacts of a severe storm on carbon accumulation in coarse woody debris within a secondary	Fragmento secundário de Mata Atlântica	Artigo científico	Villanova <i>et al.</i> (2024)

	Atlantic Forest fragment in Brazil			
--	---------------------------------------	--	--	--

396 Fonte: A autora (2024).

397

398 Existem inúmeras técnicas para quantificar os detritos florestais, que incluem métodos
399 diretos (destrutivos) e indiretos (não destrutivos). Essas técnicas podem determinar a
400 quantidade da necromassa, sendo este importante para a compreensão dos ecossistemas.
401 (Watzlawick *et al.*, 2021). A sua quantificação requer uma metodologia que facilite a sua
402 medição, nesse cenário os transectos ou linhas de interceptação são aceitáveis para essa
403 finalidade (Cardoso *et al.*, 2013). Outro fator que pode facilitar sua medição, são trazidos por
404 estudos recentes realizados por meio de imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e
405 dados de campo, como de Peixoto (2022), que se associar o número de clareiras com o número
406 de árvores mortas e área aberta, conseqüentemente maior necromassa será produzida.

407

408 **2.5 Densidade básica da madeira**

409 A densidade básica da madeira é uma característica física importante e complexa que resulta
410 da combinação de diversos fatores, incluindo dimensão das fibras, espessura da parede celular,
411 volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e albúrnio e arranjo dos
412 elementos anatômicos (Foelkel *et al.*, 1971). Além disso, apresentam variação entre família,
413 gênero, entre espécies do mesmo gênero, bem como variar longitudinalmente e radialmente em
414 toda a árvore (Baker *et al.*, 2004; Chave *et al.*, 2006). As características físicas são de grande
415 importância para a indústria, uma vez que essas características influenciam no processo
416 tecnológico da industrialização e é um parâmetro de avaliação da qualidade da madeira
417 (Bonduelle *et al.*, 2015). Além disso, quando se relaciona com a biomassa morta, é uma
418 característica que determina a rapidez com que a decomposição pode ocorrer na floresta (Wu
419 *et al.*, 2020).

420 A densidade básica tende a diminuir à medida que a classe de decomposição aumenta
421 (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022). Essa diminuição se deve a redução da massa e o
422 aumento do volume, devido ao afrouxamento das fibras em decorrência da decomposição
423 (Harmon *et al.*, 1995). Com isso, o teor de umidade aumenta, visto que quanto maior a
424 quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira - celulose,
425 hemicelulose e lignina (Foelkel *et al.* 1971). Essa redução pode variar de acordo com a região,
426 a espécie, as vias de decomposição e a posição e tipo da madeira (em pé, caída e galhos)
427 (Harmon, 2021). Os estudos sobre densidade da madeira, redução de massa e concentração de

428 carbono por classes de decomposição em florestas tropicais são escassos (Martin *et al.*, 2021).
429 Assim, Shorohova *et al.* (2022) resalta a importância de mais pesquisas para entender as
430 possíveis fontes de variação nos efeitos da degradação e na concentração de C nas florestas. Já
431 que a concentração de carbono da necromassa pode diminuir significativamente com a
432 decomposição da madeira (Chao *et al.*, 2017).

433 Os detritos florestais são fontes de biodiversidade e são elementos importantes nos
434 componentes florestais, principalmente para as propriedades do solo (Piaszczyk *et al.*, 2019).
435 Assim como, é também uma fração considerável do estoque de carbono (C) do ecossistema,
436 respondendo cerca de 20% do C total nas florestas (Pan *et al.*, 2011). Para o balanço do carbono
437 global, a taxa de decomposição da madeira é um notável preditor. (Russell *et al.*, 2015). Pois
438 determina a liberação de dióxido de carbono para o solo ou atmosfera, sendo assim, a
439 necromassa é importante reservatório de carbono florestal (Keller *et al.*, 2004). Os detritos
440 florestais, contribuem para a biodiversidade e o estoque de carbono, com a quantidade e a
441 qualidade da madeira morta, logo, vem se tornando alvo cada vez mais frequentes de inventários
442 florestais (Rajala *et al.*, 2010).

443 A quantização da densidade pode ser de dois métodos, o indireto, semidestrutivo e o
444 direto (destrutivo), este último consiste no abate da árvore para a retirada da amostra em forma
445 de disco, cunha ou cavaco (Nicoletti; Silva; Floriani, 2015). Sendo que pode ser apreendida de
446 duas formas: a densidade básica e a aparente a densidade básica, que relaciona o peso da massa
447 absolutamente seca com o volume saturado da amostra, e a densidade aparente, que relaciona a
448 massa e o volume para a determinação das relações entre propriedade mecânicas e densidade
449 (Foelkel *et al.*, 1971). A densidade básica é calculada entre a razão da massa seca em estufa e
450 o volume da madeira verde ou fresca (Henry *et al.*, 2013). Os métodos mais comumente
451 empregados na determinação do volume da madeira para assim obter a densidade são: Método
452 de Imersão ou Balança Hidrostática, Máximo Teor de Umidade, Método de Medição Direta do
453 Volume e Método da Flutuação. O método de imersão é o mais usado, devido ser considerado
454 um dos mais precisos e pode ser usado para amostras com formato irregular, sendo o volume
455 determinado pela variação de peso do líquido, em virtude da imersão da amostra de madeira
456 (Vital, 1984).

457

458

459 **REFERÊNCIAS**

- 460 ALEXANDER, K. Revision of the Index of Ecological cContinuity as used for saproxylic
461 beetles. *English Nature*, 2004.
- 462 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**
463 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.
- 464 BAKER, Timothy R. *et al.* Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian
465 forest biomass. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 545-562, 2004.
- 466 BARROS, Henrique S.; FEARNSTIDE, Philip M. Soil carbon stock changes due to edge effects
467 in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, v. 379, p. 30-36, 2016.
- 468 BARROS, Tássia Cristina *et al.* Natural recovery of plant species diversity in secondary forests
469 in Eastern Amazonia: contributions to passive forest restoration. **Brazilian Journal of Botany**,
470 v. 43, n. 1, p. 165-175, 2020.
- 471 BONDUELLE, Ghislaine Miranda *et al.* Análise da Massa específica e da retratibilidade da
472 Madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 671-
473 680, 2015.
- 474 BROADBENT, Eben N. *et al.* Forest fragmentation and edge effects from deforestation and
475 selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological conservation**, v. 141, n. 7, p. 1745-1757,
476 2008.
- 477 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food
478 e Agriculture Org., 1997.
- 479 CANTERAL, Kleve Freddy Ferreira *et al.* CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÁGIOS
480 SUCESSIONAIS DE FLORESTAS SECUNDÁRIAS: SISTEMA CAPOEIRA CLASSE
481 (CAPCLAS). **FITOQUÍMICA: POTENCIALIDADES BIOLÓGICAS DOS BIOMAS**
482 **BRASILEIROS-VOLUME 2**, v. 2, n. 1, p. 12-35, 2022.
- 483 CARDOSO, Denise Jeton *et al.* Determinação do comprimento ótimo de transectos para
484 estimativa de necromassa floresta. 2013.
- 485 CAREY, E. V.; BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Tree mortality in mature
486 lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. **Biotropica**,
487 Lawrence, v. 26, n. 3, p. 255-265. 1994.
- 488 CARLSON, Ben S. *et al.* Deadwood stocks increase with selective logging and large tree
489 frequency in Gabon. **Global Change Biology**, v. 23, n. 4, p. 1648-1660, 2017.
- 490 CHAVE, Jérôme *et al.* Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456
491 neotropical tree species. **Ecological applications**, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006
- 492 CHAZDON R. L (2013). Tropical forest regeneration. *Encycl Biodivers.*
493 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00377-4>.
- 494 CHAZDON, Robin L.; GUARIGUATA, Manuel R. Natural regeneration as a tool for large-
495 scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-
496 730, 2016.
- 497 COLPINI, Chirle *et al.* Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato
498 ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 40,
499 p. 549-555, 2010.

- 500 CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n.4, de 04 de**
501 **maio de 1994**. Diário Oficial da União, nº 114, 17 jun. 1994. Seção 1, p. 8877-8878.
- 502 CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra *et al.* Nordeste Paraense: panorama geral e uso
503 sustentável das florestas secundárias. 2017.
- 504 DAJOZ, R. 2006. Ecology principles. Artmed, Porto Alegre. 519 pp. (in Portuguese).
- 505 DALAGNOL, R.; WAGNER, F. H.; GALVÃO, L. S.; STREHER, A. S.; PHILLIPS, O. L.;
506 GLOOR, E.; ARAGÃO, L. E. Large-scale variations in the dynamics of Amazon forest canopy
507 gaps from airborne lidar data and opportunities for tree mortality estimates. **Scientific reports**,
508 11(1), 1-14. 2021.
- 509 DOUROJEANNI, M. J. **Amazonia, qué hacer?**. Centro de Estudios Teológicos de la
510 Amazonia, 1990.
- 511 EATON, James M.; LAWRENCE, Deborah. Woody debris stocks and fluxes during succession
512 in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 46-55, 2006.
- 513 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in
514 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 515 ESQUIVEL-MUELBERT, A *et al.* Tree mode of death and mortality risk factors across
516 Amazon forests. **Nature communications**. 2020.
- 517 FAHRIG, Lenore. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology,**
518 **evolution, and systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.
- 519 FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO,
520 Luiz Ernesto George. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para
521 coníferas e folhosas. **IPEF, Piracicaba**, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.
- 522 GAVRILOV L. A, GAVRILOVA N. S. 2001. The reliability theory of aging and longevity.
523 *Journal of Theoretical Biology* 213: 527–545.
- 524 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and
525 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 526 GORA, Evan M. Patterns of coarse woody debris volume among 18 late-successional and
527 mature forest stands in Pennsylvania1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 141,
528 n. 2, p. 151-160, 2014.
- 529 Harmon ME, Franklin JF, Swanson FJ, Sollins P, Gregory SV, Lattin JD, Anderson NH, Cline
530 SP, Aumen NG, Sedell JR, Lienkamper GW, Cromack J, Cummins KW, (1986). Ecology of
531 coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advance Ecology Restoration* 15: 133-302.
- 532 HARMON, Mark E. *et al.* Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forests
533 of the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. **Biotropica**, p. 305-316, 1995.
- 534 HARTMANN, Henrik *et al.* Climate change risks to global forest health: emergence of
535 unexpected events of elevated tree mortality worldwide. **Annual Review of Plant Biology**, v.
536 73, p. 673-702, 2022.
- 537 HARTZOG, Lionel R. *et al.* Forest fragmentation modulates effects of tree species richness and
538 composition on ecosystem multifunctionality. **Ecology**, v. 100, n. 4, p. e02653, 2019.

- 539 IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and
540 Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the
541 Intergovernmental Panel on Climate Change (eds Field, C. B. *et al.*) (Cambridge University
542 Press, 2014).
- 543 Joseph *et al.* Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. **Ecology**, v.
544 91, n. 12, p. 3664-3674, 2010.
- 545 KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de
546 espécies nativas. **IPEF**, Piracicaba, n.41- 42, p. 83-93, 1989.
- 547 KAGEYAMA, Paulo; GANDARA, Flávio Bertin. Restauração e conservação de ecossistemas
548 tropicais. Métodos de estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre (L.
549 Cullen Jr., R. Rudran e C. Valladares-Padua, orgs.). Editora da UFPR e Fundação O Boticário
550 de Proteção à Natureza, Curitiba, p. 383-394, 2003.
- 551 KAPOS, Valerie. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian
552 Amazon. **Journal of tropical ecology**, v. 5, n. 2, p. 173-185, 1989.
- 553 LASSAUCE, *et al.* Madeira morta como substituto para a biodiversidade florestal: meta-análise
554 de correlações entre volume de madeira morta e riqueza de espécies de organismos
555 saproxilicos. **Indicadores Ecológicos**. v. 11, n. 5, pág. 1027-1039, 2011.
- 556 LAURANCE, William F. *et al.* An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of
557 global change. **Biological reviews**, v. 93, n. 1, p. 223-247, 2018.
- 558 LAURANCE, William F. *et al.* Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree
559 communities. **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 2032-2040, 1998.
- 560 LEE, Y. Predicting mortality for even-aged stands of lodgepole pine. *The Forestry Chronicle*,
561 v. 47, n. 1, p. 29-32, 1971.
- 562 MACARTHUR, Robert H.; WILSON, Edward O. **The theory of island biogeography**.
563 Princeton university press, 2001.
- 564 MAGNABOSCO MARRA, Daniel *et al.* Windthrows control biomass patterns and functional
565 composition of Amazon forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5867-5881, 2018.
- 566 MARTIN, Adam R. *et al.* Carbon fractions in the world's dead wood. **Nature**
567 **communications**, v. 12, n. 1, p. 889, 2021.
- 568 MCDOWELL, Nate *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical
569 forests. **New Phytologist**, v. 219, n. 3, p. 851-869, 2018.
- 570 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood
571 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**
572 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 573 NAVARRETE, Diego *et al.* Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon
574 leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. **Journal**
575 **of environmental management**, v. 171, p. 42-51, 2016.
- 576 NEUMANN, Mathias; ECHEVERRIA, Sebastian; HASENAUER, Hubert. A simple concept
577 for estimating deadwood carbon in forests. **Carbon Management**, v. 14, n. 1, p. 2197762,
578 2023.
- 579 NUNES, Fiana Kelly Melo *et al.* **Determinação do volume de resíduos lenhosos pelo**
580 **método das linhas Interseptadoras na Amazônia brasileira**. 2023. Tese de Doutorado.
581 UFRA-Campus Belém.

- 582 OLIVA, Elaine Vivian *et al.* Florística e estrutura de duas comunidades arbóreas secundárias
583 com diferentes graus de distúrbio em processo de recuperação. **Ciência Florestal**, v. 28, p.
584 1088-1103, 2018.
- 585 OLIVEIRA, K. A. **Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, sudeste e**
586 **centro ocidental paranaense. 2017. 68 f.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia
587 Florestal: Área de Concentração em Manejo Florestal) –Universidade Federal do Paraná,
588 Curitiba.
- 589 PAULETTO, D. 2006. Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta
590 submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso. Dissertação de
591 Mestrado. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil.
- 592 PEIXOTO, A.; S.; L.; Distribuição e geometria de clareiras em floresta da Amazônia central
593 combinando imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e dados de campo. Dissertação
594 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto
595 Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus. 2021.
- 596 PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. A Importância das florestas secundárias e os impactos de
597 sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, v.26 n.8, p.337-
598 341, Caracas ago. 2001.
- 599 PFEIFER, Marion *et al.* Deadwood biomass: an underestimated carbon stock in degraded
600 tropical forests?. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 4, p. 044019, 2015.
- 601 PIASZCZYK, Wojciech *et al.* How habitat moisture condition affects the decomposition of fine
602 woody debris from different species. **Catena**, v. 208, p. 105765, 2022.
- 603 PIRES, Alexandra S.; FERNANDEZ, Fernando AS; BARROS, Camila S. Vivendo em um
604 mundo em pedaços: efeitos da fragmentação florestal sobre comunidades e populações
605 animais. **Biologia da Conservação: Essências. São Carlos, São Paulo, Brazil**, p. 231-260,
606 2006.
- 607 POORTER, Lourens *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530,
608 n. 7589, p. 211-214, 2016.
- 609 PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. Biologia da conservação. In: **Biologia da**
610 **conservação**. 2006. p. vii, 327-vii, 327.
- 611 Queiroz, Waldenei Travassos de. Amostragem em inventário florestal / Waldenei Travassos de
612 Queiroz. -- Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.
- 613 RODRIGUES, Pablo José Francisco Pena; NASCIMENTO, Marcelo Trindade. Fragmentação
614 florestal: breves considerações teóricas sobre efeitos de borda. **Rodriguésia**, v. 57, p. 67-74,
615 2006.
- 616 RUEL, Jean-Claude; GARDINER, Barry. Mortality patterns after different levels of harvesting
617 of old-growth boreal forests. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 346-354, 2019.
- 618 SALOMÃO, Rafael Paiva *et al.* Estágios Sucessionais de Florestas Secundárias: Sistema
619 Capoeira Classe (2022).
- 620 SCHAADT, Suélen Schramm; VIBRANS, Alexander Christian. O uso da terra no entorno de
621 fragmentos florestais influencia a sua composição e estrutura. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p.
622 437-445, 2015.

- 623 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by
624 decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.
- 625 SMITH, Charlotte C. *et al.* Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated
626 carbon emissions in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7006-7020,
627 2020.
- 628 STOVALL, Atticus EL; SHUGART, Herman; YANG, Xi. Tree height explains mortality risk
629 during an intense drought. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4385, 2019.
- 630 TRUMBORE, S.; BRANDO, P.; HARTMANN, H. Forest health and global change. **Science**,
631 v. 349, n. 6250, p. 814 LP – 818, 21 ago. 2015.
- 632 TURNER, Iam Marker. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the
633 evidence. **Journal of applied Ecology**, p. 200-209, 1996.
- 634 VALKONEN, Sauli; AULUS GIACOSA, Lucie; HEIKKINEN, Juha. Tree mortality in the
635 dynamics and management of uneven-aged Norway spruce stands in southern Finland.
636 **European Journal of Forest Research**, v. 139, n. 6, p. 989-998, 2020.
- 637 VEIGA, Larissa Giorgeti. **Estoque de madeira morta ao longo de um gradiente altitudinal**
638 **de Mata Atlântica no nordeste do estado de São Paulo**. 2010. Tese de Doutorado. [sn].
- 639 VILLANOVA, Paulo Henrique *et al.* Impacts of a severe storm on carbon accumulation in
640 coarse woody debris within a secondary Atlantic Forest fragment in Brazil. **Environmental**
641 **Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 2, p. 1-16, 2024.
- 642 VILLANOVA, Paulo Henrique *et al.* Necromass carbon stock in a secondary atlantic forest
643 fragment in Brazil. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 833, 2019.
- 644 VILLANOVA, Paulo Henrique. Propriedades físico-químicas e dinâmica da necromassa em
645 Floresta Estacional Semidecidual. 2021.
- 646 Watzlawick, L. F.; Lorini, A.; Sens, T. M. Z. G.; Schran, J. A. **Conceitos e conhecimentos de**
647 **métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal: Análise e quantificação**
648 **da necromassa em floresta ombrófila mista**. Ponta Grossa – Paraná. Atena. 2021. 132 p.
- 649 WU, Chunsheng *et al.* The response of coarse woody debris decomposition and microbial
650 community to nutrient additions in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.
651 460, p. 117799, 2020.
- 652 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six
653 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.
- 654
- 655
- 656
- 657

658 **DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE DE NECROMASSA EM FUNÇÃO DA**
659 **DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NO NORDESTE PARAENSE, BRASIL**

660 **RESUMO**

661 A necromassa proveniente da dinâmica florestal desempenha um papel importante nos ciclos
662 biogeoquímicos e do carbono, conseqüentemente, sua quantificação é essencial. Diversos
663 métodos são empregados para sua quantificação. Corriqueiramente, a densidade básica da
664 madeira é utilizada nessa estimativa, porém, em muitos casos é utilizado as densidades
665 provenientes de outros estudos. Mediante a esse cenário, essa pesquisa surge com a seguinte
666 questionamento: de que forma a ponderação da densidade básica da madeira, considerando
667 diferentes classes de decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa? Para
668 responder o questionamento, foi realizado um inventário florestal em fragmento florestal
669 localizado na Fazenda Escola de Igarapé-Açu – FEIGA, pertencente a Universidade Federal
670 Rural da Amazônia – UFRA, localizada no município de Igarapé – Açu. A amostragem deste
671 trabalho foi em conglomerado, sendo distribuídas 30 parcelas em desenho de cruz de malta.
672 Foram quantificados os detritos florestais (árvores e galhos) acima de 5 cm de diâmetro que
673 cruzaram as linhas do inventário. Sendo mensurados e avaliados neste trabalho, os diâmetros
674 (cm), comprimento (m), a classe de decomposição e foram retiradas discos de madeira de 5 cm
675 de todos os níveis de decomposição para análises da densidade básica e o teor de umidade da
676 madeira. Para a análise estatística, o inventário foi calculado pelo método de ponderação. Os
677 dados de densidade e necromassa foram submetidos a normalidade e homocedasticidade pelo
678 teste de Shapiro Wilk, como não atenderam os pressupostos, foi realizado o teste de comparação
679 de média de Kruskal – Wallis. Os resultados apontam um volume médio por hectare de 5,24
680 m³.ha⁻¹. A estatística do inventário revelou um erro relativo de 22,21%. O teste de média de
681 Kruskal – Wallis, não apresentou significância. Os dados de densidade básica sofreram uma
682 diminuição com o aumento da decomposição, os teores de umidades aumentaram com o
683 aumento da densidade. Avaliando o estoque de necromassa pelas classes de ponderação da
684 densidade houve um pequeno decréscimo quando ocorre a classificação da densidade por classe
685 de decomposição. Dessa forma, esse estudo apresentou resultados importantes sobre uma
686 floresta secundária, trazendo características que poderão ser usadas futuramente. Visto que, a
687 falta de conhecimento sobre a situação da maioria das florestas secundárias amazônicas, em
688 relação a essas variáveis é evidente, ressaltando, assim, a necessidade de mais pesquisas sobre
689 o tema em florestas semelhantes para uma melhor compreensão.

690 **Palavras chave:** Inventário florestal, madeira em decomposição, Madeira morta, Densidade
691 básica da madeira.

692 **DETERMINING THE STOCK OF NECROMASS AS A FUNCTION OF THE BASIC**
693 **DENSITY OF WOOD IN NORTHEASTERN PARÁ, BRAZIL**

694
695

ABSTRACT

696 Necromass from forest dynamics plays an important role in biogeochemical and carbon cycles;
697 consequently, its quantification is essential. Several methods are used for its quantification.
698 Commonly, the basic density of wood is used in this estimate, however, in many cases, densities
699 from other studies are used. Given this scenario, this research arises with the following question:
700 how does the weighting of the basic density of wood, considering different classes of
701 decomposition, influence the estimate of the necromass stock? To answer this question, a forest
702 inventory was carried out in a forest fragment located at the Igarapé-Açu School Farm – FEIGA,
703 belonging to the Federal Rural University of the Amazon – UFRA, located in the municipality
704 of Igarapé-Açu. The sampling for this work was in conglomerate, with 30 plots distributed in a
705 Maltese cross design. Forest debris (trees and branches) over 5 cm in diameter that crossed the
706 inventory lines were quantified. In this study, the diameters (cm), length (m), decomposition
707 class and 5 cm wood discs were removed from all decomposition levels for analysis of basic
708 density and moisture content of the wood. For statistical analysis, the inventory was calculated
709 by the weighting method. The density and necromass data were subjected to normality and
710 homoscedasticity by the Shapiro Wilk test. As they did not meet the assumptions, the Kruskal-
711 Wallis mean comparison test was performed. The results indicate an average volume per hectare
712 of 5.24 m³.ha⁻¹. The inventory statistics revealed a relative error of 22.21%. The Kruskal-Wallis
713 mean test did not show significance. The basic density data decreased with increasing
714 decomposition, and moisture content increased with increasing density. Evaluating the
715 necromass stock by density weighting classes, there was a small decrease when the density was
716 classified by decomposition class. Thus, this study presented important results about a
717 secondary forest, bringing characteristics that can be used in the future. Since the lack of
718 knowledge about the situation of most Amazonian secondary forests, in relation to these
719 variables is evident, thus highlighting the need for more research on the subject in similar forests
720 for a better understanding.

721 **Keywords:** Forest inventory, Dead biomass, Basic density of wood.

722 1 INTRODUÇÃO

723 As florestas amazônicas maduras desempenham uma contribuição essencial na
724 mitigação do clima, atuando como sumidouros de carbono. Em paralelo a elas, as florestas
725 secundárias também possuem um papel significativo na redução da concentração dos gases do
726 efeito estufa (GEE), devido ao seu rápido crescimento, estocam grande quantidade de carbono
727 (Fearnside *et al.*, 2018). Estas áreas, que se encontram em expansão, ocupam uma extensão
728 territorial cada vez maior no bioma amazônico em detrimento ao uso e ocupação da terra (FAO,
729 1995; Pereira e Vieira, 2001; Chazdon *et al.*, 2016), tornando-se cada vez mais significativas
730 no contexto da mudança do clima. Além do crescimento, a mortalidade (necromassa) também
731 possui grande relevância no estoque de carbono. Pois a necromassa acima do solo pode
732 constituir uma fração significativa dos estoques totais de carbono nas florestas tropicais,
733 representando cerca de 10 a 20% do total (Houghton *et al.*, 2001).

734 A necromassa corresponde a elementos vegetais, como árvores mortas em pé ou caídas,
735 galhos, tronco, entre outros (Brown, 1997). A necromassa gerada pela dinâmica de crescimento
736 das florestas desempenham um papel importante nos ciclos biogeoquímicos e sua quantificação
737 precisa é essencial para refletir as mudanças no estoque de carbono ao longo do tempo,
738 reduzindo a incerteza sobre sua eficácia na mitigação das mudanças climáticas enquanto
739 estiverem presentes no ecossistema florestal (Cornwell *et al.*, 2009; Navarrete *et al.*, 2016;
740 Villanova *et al.*, 2019). A classificação em classes de decomposição, realizada nos
741 levantamentos de campo tem sido aplicada para aprimorar a quantificação da biomassa morta
742 nas florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence, 2006). Dessa forma, estudar a
743 necromassa no sistema é importante para a compreensão do funcionamento dos componentes
744 florestais, proporcionando percepções sobre a velocidade e a quantidade de produção de
745 estoque de carbono (Pauletto, 2006; Limeira *et al.*, 2020).

746 Ao realizar um inventário florestal para compreender melhor os benefícios que as
747 florestas proporcionam em termos de serviços ecossistêmicos (Reichstein e Carvalhais, 2019),
748 principalmente ao considerar o estoque de carbono disponível nos ecossistemas florestais. É
749 de suma importância a integração da necromassa florestal nos cálculos, pois a omissão desse
750 compartimento pode resultar na subestimação da quantidade real de carbono disponível no sítio
751 (Palace *et al.*, 2008). A quantificação da necromassa nos inventários florestais e o
752 desenvolvimento de métodos mais precisos, que facilite a medição e que seja eficiente contribui
753 significativamente para uma compreensão melhor da participação das florestas na dinâmica de
754 carbono e na mudança do clima (De Freitas *et al.*, 2019). Esse conhecimento é necessário para

755 o planejamento da produção florestal e tratamentos silviculturais, pois aponta informações
756 sobre quantidades, qualidades e distribuição dos produtos florestais (Caldentey, 1995)

757 A quantificação pode evidenciar o potencial de estocagem e a ciclagem de carbono nas
758 diferentes fases de decomposição de uma árvore. Dessa forma, sua classificação em níveis de
759 decomposição com base nos levantamentos de campo tem sido utilizada para melhor quantificar
760 a biomassa morta das florestas (Harmon *et al.*, 1995; Eaton e Lawrence, 2006), visando
761 melhorar o entendimento ecológico e gestão ambiental desses sítios, diversas técnicas podem
762 ser empregadas para essa quantificação, as mais conhecidas são denominadas de método direto
763 (destrutivo) e indireto (não destrutivo) (Watzlawick *et al.*, 2021). No método indireto a
764 avaliação leva em consideração a extrapolação de mensuração ao nível de parcela, tendo como
765 variáveis de obtenção, o diâmetro, altura e a densidade da madeira (Higa *et al.*, 2014). Essa
766 conversão da biomassa utilizando valores da densidade básica, sem a medição de campo, pode
767 levar a erros, visto que em muitos casos são utilizados valores encontrados na literatura
768 coletados em outros lugares (Harmon e Sexton, 1996).

769 Como supracitado, os estudos sobre o estoque da necromassa de árvores são de
770 fundamental importância para o entendimento do papel da floresta no balanço de carbono. A
771 quantificação pode evidenciar o potencial de estocagem e a ciclagem de carbono nas diferentes
772 fases de decomposição de uma árvore. Dessa forma, buscou-se responder *de que forma a*
773 *ponderação da densidade básica da madeira, considerando diferentes classes de*
774 *decomposição, influencia a estimativa do estoque de necromassa?* A pesquisa quantificou a
775 necromassa no reservatório lenhoso do material em decomposição no solo da floresta
776 combinando inventário florestal e valores de densidade básica da madeira, obtidos em
777 laboratório a partir amostras de material de campo, como parâmetros. Isso permitiu a
778 comparação de estimativas de estoque de necromassa em função dos diferentes valores médios
779 de densidade básica encontrados por compartimento de necromassa.

780

781 **2 MATERIAL E MÉTODO**

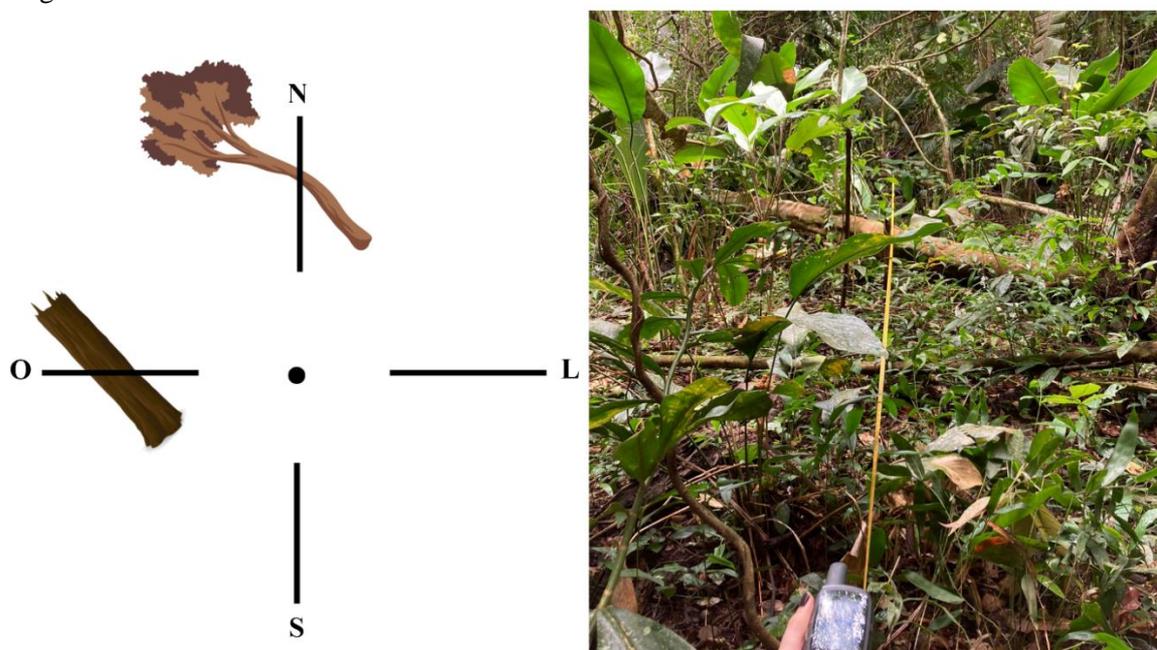
782 **2.1 Método e processo de amostragem**

783 O método de amostragem empregado foi o da linha interceptadora e o processo de
784 amostragem foi em conglomerados ($n = 30$). O desenho das linhas interceptadoras no
785 conglomerado segue o formato de “cruz de malta”, composto por quatro linhas de 15,71 metros
786 cada, seguindo o mesmo tamanho de linhas utilizado por Pellico Netto *et al.* (2018). As linhas
787 são direcionadas pelos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) com o auxílio do receptor de

788 sistema de posicionamento global por satélite (GPS) no modo bússola. As árvores mortas caídas
 789 ou galhos com diâmetro maior ou igual a 5 cm que foram interceptadas pela linha do
 790 conglomerado foram incluídas no inventário (Figura 1).

791 O processo de amostragem empregado foi por conglomerados em estágio único pelas
 792 proporções (Queiros, 2012). Os cálculos foram definidos com os seguintes critérios: O
 793 inventário composto por n conglomerados (C) estruturados com m subparcelas, que foram
 794 classificadas em duas categorias: C1 e C0. Admitindo que qualquer subparcela do
 795 conglomerado pertença a uma das duas categorias, C1 e C0, onde C1 corresponde às
 796 subparcelas que possuem o atributo desejado, ou seja, galhos e árvores e C0 definem os dados
 797 que não os possuem. Em seguida, foi determinada todas as estatísticas relevantes para o
 798 inventário florestal, como, média, variância, desvio padrão, variância da média, desvio padrão
 799 da média, erro padrão da média, intervalo de confiança para a média e erro de amostragem
 800 relativo e absoluta.

801 Figura 1 – Imagens ilustrativas do layout em cruz de malta com suas respectivas direções cardeais dos
 802 conglomerados utilizados na área de estudo.



803

804 Fonte: Autora (2024).

805

806 2.2 Critérios de inclusão

807 Para mensurar os indivíduos, alguns critérios em campo foram adotados, seguindo a
 808 metodologia de Van Wagner (1968). Registrou-se os diâmetros no mesmo ponto onde a linha
 809 amostral tocou o indivíduo (A); mediu-se quando a linha amostral cruzou a extremidade de um
 810 detrito e ao mesmo tempo o eixo central da peça (B); mensurou-se as duas bifurcações dos

811 indivíduos interceptados (C); se a linha cruzou exatamente na extremidade de uma peça,
 812 registrou-se apenas uma peça sim e a outra não (D) e foram ignorados quaisquer detritos cujo
 813 eixo central coincide com a linha-amostral (E) (Figura 2).

814 Figura 2 - Imagens representativas dos critérios de inclusão da necromassa florestal no inventário, onde:
 815 indivíduos inclusos (A), (B) e (C); indivíduos não inclusos (D) e (E).



816
 817 Fonte: Autora (2024).

818

819 2.3 Classes de decomposição de campo

820 Foram adotadas três classes de decomposição das árvores seguindo as categorias táctil-
 821 visuais e respostas mecânicas que representam, adaptado de Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.*
 822 (2016), sendo classificadas em três classes: a inicial (IN), a média (ME) e a avançada (AV)
 823 (Figura 3).

- 824 ● Inicial (A): deterioração não perceptível, árvores recentemente caídas, cor natural da
 825 madeira;
- 826 ● Média (B): deterioração na fase inicial, peças com leves sinais de ataques de agentes
 827 biológicos, coloração levemente escura e baixa resistência ao corte, lâmina entrando
 828 ligeiramente no fuste;
- 829 ● Avançada (C): estágio avançado de decomposição com peças quebradiças ou
 830 despedaçando ao toque, coloração escura e fuste se desfaz ou quebra em partes com
 831 cortes de facão.

832

833

834 Figura 3 – Classificação táctil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição, onde: classe
835 inicial (A); Classe média (B); classe avançada (C).



836
837
838

Fonte: Autora (2024).

839 2.4 Volume de necromassa

840 Para quantificar a necromassa estocada na área de estudo, inicialmente foi calculado o
841 volume. Para isso, foram medidos todos os diâmetros dos detritos lenhosos que cruzaram as
842 linhas dos conglomerados (diâmetro mínimo de inclusão - $DMI \geq 5$ cm) utilizando a Suta
843 Mantax Blue 1020 mm Haglof; Precisão: $e = 0,1$ cm) e seus comprimentos com uma trena de
844 caixa aberta de 50m (Figura 4). O diâmetro (\emptyset) consistiu na média de duas medidas ortogonais
845 do galho ou árvore morta no ponto da interceptação medidos com a suta. Em seguida, o volume
846 de galhos e árvores mortas caídas por unidade de hectare foi calculado pela Equação de Van
847 Wagner (1968), na qual são considerados o diâmetro da peça e o comprimento da linha, sendo:
848

$$849 \quad V_i = \pi^2 \cdot \frac{[d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_n^2]}{8L} \quad eq. (1)$$

850 onde,:

851 $V_i = \text{volume}(m^3 \cdot ha^{-1})$ estimado para o i -ésimo conglomerado, sendo $i = 1, 2, 3$ até 30;
852 $d_n = \text{diâmetro (cm)}$ do n -ésimo detrito lenhoso grosso (galho, fuste ou árvore morta)
853 interceptado pela a linha de amostragem; n é o número de detritos lenhosos grossos ($\emptyset \geq 5$ cm)
854 interceptados no conglomerado, e; $L = \text{soma do comprimento das linhas interceptadoras do}$
855 conglomerado (m).

856 Figura 4 – Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento com o uso da
857 trena, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.



858
859

Fonte: Autora (2024).

860

861 2.5 Teor de umidade e densidade básica da madeira

862 O cálculo da necromassa empregado no estudo depende da densidade básica das
863 madeiras mortas. Das mesmas árvores caídas inventariadas, discos de madeira foram coletados
864 na porção central dos indivíduos, sendo 8 de indivíduos da classe inicial ($n_{ni} = 8$), 7 da média
865 ($n_{mm} = 7$) e 11 da avançada ($n_{na} = 11$). A remoção de discos foi feita com o auxílio de uma
866 motosserra, os quais foram pesados no campo em estado natural para se avaliar a umidade da
867 madeira. Essas amostras foram armazenadas em sacos plásticos e levados para o Laboratório
868 de Tecnologia de Produtos Florestais - LTPF do Instituto de Ciências Agrárias - ICA da
869 Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

870 Para o teor de umidade, as amostras foram pesadas em estado natural para se obter o
871 peso úmido da madeira em seguida as amostras foram condicionadas em estufas de circulação
872 forçada sob temperatura de 105 °C para se obter a massa seca. Por fim, os cálculos foi seguindo
873 a fórmula:

$$874 \quad TU(\%) = \frac{PV-PS}{PS} \times 100 \quad eq. (3)$$

875 Onde:

876 TU= Teor de umidade, em %; PV= Peso verde, em g; PS= peso seco, em g.

877

878 No laboratório, ocorreu uma reclassificação de decomposição para melhor prever as
879 classes. Posteriormente, as amostras foram imersas em água destilada para saturação e posterior
880 registro de peso. O método de determinação do volume foi realizado com base no Princípio de
881 Arquimedes que estabelece a relação de igualdade de peso e volume. As amostras foram secadas
882 na estufa de circulação forçada sob temperatura de 105°C para a obtenção da massa seca. A
883 determinação da densidade básica da madeira foi realizada com base na Norma NBR da ABNT
884 (2003), que estabelece a relação entre a massa seca (M_s) e o volume da amostra saturada (V_s),
885 utilizando-se a fórmula:

886

$$887 \quad D_j = \frac{M_s}{V_{sat}} \quad eq. (4)$$

888

889 Onde:

890 D_j =densidade básica, $g.cm^{-3}$; M_s = Massa da madeira seca, em g; V_{sat} = Volume da madeira
891 saturada, em cm^3 .

892

893 Além da densidade básica calculada do material lenhoso encontrado na área de estudo,
894 foi realizado uma pesquisa bibliográfica da densidade básica de todas as espécies identificadas
895 na área de estudo realizado pelo Laboratório de mensuração e manejo dos recursos florestais
896 (LabFor), pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Para revisão das
897 densidades básicas em literatura (LE), foi utilizado o Google Acadêmico, Sites de recurso
898 florestais, Portal de Periódicos, Dissertações e Teses. Os trabalhos analisados nessa pesquisa
899 são estudos realizados no Estado do Pará.

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910 Figura 5 – Imagens ilustrativas da retirada dos discos de madeira nos indivíduos mortos e do processo
 911 para a obtenção da densidade básica da madeira, onde: Coleta em campo (A), decarcação para corte (B),
 912 corte das cunhas (C), saturação das amostras em água destilada (D), volume pelo método de arquimed
 913 (E) e sacagem das amostras em estufa (F).



914
 915 Fonte: Autora (2024).

916

917 2.6 Cálculo da necromassa

918 Para responder a pergunta científica que norteia esse capítulo, o cálculo genérico da
 919 necromassa (Pearson e Brown 1997) considerou o produto do volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) e com a
 920 densidade básica da madeira ($g \cdot cm^{-3}$). Como neste estudo, aprofundou-se o conhecimento sobre
 921 o valor de referência para a densidade básica da necromassa, sendo que, o cálculo considerou
 922 os diferentes níveis de decomposição, densidade da literatura e a densidade média os indivíduos
 923 mortos encontrados na área de estudo. Assim, a necromassa (N_j) foi obtida pelo produto entre
 924 volume de madeira e densidade em cada classe de decomposição:

$$925 \quad N_j = V_j \cdot Db_j \quad eq. (2)$$

926 onde:

927 N_j = necromassa, em $Mg \cdot ha^{-1}$, do j -ésimo de classe de decomposição, sendo a classe de
 928 decomposição $j=1$ é o inicial, $j=2$ a média e $j=3$ a avançada; V_j = volume para o conglomerado
 929 ($m^3 \cdot ha^{-1}$) e Db_j = valor de referência da densidade básica da madeira ($g \cdot cm^{-3}$) em cada classe
 930 de composição j .

931

932

933 2.6 Análise de dados

934 2.6.1 Estatísticas do inventário florestal

935 Para a análise do processo de amostragem foi utilizado o volume dos conglomerados
 936 em hectare como parâmetro. As estimativas foram calculadas utilizando a metodologia de
 937 Queiros (2012), que consiste em avaliar a estatística do inventário por proporção. As fórmulas
 938 utilizadas para os valores populacionais e estimadores se encontram abaixo:

939

940 a) Proporção estimada da média

941 Sendo:

$$942 \sum_{i=1}^n pi = \frac{ai}{M} \quad eq. (5)$$

943 Então:

$$944 p = \frac{\sum_{i=1}^n pi}{n} \quad eq. (6)$$

945

946 b) Variância da proporção estimada

947 Dado que:

$$948 \hat{y}(y) = \frac{\sum_{i=1}^n pi^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n pi)^2}{n}}{n - 1} \quad eq. (7)$$

949 Então:

$$950 \hat{y}(p) = \left(\frac{N - n}{N}\right) \frac{\hat{y}(p)}{n} \quad eq. (8)$$

951 c) Desvio padrão

$$952 s(p) = \sqrt{\hat{y}(p)} \quad eq. (9)$$

953

954 d) Intervalo de confiança para a proporção

$$955 IC = p \pm t \times s(p) \quad eq. (10)$$

956

957 Onde:

958 ai = número de subparcelas pertencente à categoria C1 no conglomerado de ordem i ; N =
 959 número total de conglomerados da população; n = número de conglomerados amostrado; M =
 960 número de subparcelas por conglomerado; pi = ai/M é proporção de subparcelas pertencentes à
 961 categoria C1 no conglomerado de ordem i .

962 *2.6.2 Estatísticas das densidades*

963 Os dados de densidade foram submetidos a normalidade e homocedasticidade pelo teste
 964 de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$) e Bartlett ($p \geq 0,05$), respectivamente. Como os dados não atenderam
 965 os pressupostos estipulado pelos testes, foi realizado o teste de comparação de média de
 966 Kruskal-Wallis ao nível de probabilidade de 95% ($\alpha = 0,05$), os procedimentos estatísticos
 967 foram com o auxílio do programa Rstudio.

968

969 *2.6.3 Estimativas de necromassa*

970 Para determinar um possível valor de referência na estimativa da necromassa florestal,
 971 usando a fórmula Pearson e Brown (1997) que leva em consideração a densidade básica da
 972 madeira, foram adotadas três classificações:

973 Tabela 1– Classificação das classes de ponderação para o cálculo de necromassa na área de estudo.

Classes	Determinação das classes de estimativa da necromassa florestal
I	Estimativa da necromassa com base no valor obtido a partir da média das densidades básica encontradas na literatura.
II	Estimativa da necromassa com base na densidade básica média dos indivíduos mortos na área de estudo.
III	Estimativa da necromassa com base no estoque contido em cada classe de decomposição.

974 Fonte: Autora (2024).

975

976 Para avaliar se há diferença entre as médias das classes de estimativa, primeiramente,
 977 os dados foram avaliados a normalidade e homocedasticidade pelo teste de Shapiro Wilk (p
 978 $\geq 0,05$) e Bartlett ($p \geq 0,05$), respectivamente. Como os dados não atenderam os pressupostos
 979 estipulado pelos testes, foi realizado o teste de comparação de média de kruskal-wallis ao nível
 980 de probabilidade de 95% ($\alpha = 0,05$).

981

982 **3 RESULTADOS**

983 **3.1 Estatística do inventário**

984 Na área de estudo, o volume médio encontrado foi de $5,24 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, com um desvio
 985 padrão de $0,57 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. O intervalo de confiança observado foi de $4,08 \pm 6,40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$,

986 representando um erro relativo de 22,21% (Tabela 2). Vale ressaltar que, entre os 30
 987 conglomerados instalados na área de estudo, dois não apresentaram registros de indivíduos. Ao
 988 avaliar o volume médio por hectare por classes de decomposição, foi observado que o maior
 989 quantitativo se encontra na classe avançada, totalizando 3,56 m³.ha⁻¹ (68,02%), seguida pela
 990 classe inicial com 1,10 m³.ha⁻¹ (20,92 %) e, finalmente, o menor valor na classe média, com
 991 0,58 m³.ha⁻¹ (11,06%).

992 Tabela 2– Estatísticas descritivas do inventário por conglomerados em estágio único pelas proporções
 993 do material lenhoso morto caído na área de estudo.

Estimativas do inventário	
Nº de unidades amostrais (n)	30
Volume médio (m ³ .ha ⁻¹)	5,24
Desvio Padrão (m ³ .ha ⁻¹)	0,57
Coeficiente de variação (%)	10,88
Erro de amostragem	
Absoluto (m ³ .ha ⁻¹)	1,16
Erro relativo (%)	22,21
Intervalo de confiança	4,08 ± 6,40

994 Fonte: autora (2024).

995

996 Nos 30 conglomerados amostrados foram encontrados 101 indivíduos entre galhos e
 997 árvores. Do total de necromassa mensurada 71 indivíduos (70,30 %) se encontram entre 5 a 15
 998 cm de diâmetro, dos quais 61,97 % corresponde a galhos e 38,03% a árvores. Nas classes 35 –
 999 45 e 55 – 65 cm foi registrado 1 (um) indivíduo em cada classe (Figura 6a). O volume médio
 1000 por hectare está distribuído em todas as classes de tamanho definido neste estudo. Destacando-
 1001 se a classe diamétrica entre 45 – 55 cm que apresentou maior volume médio por hectare,
 1002 totalizando 1,57 m³.ha⁻¹ (29,96%). Em seguida, a classe de 15 – 25 cm com 1,16 m³.ha⁻¹
 1003 (22,14%). A classe com a menor estimativa de volume foi entre 35 – 45 cm com apenas 0,26
 1004 m³.ha⁻¹. Somente nas classes iniciais entre 5 – 15 e 15 – 25 cm, encontra-se estoque de
 1005 necromassa correspondendo a galhos, representando um total de 0,82 m³.ha⁻¹ (15,65%) (Figura
 1006 6b).

1007

1008

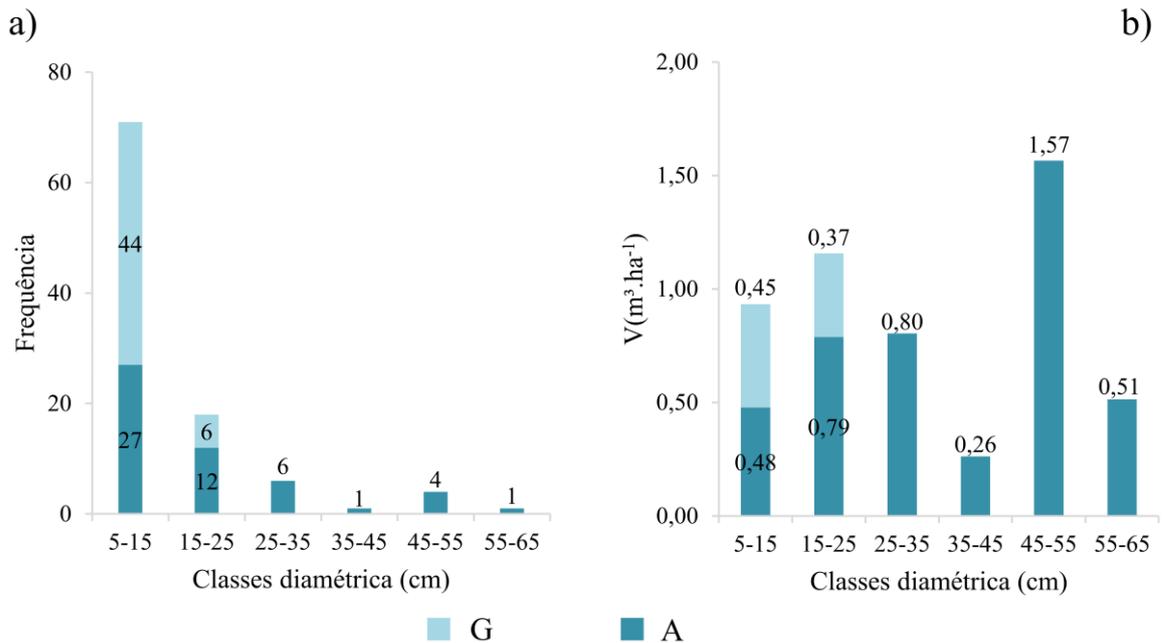
1009

1010

1011

1012

1013 Figura 6 – Distribuição da frequência do número de necromassa por classes diamétricas (cm) e Volume
 1014 médio ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) estimado de madeira morta caída por classe diamétrica e por tipo de necromassa, galhos
 1015 (G) e árvores (A), na área de estudo.
 1016



1017
 1018
 1019

Autora (2024).

1020 3.2 Densidade básica da necromassa

1021 A densidade básica da madeira em nível de comunidade arbórea foi em média de 0,52
 1022 +/- 0,13 $\text{g}.\text{cm}^{-3}$. Foi observado uma variação da densidade básica entre as classes de
 1023 decomposição, registrando-se redução à medida que a decomposição da madeira aumenta.
 1024 Comparando as densidades, entre a literatura (LE) e a *classe avançada* de decomposição, houve
 1025 uma variação de 0,12 $\text{g}.\text{cm}^{-1}$. No entanto, não foram encontradas diferenças estatísticas
 1026 significativas entre as variáveis avaliadas ($p\text{-valor} = 0$, o maior percentual 1668; $\alpha = 0,05$). Foi
 1027 também avaliado o teor de umidade das amostras coletadas. A classe de decomposição que
 1028 apresentou maior teor de umidade foi a *classe avançada* com 46,87%. Seguida da classe e média
 1029 e inicial, com 24,92 e 22,51%, respectivamente.

1030 Tabela 3 – Densidades básica e teor de umidade da literatura e por classe de decomposição da área de
 1031 estudo.

Variável	Frequência		Densidade básica ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)	Teor de umidade (%)
	N	n	Média e erro relativo	Média e erro relativo
LE	-	88	0,59 (53,81%)	-
IN	9	8	0,56 (64,08%)	22,51 (57,36%)
ME	10	7	0,52 (35,62%)	24,92 (56,65)

AV	82	11	0,47 (68,75%)	46,87 (236,54 %)
----	----	----	---------------	------------------

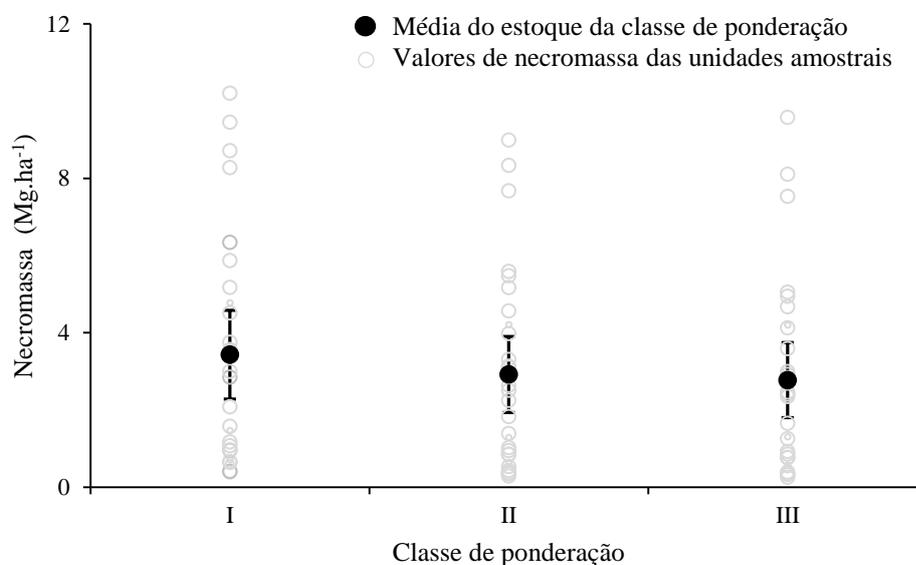
1032 LE: Literatura; IN: Classe Inicial; ME: Classe Média; AV: Classe Avançada; N: Número de indivíduos
 1033 inventariado na área de estudo; n: número de indivíduos amostrados para densidade.
 1034 Fonte: A autora (2024).

1035

1036 3.3 Estoque de necromassa

1037 Ao analisar as classes de ponderação, observou-se o seguinte comportamento: na classe
 1038 I, que considerou a densidade básica da literatura (LE), foi estimado um estoque médio de 3,20
 1039 Mg.ha⁻¹ (IC95%: 1,15 Mg.ha⁻¹). Na classe III, que ponderou a densidade específica de cada
 1040 classe de decomposição, foi estimado um estoque médio na área estuda de 2,59 Mg.ha⁻¹
 1041 (IC95%: 0,98 Mg.ha⁻¹). Essa diferença de 0,61 Mg.ha⁻¹ entre as classes, indica uma diminuição
 1042 quando ocorre a ponderação. No entanto, de acordo com a análise estatística, as médias da
 1043 necromassa estimada para a área de estudo, não foram estatisticamente significativas (*p*-valor
 1044 = 0,6488 $\alpha=0,05$). Portanto, a hipótese nula não foi rejeitada, indicando que não é necessário
 1045 ponderar a densidade básica quanto ao nível de decomposição para estimar o estoque de
 1046 necromassa florestal para essa floresta em estudo. A variação da amplitude média do estoque
 1047 da necromassa entre os conglomerados foi de 0,35 a 9,59 Mg.ha⁻¹ (Figura 7). É possível
 1048 observar no gráfico que a maior variação se encontra na classe de ponderação I, ocorrendo entre
 1049 0,39 a 10,20 Mg.ha⁻¹.

1050 Figura 7 – Estoque de necromassa médio por hectare pela ponderação da densidade básica em um
 1051 fragmento florestal secundário da Amazônia, onde: classe I representa o estoque pela media geral da
 1052 densidade básica da literatura, II pela densidade geral dos indivíduos da área de estudo e III pela
 1053 densidade pela ponderação das classes de decomposição.



1054

1055

1056

Fonte: Autora (2024).

1057

1058 **4 DISCUSSÃO**

1059 Para responder ao questionamento desta pesquisa, primeiramente, foram avaliadas
1060 características imprescindíveis da necromassa florestal, partindo das estimativas do inventário
1061 florestal. O método de linha interceptadora empregado nesse trabalho é comumente utilizado
1062 para inventariar a necromassa florestal caída, sendo o método mais barato e que melhor se
1063 adapta nessas condições (Van Wagner, 1968). Porém, ao analisar algumas pesquisas realizadas
1064 com esse método, percebem-se relativos elevados. Por exemplo, no estudo de Oliveira (2017)
1065 e por Deus *et al.* (2017), corroboram com os achados desta pesquisa. Os autores ressaltam a
1066 importância de mais estudos que levem em consideração maior número de unidades amostrais
1067 e linhas interceptadoras maiores, para diminuir os erros existentes nesse método (Oliveira,
1068 2017). Essa ressalva deve ser levada em consideração porque o volume de necromassa possui
1069 uma alta variação nas florestas, requerendo uma maior intensidade de amostragem para obter
1070 estimativas mais precisas (Woldendorp *et al.*, 2004).

1071 Notou-se, a partir do inventário florestal, que a distribuição diamétrica dos indivíduos
1072 segue uma disposição exponencial negativa ou J-reverso. Semelhante a encontradas em
1073 pesquisas realizadas por Ribeiro *et al.* (2012), em uma floresta Ombrofila mista e De Freitas *et*
1074 *al.* (2019), em uma floresta não manejada e manejada na Amazônia central, corroborando assim
1075 os resultados deste estudo. Dessa forma, podemos inferir que essa característica pode ser
1076 comum em diversas fisionomias florestais brasileiras. Essa característica advém principalmente
1077 da mortalidade de indivíduos pequenos, que é atribuída a competição por luz, nutriente e água
1078 no período de seu desenvolvimento inicial (Franklin *et al.*, 1987). Além disso, foi possível
1079 observar um número expressivo de galhos mensurados, refletindo o mesmo achado de Ribeiro
1080 *et al.* (2012). Ainda segundo o autor, isso se deve à queda de galhos ser mais frequente que a
1081 queda de árvores, já que a queda de galhos pode ser facilmente facilitada por chuvas intensas e
1082 ventos fortes (Reis *et al.*, 2022).

1083 Apesar da baixa mortalidade de indivíduos arbóreos com diâmetro maior que 25 cm, o
1084 volume médio por hectare de madeira morta acima dessa classe representou um total de 59,92%
1085 da necromassa produzida. Este resultado advém da relação diâmetro com a biomassa produzida
1086 pela floresta, já que árvores maiores contêm boa parte da biomassa florestal acima do solo (Lutz
1087 *et al.*, 2018), contribuindo significativamente para a dinâmica da biomassa e para o balanço do
1088 carbono (Mcdowell *et al.*, 2020). Essa característica se mostrou peculiar, diferente dos

1089 resultados de Maas (2015), em que apresentou a maior concentração de volume na classe inicial
1090 entre 10 – 20 cm de diâmetro. Woldendorp *et al.*, (2002) afirma que a necromassa tende a ser
1091 mais abundante nas classes iniciais e menos frequentes nas maiores classes de distribuição,
1092 contrapondo estes achados. Um fator que pode ajudar a explicar esses achados é que, nesse
1093 estudo, foram avaliados indivíduos (galhos e árvore) com diâmetro a partir de 5 cm, que são
1094 considerados pequenos, o que diminuir o volume nas classes iniciais da distribuição diamétrica,
1095 uma vez que a amplitude da variação do volume nos conglomerados depende do limite do
1096 diâmetro mínimo de inclusão das árvores e galhos (Cardoso *et al.*, 2013)

1097 Quando avaliando o volume por classe de decomposição foi observado que na classe
1098 avançada se encontra o maior volume estocado de necromassa. Resultados semelhantes também
1099 foram encontrados nas pesquisas realizadas por, Deus *et al.* (2017), Oliveira, (2017), Villanova
1100 *et al.* (2019), Neumann *et al.* (2023). Esse resultado, segundo Maas (2015), é esperado, pois,
1101 material lenhoso de mais difícil decomposição, como o cerne, permanece por mais tempo no
1102 interior das florestas, assim se tornando mais fácil a detecção dessa classe nos inventários
1103 florestais. Fonte *et al.*, (2018) realça a importância de inventários florestais mais frequentes
1104 para monitorar com maior precisão a mortalidade dos indivíduos, conseqüentemente, uma
1105 melhor compreensão de dinâmica da necromassa no sistema, principalmente para o balanço do
1106 carbono (De Freitas *et al.*, 2019). A decomposição da matéria orgânica influencia fortemente o
1107 armazenamento de carbono no ecossistema (Wieder *et al.*, 2013) e a análise volumétrica é
1108 imprescindível para se calcular o real estoque de necromassa e posteriormente de carbono.

1109 A redução da necromassa com o aumento da decomposição está diretamente ligada com
1110 a redução da densidade básica (Moreira *et al.*, 2019; Shorohova *et al.*, 2022), que corrobora
1111 estes achados, no qual houve redução da densidade entre as classes de decomposição, apesar de
1112 não ser estatisticamente significativa. Essa redução pode ser atribuída a diversos fatores, como
1113 a região, a espécie, decompositores e também a posição da necromassa no sítio (em pé ou
1114 caída) (Harmon, 2021). Características como o teor de água da madeira também podem ser
1115 determinantes para a decomposição da madeira (Di Cosmo *et al.*, 2013), uma vez que o aumento
1116 da umidade contribui para aumento na taxa de respiração microbiana, o que facilita o aumento
1117 da decomposição (Chambers *et al.*, 2001), logo ocorrendo a redução do estoque de necromassa
1118 florestal no ambiente. Estes achados indicam um aumento do teor de umidade à medida que a
1119 densidade diminui, indicando que a relação dessas variáveis são inversamente proporcionais
1120 (Di Cosmo *et al.*, 2013). Logo, pode-se inferir que em ambientes úmidos a redução da biomassa
1121 morta deve ser maior.

1122 Quando se levou em consideração a ponderação da densidade básica e a densidade da
1123 literatura (LE) para o cálculo da necromassa não houve diferença significativa entre as médias
1124 analisadas. Dessa forma, não rejeitamos a hipótese nula dessa pesquisa. Embora nesse resultado
1125 não tenha revelado diferença significativa para o componente necromassa, os dados sugerem
1126 valores mais baixos para seu estoque quando ocorre a ponderação da densidade básica da
1127 madeira morta. Assim, os valores encontrados utilizando a densidade do material lenhoso
1128 podem ser considerados mais adequados e realistas para área estudada. Oliveira (2017) em sua
1129 pesquisa ressalta a importância da densidade básica por classe de decomposição a fim de se
1130 obter resultados mais seguros em relação à quantificação da necromassa. A necromassa
1131 florestal, contida no interior das florestas, além de ser um importante reservatório de carbono,
1132 serve também como de insumos de matéria orgânica e nutrientes para o solo (Maas *et al.*, 2021),
1133 sendo de suma importância sua quantificação. Geralmente, o estoque é quantificado por meio
1134 de estimativa, usando valores de densidade da madeira morta fornecidos por estudo anteriores
1135 da mesma área (Di Cosmo *et al.*, 2013). Vale ressaltar a importância de se realizar amostragens
1136 com densidade da própria área estudada. Além disso, pesquisas futuras também devem se
1137 concentrar na análise da densidade básica ao nível de espécie, visto que, esse fator possui
1138 notória influência nas propriedades físico-químicas da madeira (Chao *et al.*, 2017; Moreira *et*
1139 *al.*, 2019).

1140

1141 5 CONCLUSÃO

- 1142 • A estimativa da necromassa a partir da amostragem empregada revelou-se dentro do
1143 esperado conforme a literatura;
- 1144 • Adequações são necessárias para melhor capturar a variabilidade da madeira morta em
1145 uma floresta secundária na Amazônia;
- 1146 • Diferença encontrada na densidade básica da madeira nos níveis de decomposição
1147 sugere uma estimativa mais fidedigna do estoque de necromassa;
- 1148 • Análises podem revelar características importantes para entender o balanço do carbono
1149 em florestas secundárias da Amazônia.

1150

1151 REFERÊNCIAS

1152 ARCO-VERDE, M. F. **Potencialidades e Usos da *Acacia mangium* Willd no estado de**
1153 **Roraima**. Boa Vista, Roraima, 2002.

- 1154 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food
1155 e Agriculture Org., 1997.
- 1156 CALDENTEY, J. Acumulacion de biomasa en rodales naturales de *Nothofagus pumilio* en
1157 Tierra del Fuego, Chile. **Investigacion Agraria. Sistemas y Recursos Forestales**, v. 4, 1995.
- 1158 CARDOSO, Denise Jeton *et al.* Determinação do comprimento ótimo de transectos para
1159 estimativa de necromassa floresta. 2013.
- 1160 CARNEIRO, F. da S *et al.* **Densidade da madeira de espécies florestais de quatro áreas**
1161 **experimentais da Amazônia Oriental brasileira**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.
- 1162 CHAMBERS, Jeffrey Q.; SCHIMEL, Joshua P.; NOBRE, Atonio D. Respiration from coarse
1163 wood litter in central Amazon forests. **Biogeochemistry**, v. 52, p. 115-131, 2001.
- 1164 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody
1165 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 1166
1167 Cornwell, W. K.; Cornelissen, J. H. C.; Allison, S. D.; Bauhus, J.; Eggleton, P.; Preston, C. M.;
1168 Scarff, F.; Weeden, J.T.; Wirth, C.; Zanne, A.E. Plant traits and wood fates across the globe:
1169 Rotted, burned, or consumed? **Glob. Chang. Biol.** 2009, 15, 2431–2449.
- 1170
1171 DE FREITAS, Filipe Campos; DE AZEVEDO, Celso Paulo; DE SOUZA, Cintia Rodrigues.
1172 Estoque de necromassa em floresta não manejada e floresta manejada na Amazônia Central.
1173 2019.
- 1174 DEUS, K. H. P. *et al.* LINHA INTERCEPTADORA NA QUANTIFICAÇÃO DE
1175 NECROMASSA EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA. In: ALFARO,
1176 A. T. S.; TROJAN, D. G. (Org.). Descobertas das Ciências Agrárias e Ambientais 3. Belo
1177 Horizonte/MG. Atena Editora, 2017, p. 241-253.
- 1178 DI COSMO, L. *et al.* Deadwood basic density values for national-level carbon stock estimates
1179 in Italy. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p. 51-58, 2013.
- 1180 EATON, James M.; LAWRENCE, Deborah. Woody debris stocks and fluxes during succession
1181 in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 232, n. 1-3, p. 46-55, 2006.
- 1182 FEARNSIDE, Philip M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's
1183 significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18, p. 47-61, 2018.
- 1184 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and
1185 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**
1186 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 1187 FRANKLIN, Jerry F.; SHUGART, Herman H.; HARMON, Mark E. Tree death as an
1188 ecological process. **BioScience**, v. 37, n. 8, p. 550-556, 1987.
- 1189 GAGLIOTI, A. L. *et al.* **Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Mapati (*Pourouma***
1190 ***guianensis* Aubl. – Urticaceae)**. vol.. 1. ed. Belém, PA: Embrapa, 2013.
- 1191 HARMON, Mark E. *et al.* Decomposition and mass of woody detritus in the dry tropical forests
1192 of the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. **Biotropica**, p. 305-316, 1995.

- 1193 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and
1194 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1195 HARMON, Mark E.; SEXTON, Jay. Guidelines for measurements of woody detritus in forest
1196 ecosystems. 1996.
- 1197 HIGA, Rosana Clara Victoria *et al.* Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono
1198 florestal. **Colombo: Embrapa Florestas**, v. 1, 2014.
- 1199 LABORATÓRIO de Produtos Florestais: banco de dados. Disponível em:
1200 <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- 1201 LIMA, I. L. de *et al.* **Caracterização das propriedades mecânicas da madeira de clones de**
1202 **Hevea brasiliensis (Willd. Ex ADR.). Scientia forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-12, 2020.
- 1203 LIMEIRA, M. M.; BARBOSA, R. S.; GANASSOLI NETO, E.; COELHO, M. C. B.;
1204 VARAVALLO, M. A.; BARILLI, J.; SILVA, M. V. C.; ERPEN, M. L. Carbono, peso e volume
1205 de necromassa lenhosa em área de Plano de manejo florestal. **Revista Forestal**
1206 **Mesoamericana Kurú** (Julio-Diciembre, 2020).
- 1207 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas**
1208 **nativas do Brasil**, vol. 1 .ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016.
- 1209 LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas**
1210 **nativas do Brasil**, vol. 2. ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2016.
- 1211 LUTZ, James A. *et al.* Global importance of large-diameter trees. **Global Ecology and**
1212 **Biogeography**, v. 27, n. 7, p. 849-864, 2018.
- 1213
- 1214 MAAS, G. C. B. Compartimentação do estoque de carbono em floresta ombrófila mista. 2015.
1215 172 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias,
1216 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2015.
- 1217
- 1218 MAAS, Greyce CB *et al.* Combining sample designs to account for the whole necromass carbon
1219 stock in Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 40, n. 7, p. 639-655,
1220 2021.
- 1221 MACHADO, H. B. **Caracterização do potencial madeireiro de uma floresta intensamente**
1222 **explorada no sudeste paraense**. Belém, PA, 2021.
- 1223 MARGALHO, L. F. *et al.* **Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Axixá [*Sterculia***
1224 ***pruriens* (Aubl.) K. Schum.- Malvaceae]**. vol. 1. ed. Belém, PA: Embrapa, 2014.
- 1225 MCDOWELL, Nate G. *et al.* Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. **Science**,
1226 v. 368, n. 6494, p. eaaz9463, 2020.
- 1227
- 1228 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood
1229 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**
1230 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.

- 1231 MOREIRA, Andréa B.; GREGOIRE, Timothy G.; DO COUTO, Hilton Thadeu Z. Wood
1232 density and carbon concentration of coarse woody debris in native forests, Brazil. **Forest**
1233 **Ecosystems**, v. 6, p. 1-10, 2019.
- 1234 NAVARRETE, Diego *et al.* Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon
1235 leads to differences in dead wood dynamics depending on land management practices. **Journal**
1236 **of environmental management**, v. 171, p. 42-51, 2016.
- 1237
1238 NEUMANN, Mathias; ECHEVERRIA, Sebastian; HASENAUER, Hubert. A simple concept
1239 for estimating deadwood carbon in forests. **Carbon Management**, v. 14, n. 1, p. 2197762,
1240 2023.
- 1241
1242 OLIVEIRA, K. A. **Necromassa lenhosa e carbono em florestas no centro-sul, sudeste e**
1243 **centro ocidental paranaense. 2017. 68 f.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia
1244 Florestal: Área de Concentração em Manejo Florestal) –Universidade Federal do Paraná,
1245 Curitiba.
- 1246
1247 PALACE, Michael; KELLER, Michael; SILVA, Hudson. Necromass production: studies in
1248 undisturbed and logged Amazon forests. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 873-884, 2008.
- 1249
1250 PAULETTO, D. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta**
1251 **submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste do Mato Grosso.** Mestrado em
1252 Manejo Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2006.
- 1253
1254 PELLICO NETTO, Sylvio *et al.* Sampling system for estimating woody debris in an urban
mixed tropical forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3769-3780, 2018.
- 1255
1256 PHILLIPS, Oliver L.; BRIENEN, Roel JW; RAINFOR COLLABORATION. Carbon uptake
1257 by mature Amazon forests has mitigated Amazon nations' carbon emissions. **Carbon Balance**
1258 **and Management**, v. 12, p. 1-9, 2017.
- 1259
1260 REICHSTEIN, Markus; CARVALHAIS, Nuno. Aspects of forest biomass in the earth system:
Its role and major unknowns. **Surveys in Geophysics**, v. 40, p. 693-707, 2019.
- 1261
1262 REIS, Simone M. *et al.* Climate and crown damage drive tree mortality in southern Amazonian
edge forests. **Journal of Ecology**, v. 110, n. 4, p. 876-888, 2022.
- 1263
1264 REMADE: Madeiras bolivianas e exóticas. Disponível em: <https://www.remade.com.br>.
Acesso em: 20 de Janeiro de 2024.
- 1265
1266 RIBEIRO, Andressa *et al.* Proposta metodológica para realização de um inventário florestal de
1267 necromassa: um estudo de caso Proposed methodology for implementation of coarse woody
debris forest inventory: a case study.
- 1268
1269 ROBERTO, R. L. **Densidade da madeira, biomassa aérea e estoque de carbono de árvores**
1270 **em três fitofisionomias da transição Cerrado-Amazônia, Brasil.** Nova Xantina, Mato
Grosso, 2014.
- 1271
1272 SHOROHOVA, Ekaterina *et al.* Coarse woody debris density and carbon concentration by
decay classes in mixed montane wet tropical forests. **Biotropica**, v. 54, n. 3, p. 635-644, 2022.

- 1273 SILVA, F. da. **Métodos não destrutivos como ferramenta de apoio aos planos de manejo**
1274 **florestal sustentado na Amazônia.** Manaus, AM, 2012.
- 1275 THE brazilian plantfinder. Disponível em: <https://www.rewild-brazil.org>. Acesso
1276 em: 20/10/2023.
- 1277 TROVÃO, J. V. de C. **Uso de Método não Destrutivo para Determinar Densidade Básica**
1278 **de Madeira Caída da Reserva Biologia Abufari–Tapauá–AM.** In: III Congresso de Iniciação
1279 Científica do INPA-CONIC. 2014.
- 1280 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,
1281 n. 1, p. 20-26, 1968.
- 1282 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,
1283 n. 1, p. 20-26, 1968.
- 1284 VILLANOVA, P. H *et al.* Necromass carbon stock in a secondary atlantic forest fragment in
1285 Brazil. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 833, 2019.
- 1286 Watzlawick, L. F.; Lorini, A.; Sens, T. M. Z. G.; Schran, J. A. **Conceitos e conhecimentos de**
1287 **métodos e técnicas de pesquisa científica em engenharia florestal:** Análise e quantificação
1288 da necromassa em floresta ombrófila mista. Ponta Grossa – Paraná. Atena. 2021. 132 p.
- 1289 WOLDENDORP, G. *et al.* An analysis of sampling methods for coarse woody debris in
1290 Australian forest ecosystems. **A report for the national greenhouse strategy, Module**, v. 6,
1291 2002.
- 1292
1293 WOLDENDORP, G. *et al.* Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest**
1294 **ecology and management**, v. 198, n. 1-3, p. 133-148, 2004.

1295 APÊNDICE

1296 Tabela 4 – Lista de espécies e suas densidades básica da madeira da área de estudo encontradas na literatura.

Nome científico	Nome Popular	Família botânica	Densidade básica (g/cm ³)	Fonte
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz e Pav.) Radlk.	Abiu seco	Sapotaceae	0,92	Lorenzi (2016); Machado (2021).
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Abiurana	Sapotaceae	0,83	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Acácia mãe	Mimosaceae	0,56	Arco-Verde (2002).
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Amaparana	Anacardiaceae	0,74	Lorenzi (2016).
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Ananí	Guttiferae	0,58	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	Meliaceae	0,56	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K.Schum.	Axixá	Malvaceae	0,50	Margalho <i>et al.</i> (2014).
<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. e Triana) Zappi	Bacurí parí	Clusiaceae	0,67	The Brazilian Plantfinder (2023).
<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) Marchand	Breu Branco	Burseraceae	0,54	Machado (2021).
<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Breu de Leite/Amaparana	Anacardiaceae	0,54	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Breu Preto	Burseraceae	0,55	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart.	Breu Sucuruba	Burseraceae	0,50	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Protium altsonii</i> Sandwith	Breu vermelho	Burseraceae	0,49	Machado (2021).
<i>Ormosia coutinhoi</i> Ducke	Buiuçu/Tento fl. grande	Fabaceae	0,58	Caneiro <i>et al.</i> (2020).

<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Burra leitera	Euphorbiaceae	0,40	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Anacardium giganteum</i> W.Hancock ex Engl	Cajú Açú	Anacardiaceae	0,38	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Eugenia patrisii</i> Vahl	Comida de jabuti	Myrtaceae	0,77	Machado (2021).
<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	Comida de Pipira	Lacistemataceae	0,51	Machado (2021).
<i>Dipteryx odorata</i> Willd.	Cumarú	Fabaceae	0,91	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Taralea oppositifolia</i> Aubl.	Cumarúrana	Fabaceae	0,92	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Willd. ex Spreng.) K.Schum.	Cupuaçú	Malvaceae	0,55	Lorenzi (2016).
<i>Cecropia palmata</i> Willd.	Embaúba branca	Urticaceae	0,34	Machado (2021).
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Embaúba vermelha	Urticaceae	0,34	Machado (2021).
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	Embaúbão	Urticaceae	0,36	Gaglioto <i>et al.</i> (2013).
<i>Duguetia cauliflora</i> R.E.Fr.	Envira	Annonaceae	0,78	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Duguetia marcgraviana</i> Mart.	Envira biribá	Annonaceae	0,69	Roberto (2014).
<i>Annona exsucca</i> DC.	Envira Bobó	Annonaceae	0,52	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Guatteria punctata</i> (Aubl.) R.A.Howard	Envira preta	Annonaceae	0,51	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Enviracana/Embirira	Annonaceae	0,61	Machado (2021).
<i>Ouratea castaneifolia</i>	Farinha seca	Ochnaceae	0,66	Machado (2021).
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Fava orelha de negro	Mimosaceae	0,84	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Parkia nitida</i> Miq.	Faveira benguelê	Mimosaceae	0,42	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Freijó Branco	Boraginaceae	0,45	Roberto (2014).

<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó Cinza	Boraginaceae	0,48	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Amphiodon effusus</i> Huber	Gema de ovo	Fabaceae	0,81	Machado (2021).
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Guaçatonga	Salicaceae	0,52	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz e Pav.	Guariúba	Moraceae	0,60	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	Inajá	Arecaceae	0,33	Machado (2021).
<i>Inga cinnamomea</i> Spruce ex Benth.	Ingá Açú	Fabaceae	0,52	Lorenzi (2016).
<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá cipó	Fabaceae	0,76	Lorenzi (2016).
<i>Inga capitata</i> Desv.	Ingá feijão	Fabaceae	0,56	Machado (2021).
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Ingá vermelho	Mimosaceae	0,62	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Inga heterophylla</i> Willd.	Ingá xixica	Mimosaceae	0,56	Machado (2021).
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Inharé	Moraceae	0,86	Machado (2021).
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Ipê amarelo	Bignoniaceae	0,89	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Macrolobium angustifolium</i> (Benth.) R.S.Cowan	Ipê de Várzea/Iperana	Fabaceae	0,68	Machado (2021).
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Jarana	Lecythidaceae	0,85	Machado (2021).
<i>Neea floribunda</i> Poepp. e Endl.	João Mole	Nyctaginaceae	0,62	Machado (2021).
<i>Ocotea guianensis</i> Aubl.	Louro Prata	Lauraceae	0,70	Silva (2012).
<i>Ocotea costulata</i> (Nees) Mez	Louro rosa	Lauraceae	0,48	Remade (2023).
<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Mamorana da terra firme	Malvaceae	0,41	Machado (2021).

<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Maracaximbé/Faia	Metteniusaceae	0,74	Remade (2023).
<i>Croton matourensis</i> Aubl.	Maravuvúia	Euphorbiaceae	0,39	Machado (2021).
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá	Simaroubaceae	0,38	Machado (2021).
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori	Matamatá branco	Lecythidaceae	0,73	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	Matamatá preto	Lecythidaceae	0,76	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) <i>Maguire, Steyerm. eamp;</i>	Morototó	Araliaceae	0,41	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C.C.Berg	Muiratinga	Moraceae	0,57	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Enterolobium timbouva</i> <i>Mart.</i>	Orelha de Negro	Fabaceae	0,42	Richter e Dallwitz (2019).
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	Pará pará	Bignoniaceae	0,31	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Stryphnodendron</i> <i>pulcherrimum</i> (Willd.) <i>Hochr.</i>	Paricarana	Fabaceae	0,48	Machado (2021).
<i>Casearia arborea</i> (Rich.) <i>Urb.</i>	Passarinheira	Salicaceae	0,52	Machado (2021).
<i>Margaritaria nobilis</i> L. F.	Pau Branco	Phyllanthaceae	0,64	Machado (2021).
<i>Tapura guianensis</i> Aubl.	Pau de bicho	Dichapetalaceae	0,58	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	Pau de cobra	Ochnaceae	0,66	Machado (2021).
<i>Lacmellea aculeata</i> (Ducke) <i>Monach.</i>	Pau de colher	Apocynaceae	0,51	Machado (2021).

<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	Pau jacaré	Flacourtiaceae	0,68	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	Pente de macaco	Tiliaceae	0,36	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Ambelania acida</i> Aubl.	Pepino do Mato	Apocynaceae	0,47	Machado (2021).
<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Piquiarana	Caryocaraceae	0,61	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Vochysia maxima</i> Ducke	Quaruba rosa	Vochysiaceae	0,49	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Geissospermum sericeum</i> Miers	Quinarana	Apocynaceae	0,78	Machado (2021).
<i>Abarema jupunba.</i> (Willd.) Britton e Killip	Saboeira	Fabaceae - Mimosoideae	0,78	Lorenzi (2016).
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Sapucaia	Lecythidaceae	0,86	Machado (2021).
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Seringueira	Euphorbiaceae	0,45	Lima <i>et al.</i> (2020).
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Sucupira Amarela	Fabaceae	0,85	Machado (2021).
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	Sucuúba	Apocynaceae	0,33	Trovão (2014).
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Tatapiririca	Anacardiaceae	0,49	Lorenzi (2016).
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Tauarí	Lecythidaceae	0,65	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva e H.C.Lima	Taxí Branco	Fabaceae	0,55	Machado (2021).
<i>Tachigali myrmecophila</i> (Ducke) Ducke	Taxí Preto	Caesalpinaceae	0,56	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Ormosia excelsa</i> Benth.	Tento Amarelo	Fabaceae	0,74	Roberto (2014).
<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes	Timborana	Fabaceae	0,72	Machado (2021).

<i>Astrocaryum aculeatum</i> G.Mey.	Tucumã	Arecaceae	0,51	Machado (2021).
<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Ucuúba de várzea	Myristicaceae	0,38	Laboratório de Produtos Florestais (2023).
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	Ucuubarana	Myristicaceae	0,67	Carneiro <i>et al.</i> (2020).
<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) A.St.-Hil.	Umirí	Humiriaceae	0,68	Remade (2023).
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	Uxirana	Humiriaceae	0,77	Machado (2021).

1298 **TAMANHOS DE ÁRVORES E MODOS DE MORTE EM UMA FLORESTA**
1299 **SECUNDÁRIA NO NORDESTE DO PARÁ, BRASIL**

1300 *(Submetido: Cerne, Qualis B1)*

1301 **RESUMO**

1302 A dinâmica dos ecossistemas é uma característica básica que mantém o equilíbrio
1303 florestal, preservando sua estrutura e sua composição ao longo do tempo, incluindo os
1304 componentes de crescimento, recrutamento e mortalidade. Sendo a mortalidade das árvores um
1305 processo importante e complexo nos ecossistemas florestais, compreender completamente
1306 como os indivíduos morrem e seus efeitos na comunidade e no ecossistema ainda é um desafio.
1307 Esse desafio é maior pelas lacunas ainda existentes em florestas secundárias. O objetivo da
1308 pesquisa foi investigar como as árvores estão morrendo em um fragmento de floresta secundária
1309 no município de Igarapé-Açu, no nordeste Paraense. O estudo foi realizado na fazenda escola
1310 de Igarapé-Açu, pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia. A amostragem
1311 conduzida foram linhas interceptadoras em conglomerado, sendo distribuídas 30 pontos em
1312 desenho de cruz de malta. Foram quantificados e mensurados todos os detritos florestais
1313 (árvores e galhos) com diâmetro igual ou superior a 5 cm interceptados pelas linhas do
1314 inventário. Para cada registro de madeira morta, foi adquirido devidamente os diâmetros (cm),
1315 comprimento (m), a direção de queda (N, S, L e O), os modos de morte (Quebrado ou Raízes
1316 expostas), a classe de decomposição e a distância mais perto da borda do fragmento, atrelada
1317 ao ponto central do arranjo da unidade amostral. Para avaliar a frequência e identificar a
1318 uniformidade com as variáveis respostas, foi aplicado o teste de Rayleigh para direção de queda,
1319 qui-quadrado (χ^2) para modo de morte e classe de decomposição e a correlação de Spearman
1320 para o efeito de borda. Foram quantificados 50 galhos e 51 árvores mortas. Não houve
1321 influência na incidência de madeira morta devido aos modos de morte e à distância da borda,
1322 mas é significativa nas classes de decomposição e direção de queda. Dessa forma, conclui-se
1323 que o tamanho das árvores podem influenciar seu modo de morte e a direção de queda. A
1324 mortalidade nessa floresta é complexa e pode ser afetada por fatores abióticos e bióticos. Os
1325 resultados indicam a necessidade de métodos amostrais mais adequados para entender essa
1326 variabilidade.

1327

1328 **Palavras-chave:** Detritos florestais, Dinâmica florestal, Amazônia.

1329

1330 **TREE SIZES AND MODES OF DEATH IN A SECONDARY FOREST IN**
1331 **NORTHEASTERN PARÁ, BRAZIL**

1332
1333 **ABSTRACT**

1334 Ecosystem dynamics is a basic characteristic that maintains forest equilibrium, preserving its
1335 structure and composition over time, including the components of growth, recruitment and
1336 mortality. Since tree mortality is an important and complex process in forest ecosystems, fully
1337 understanding how individuals die and their effects on the community and ecosystem is still a
1338 challenge. This challenge is compounded by the gaps that still exist in secondary forests. The
1339 aim of this research was to investigate how trees are dying in a fragment of secondary forest in
1340 the municipality of Igarapé-Açu, in northeastern Pará. The study was carried out at the Igarapé-
1341 Açu school farm, which belongs to the Federal Rural University of Amazonia. The sampling
1342 was carried out using conglomerate interceptor lines, with 30 points distributed in a Maltese
1343 cross design. All forest debris (trees and branches) with a diameter of 5 cm or more intercepted
1344 by the inventory lines were quantified and measured. For each record of dead wood, diameters
1345 (cm), length (m), direction of fall (N, S, L and O), mode of death (Broken or Roots exposed),
1346 decomposition class and the closest distance to the edge of the fragment, linked to the central
1347 point of the sampling unit, were duly acquired. To assess frequency and identify uniformity
1348 with the response variables, the Rayleigh test was applied for direction of fall, chi-square (χ^2)
1349 for mode of death and decomposition class and Spearman's correlation for edge effect. Fifty
1350 branches and 51 dead trees were quantified. There was no influence on the incidence of dead
1351 wood due to mode of death and distance from the edge, but it was significant for decomposition
1352 classes and direction of fall. It can therefore be concluded that the size of trees can influence
1353 their mode of death and direction of fall. Mortality in this forest is complex and can be affected
1354 by abiotic and biotic factors. The results indicate the need for more appropriate sampling
1355 methods to understand this variability.

1356
1357 **Keywords:** Forest debris, Forest dynamics, Amazon.
1358

1359 1 INTRODUÇÃO

1360 Os processos da dinâmica florestal incluem a regeneração, o crescimento e a
1361 mortalidade e são de extrema importância para o equilíbrio florestal (Dajoz, 2006; Colpini *et*
1362 *al.*, 2010). A mortalidade, dentro desse contexto, tem ganhando destaque em decorrência da
1363 mudança do clima, uma vez que alterações climáticas aumentam as tensões nas florestas e isso
1364 afeta negativamente os indivíduos arbóreos (Piponiot *et al.*, 2022). As mortes dos indivíduos
1365 podem ser por diversos fatores, tanto externo (distúrbio ou causas ambientais) como interno
1366 (genético ou fisiológico) (Gavrilov e Gavrilova, 2001). As investigações científicas sobre esse
1367 tema são cada vez mais presentes, como por exemplo nos estudos de Fonte *et al.*, 2018;
1368 Magnabosco Marra *et al.* (2018); Stovall *et al.* (2019); Arellano *et al.*, 2020; Zuleta *et al.* (2022);
1369 Hartmann *et al.* (2022). No entanto, a maioria desses trabalhos são desenvolvidos em florestas
1370 maduras em diversas partes de mundo, com pouca ênfase em florestas secundárias,
1371 principalmente nas amazônicas. Em decorrência disso, o presente estudo buscou responder o
1372 que pode explicar a morte das árvores em uma comunidade de floresta secundária na Amazônia
1373 oriental?

1374 Entender de fato as causas e os fatores relacionados à mortalidade das árvores se torna
1375 cada vez mais complexo em decorrência da mudança do clima (Arellano *et al.*, 2019). Pois a
1376 mortalidade dos indivíduos arbóreos está diretamente ligada ao balanço do carbono (Maas *et*
1377 *al.*, 2021), determinado o ritmo de renovação florestal, bem como estoque do carbono e a
1378 dinâmica das comunidades (Marra *et al.* 2014), transformando as florestas de sumidouros a
1379 emissores de carbono (Gora e Esquivel-Muelbert, 2021). Existem diversos fatores que podem
1380 afetar esse dinamismo das comunidades, como vento, estresse hídrico, raio, fogo, patógenos,
1381 herbívoros, entre outros (Gora e Esquivel-Muelbert 2021). O reconhecimento desses fatores é
1382 fundamental para entender o comportamento das florestas a partir de sinais de como as árvores
1383 estão morrendo e de como estão respondendo às perturbações sofridas. Essa abordagem
1384 fortalece ainda mais estudos nas florestas tropicais amazônicas (Fonte *et al.*, 2018).

1385 As florestas tropicais maduras são responsáveis pela mitigação de boa parte do carbono
1386 emitido para atmosfera, sendo crucial para o balanço do carbono e para a ecologia global
1387 (Chazdon *et al.*, 2016). Além das florestas maduras, as secundárias ou em regeneração também
1388 possuem alta capacidade de sequestrar e fornecer habitat para espécies tropicais, contribuindo
1389 também na mitigação das mudanças globais (Elias *et al.*, 2020). Apesar das florestas
1390 secundárias serem importantes na recuperação da biodiversidade perdida e do carbono, ainda

1391 não se sabe ao certo como elas serão afetadas pela mudança climática, que inclui temperaturas
1392 mais altas, período de seca e eventos extremos mais frequentes (IPCC, 2023 – AR6; Elias *et*
1393 *al.*, 2020).

1394 Apesar do aumento na relação entre eventos climáticos e alterações na taxa de
1395 mortalidade, ainda tem sido um desafio compreender como ocorre as mortes dos indivíduos e
1396 o que pode explicar essas observações devido às limitações temporais e de obtenção de dados
1397 de monitoramento (Mcmahon; Arellano; Davies, 2019). Diante disso, este estudo investigou de
1398 forma exploratória como as árvores estão morrendo e o que pode explicar a mortalidade em um
1399 fragmento de floresta secundária no município de Igarapé-Açu no nordeste Paraense. A partir
1400 do inventário florestal amostral, a incidência de galhos e árvores foi quantificada e qualificada
1401 em fatores e características. A distribuição dos valores dentro de classes de fatores e
1402 características foi contrastada à distribuição uniforme como esperada, ou seja, testando a
1403 hipótese de que os valores de incidência de madeira morta são similares entre os níveis dos
1404 fatores analisados e outros fatores devem explicar as variações da mortalidade na floresta
1405 estudada.

1406

1407 **2 MATERIAL E MÉTODOS**

1408 **2.1 Método de amostragem**

1409 O método de amostragem empregado foi o da linha interceptadora e o processo de
1410 amostragem foi em conglomerados ($n = 30$). O desenho das linhas interceptadas no
1411 conglomerado segue o formato de “cruz de malta”, composto por quatro linhas de 15,71 metros
1412 cada, seguindo o mesmo tamanho de linhas utilizado por Pellico Netto *et al.* (2018) (Figura 1a).
1413 O diâmetro de inclusão no inventário das árvores ou galhos foi de 5 cm. Os cálculos referentes
1414 ao método empregado nesta dissertação foram apresentados no capítulo 1.

1415

1416 **2.2 Distribuição de tamanhos (galhos e árvores) da madeira morta**

1417 O diâmetro (\emptyset) consistiu na média de duas medidas ortogonais do galho ou árvore morta
1418 no ponto da interceptação (medidas com Suta Mantax Blue 1020 mm Haglof; Precisão: $e = 0,1$
1419 cm) (Figura 1b). Para o comprimento foi utilizado a trena de caixa aberta de 50m, sendo
1420 verificado o comprimento total do indivíduo arbóreo (Figura 1c). Os indivíduos foram
1421 distribuídos e agrupados em classes de tamanho ($5 \leq 15$; $15 \leq 25$; $25 \leq 35$; $35 \leq 45$; $45 \leq 55$ e $55 \leq 65$
1422 cm de diâmetro e $0 \leq 5$; $5 \leq 10$; $10 \leq 15$; $15 \leq 20$; $20 \leq 25$ m de comprimento).

1423 Figura 1 - Método de medição do diâmetro, com o auxílio da suta (A), e comprimento, com o uso da
1424 trena de caixa aberta, (B) dos indivíduos inventariados na área de estudo.



1425
1426
1427

Fonte: Autora (2024).

1428

2.3 Modos de morte

1429

1430

1431

1432

1433

1434

1435

1436

1437

1438

1439

1440

1441

1442

1443

1444

Os modos de morte das árvores foram atribuídos conforme Fontes *et al.* (2018) e segundo o protocolo padronizado para levantamentos de Arellano *et al.* (2021), com as devidas adaptações. As árvores mortas caídas encontradas na área foram divididas em duas categorias: *Árvore quebrada (AQ)* em que o eixo principal está quebrado, incompleto, mas alguns deles ainda está de pé (podem ser metros ou apenas centímetros) e *raiz exposta (RE)* na qual a árvore tombou com as raízes acima do solo. Este código significa que as raízes que estavam abaixo do solo estão agora acima do solo (Figura 2).

1445 Figura 2 – Modos de morte dos indivíduos encontrados na área de estudo: Árvore com raiz exposta (A);
 1446 Árvores quebradas (B).



1447
 1448
 1449

Fonte: Autora (2024).

1450 **2.4 Classes de decomposição**

1451 As classes de decomposição das árvores foram seguindo as categorias táctil-visuais e
 1452 respostas mecânicas que representam, adaptado de Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.* (2016),
 1453 sendo classificadas em três classes: a inicial (IN), a média (ME) e a avançada (AV) (Figura 3).

- 1454 ● Inicial (A): deterioração não perceptível, árvores recentemente caídas, cor natural da
 1455 madeira;
- 1456 ● Média (B): deterioração na fase inicial, peças com leves sinais de ataques de agentes
 1457 biológicos, coloração levemente escura e baixa resistência ao corte, lâmina entrando
 1458 ligeiramente no fuste;
- 1459 ● Avançada (C): estágio avançado de decomposição com peças quebradiças ou
 1460 despedaçando ao toque, coloração escura e fuste se desfaz ou quebra em partes com
 1461 cortes de facão.

1462
 1463
 1464
 1465
 1466

1467 Figura 3 – Classificação tátil-visual dos indivíduos em três classes de decomposição: inicial (A); média
1468 (B); avançada (C).



1469
1470
1471

Fonte: Autora (2024).

1472 2.5 Direções de queda

1473 Para identificar a direção de queda das árvores mortas, foi utilizado o (Garmin GPSMAP
1474 64 sc) com a bússola devidamente calibrada conforme procedimentos recomendados pelo
1475 manual do dispositivo. Após a definição da localização do indivíduo arbóreo, o operador
1476 manteve o dispositivo no modo bússola e se posicionou na base da árvore. Apontando a antena
1477 do dispositivo para a direção da queda (copa quando presente), registrou-se o ângulo calculado
1478 e mostrado na tela (Figura 4).

1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488

1489 Figura 4 – Descrição do método para identificar a direção de queda dos indivíduos mortos na área de
1490 estudo, localizada na Fazenda Escola de Igarapé – Açú.



1491
1492
1493

Fonte: Autora (2024).

1494 **2.6 Efeitos de borda**

1495 O efeito de borda foi estudado como fator de influência na mortalidade de árvores a
1496 partir da associação entre a distância da borda do fragmento e o centro do conglomerado. Como
1497 os conglomerados foram mapeados com receptor SNGS, as coordenadas geográficas do ponto
1498 central foram usadas como referência dos conglomerados. No programa ArcGIS Pro® versão
1499 3.1.3, as bordas do fragmento de floresta secundária foram vetorizadas com base na imagem de
1500 satélite Google Earth, 2023. Em seguida, as distâncias da borda mais próxima do fragmento ao
1501 centro dos conglomerados foram calculadas com a ferramenta *Near To Feature*, que retorna os
1502 resultados da análise em uma tabela (formato. DBF) contendo o valor de distância de cada
1503 conglomerado. A tabela gerada foi utilizada em análises posteriormente descritas.

1504

1505 **2.7 Análise de dados**

1506 *2.7.1 Distribuição de tamanhos*

1507 Para responder à pergunta e testar a hipótese de que a frequência das árvores mortas se
1508 distribui uniformemente ou sem relação com as variáveis analisadas, foram adotados diversos
1509 procedimentos metodológicos nessa pesquisa. Primeiramente, as árvores foram distribuídas em
1510 classes de diâmetro (cm) e comprimento (m). Em seguida, os dados foram analisados de forma

1511 descritiva em suas respectivas classes, considerando, o modo de morte, classe de decomposição
1512 e direção de queda.

1513

1514 2.7.2 Classe de decomposição e modo de morte

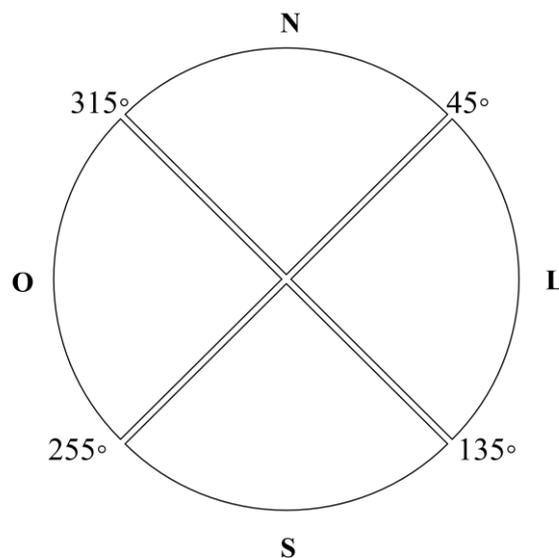
1515 Foi testada a aderência da distribuição dos dados para modo de morte e a classe de
1516 decomposição. Para isso, foi aplicado o teste Qui-quadrado (χ^2), considerando a hipótese nula
1517 (H_0) de que os dados seguem uma distribuição uniforme ($\alpha = 0,05$).

1518

1519 2.7.3 Direção de queda

1520 Para verificar a distribuição dos dados observados na amostra estudada e avaliar uma
1521 possível predominância na direção de queda dos indivíduos, foi aplicado o teste de Rayleigh
1522 (Rayleigh, 1919), baseado na análise de frequências da estatística circular. Para efeito visual,
1523 os dados e os resultados foram classificados em direção de queda (Norte de 315 a 45°, Leste de
1524 45 a 135°, Sul de 135 a 225° e Oeste de 225 a 1315°) (Figura 5).

1525 Figura 5 – Figura esquemática da distribuição das direções de queda das árvores mortas na área de
1526 estudo.



1527

1528

Fonte: Autora (2024)

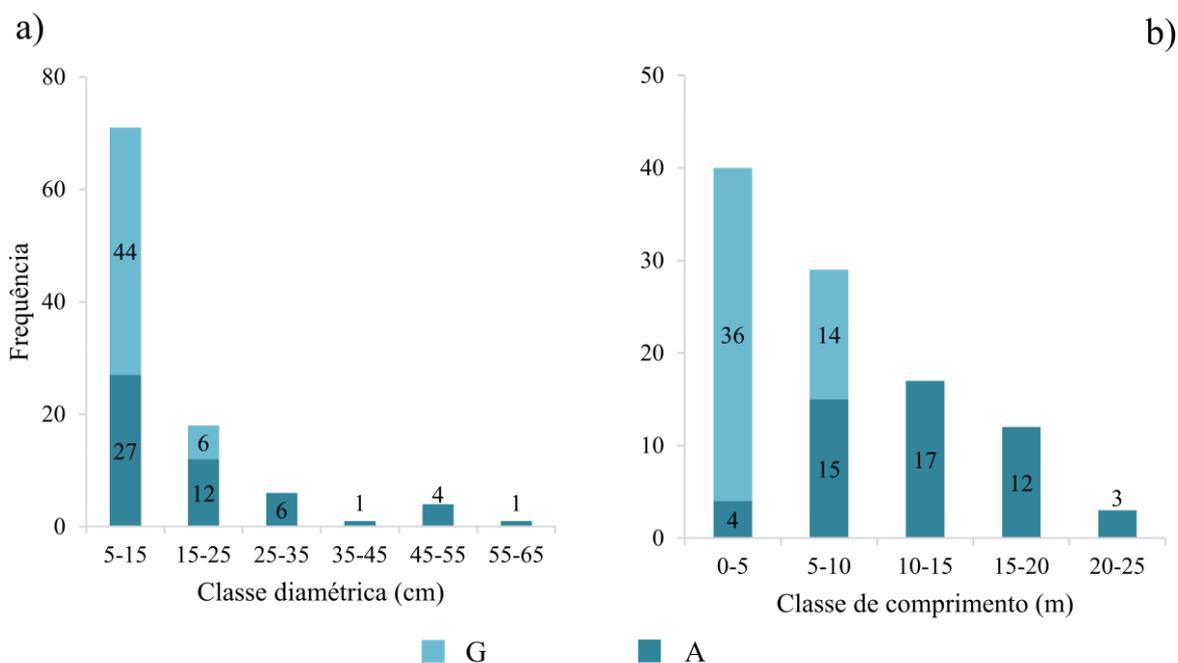
1529 2.7.4 Efeito de borda

1530 Para testar a relação entre a distância da borda (m) e densidade de árvores mortas dos
1531 conglomerados, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$), para avaliar a
1532 normalidade dos dados. Em seguida, realizado a correlação de Spearman ($p \geq 0,05$) para dados
1533 não paramétricos.

1534 3 RESULTADOS

1535 Nos 30 conglomerados instalados, foram encontrados 101 indivíduos, sendo 51
 1536 (50,50%) árvores e 50 (49,50%) galhos. Observou-se que os galhos se concentram nas classes
 1537 iniciais da distribuição de tamanho, com 88,0% na classe diamétrica entre 5 – 15 cm e 72,0%
 1538 na classe de comprimento entre 0 – 5 m. Em relação as árvores, a maior concentração dos
 1539 indivíduos também está nas classes diamétricas 5 – 15 e 15 – 25 cm. Além disso, cerca de
 1540 57,0% das árvores inventariadas apresentaram um comprimento de 10 a 20 m (Figura 6).

1541 Figura 6 – Distribuição das frequências de diâmetro (a) e comprimento (m) por Galhos (G) e Árvores
 1542 (A).

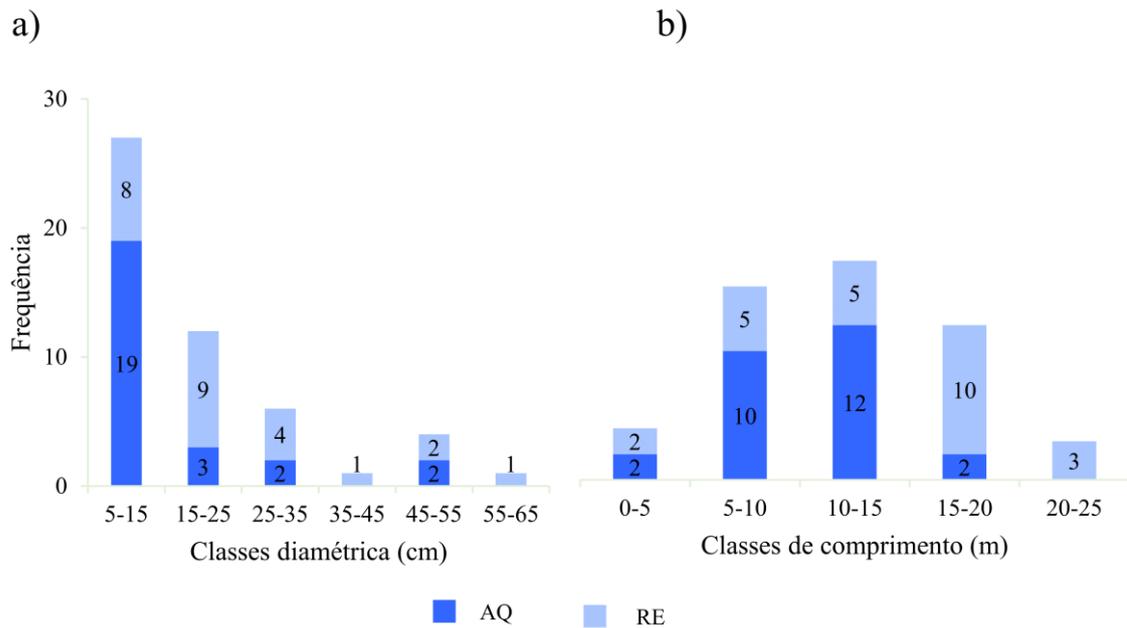


1543 Fonte: Autora (2024).
 1544
 1545

1546 Das 51 árvores, 26 morreram quebradas na base ou no fuste (AQ) e 25 com suas raízes
 1547 expostas (RE). O teste Qui-quadrado (χ^2) aplicado para avaliar o modo de morte, não apresentou
 1548 diferenças estatísticas significativas ($\alpha = 0,05$; p -valor = 0,623; X^2 cal = 0,242). As classes
 1549 diamétricas que registraram o maior número de árvores foram as de 5 – 15 cm, com um total
 1550 de 24 árvores e de 15 – 25 cm, com 12 árvores. Em relação às classes de comprimento,
 1551 observou-se a maior concentração de árvores na classe de 10 – 15 m, representando 33,33% do
 1552 total inventariado (Figura 5). Ao analisar os modos de morte por classe de tamanho, destaca-
 1553 se que as árvores que apresentam o modo de morte quebradas estão mais presentes na classe de
 1554 5 – 10 cm, com 19 árvores. Já para o modo de morte desenraizada, a maior incidência está na
 1555 classe de 15 – 25 cm, com um total de 9 indivíduos. Em relação ao comprimento, o modo de

1556 morte árvore quebrada concentra-se notavelmente nas classes 5 – 10 e 10 – 15 m, com 10 e 12
 1557 árvores, respectivamente. Quanto às árvores desenraizadas, a concentração é notável na classe
 1558 de 15 – 20 m (Figura 7).

1559 Figura 7 – Distribuição diamétrica (a) e de comprimento (b) por modo de morte do número de indivíduos
 1560 inventariados na área de estudo, onde raiz exposta (RE); árvore quebrada (AQ).



1561
 1562 Fonte: Autora (2024).

1563

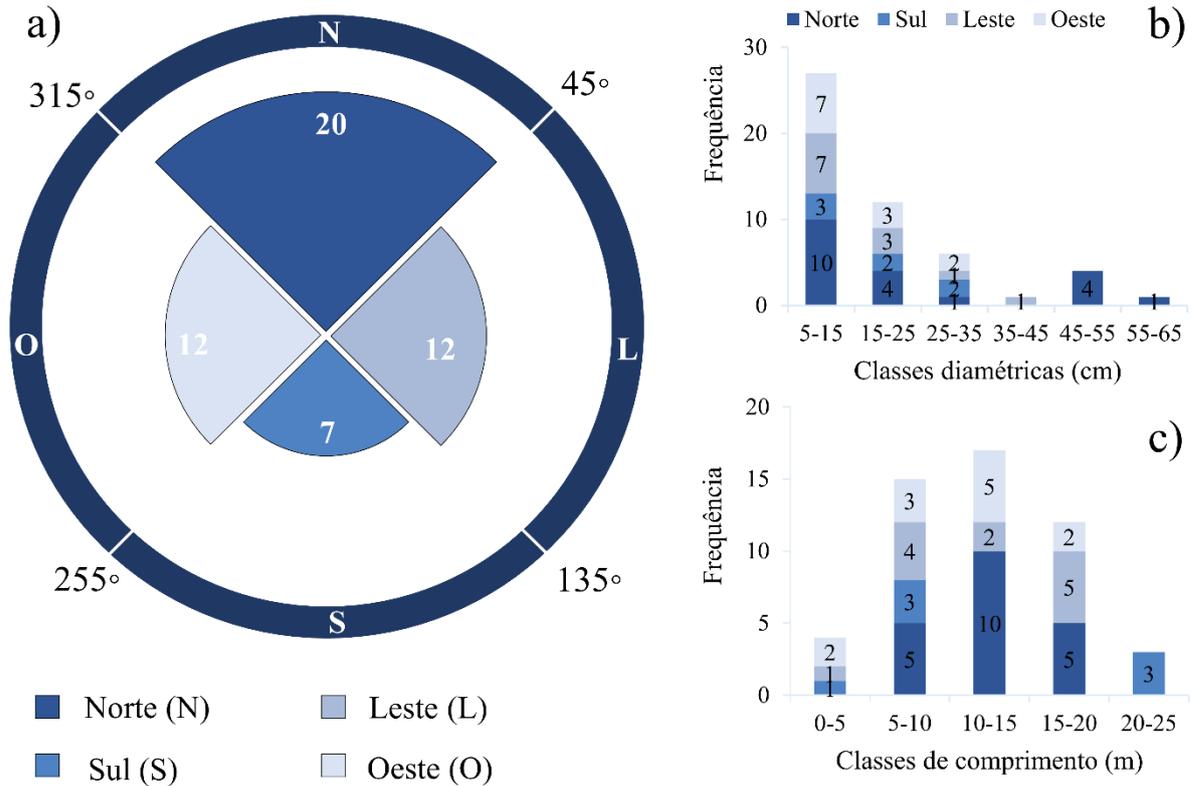
1564 A estatística de Rayleigh apresentou um p-valor significativo para direção de queda na
 1565 área de estudo (*Test Statistic: 0.2732; P-value: 0.0222*). Dessa forma, rejeita a hipótese nula,
 1566 indicando que há uma frequência predominando para árvores caídas, ou seja, os dados não
 1567 seguem uma distribuição normal. As árvores encontradas estão predominantemente
 1568 direcionadas ao norte ($315 - 45^\circ$), com 20 exemplares, ao Leste ($45 - 135^\circ$) e Oeste ($225 -$
 1569 315°) com 12 indivíduos cada. Analisando a direção de queda em relação ao tamanho dos
 1570 detritos lenhosos, as classes de diâmetro de 10 – 20 e 20 – 30 cm estão presente em todas as
 1571 direções de queda, com 22 e 11 indivíduos, respectivamente. (Figura 10b). Os indivíduos de
 1572 maior porte estão concentrados nas classes centrais da distribuição de comprimento, sendo que
 1573 a classe de 15 – 20 m apresenta um valor expressivo, com 12 indivíduos mortos,
 1574 predominantemente os indivíduos desta classe se encontra na caídos para a direção norte, na
 1575 última classe de distribuição se encontra apenas árvore para a direção sul. (Figura 8).

1576

1577

1578

1579 Figura 8 – Direção de queda das árvores caídas (a); distribuição de tamanhos por direção de queda para
 1580 classe de diâmetro (cm) (b) e classe de comprimento (m) (c).



1581
 1582 Fonte: Autora (2024).

1583

1584 A classe de decomposição mais presente para galhos e árvores na área de estudo é a
 1585 avançada com 82 (81,19%) registros, seguida pela classe média com 10 registro (9,90%) e pela
 1586 inicial com 9 (8,91%) exemplares. O resultado do teste de aderência foi estatisticamente
 1587 significativo, levando à rejeição da hipótese nula ($\alpha=0,05$; $p\text{-valor} > 0,01$; $X^2_{cal} = 104,10$). Ao
 1588 avaliar os resultados das classes de decomposição pela distribuição de tamanhos, observou-se
 1589 que todos os níveis de decomposição estão presentes na classe de 5 – 10 e 15 – 25 cm da
 1590 distribuição diamétrica, totalizando 71 e 18 exemplares, respectivamente (Figura 9a). Na
 1591 distribuição de comprimento, todas as classes de decomposição estão concentradas nas classes
 1592 centrais da distribuição, entre 15 – 20 e 20 – 25 cm. (Figura 9b).

1593

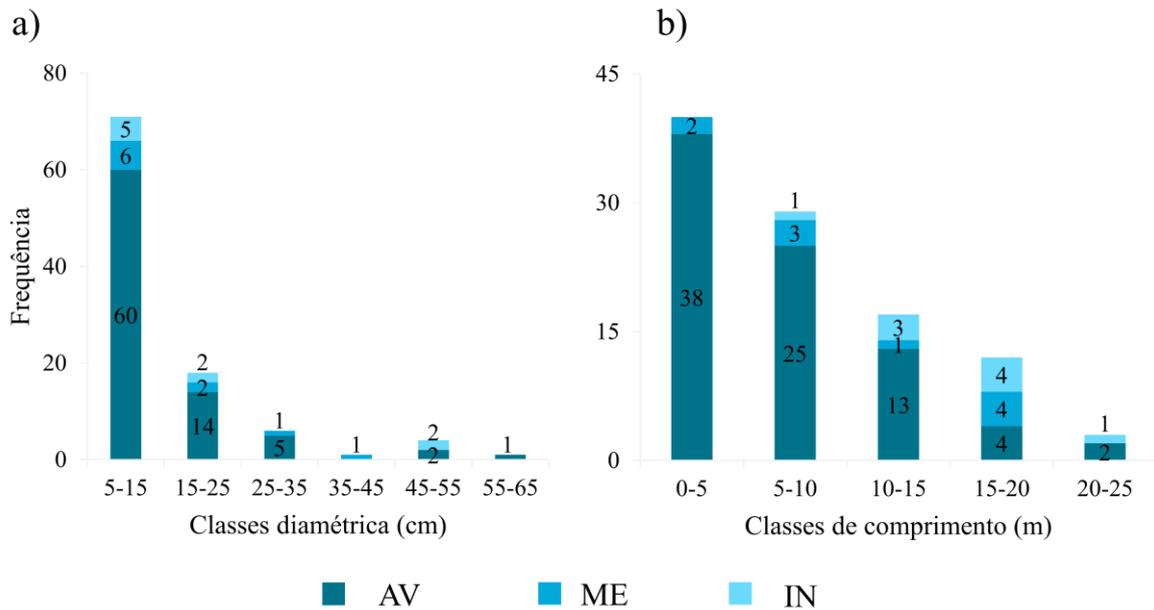
1594

1595

1596

1597

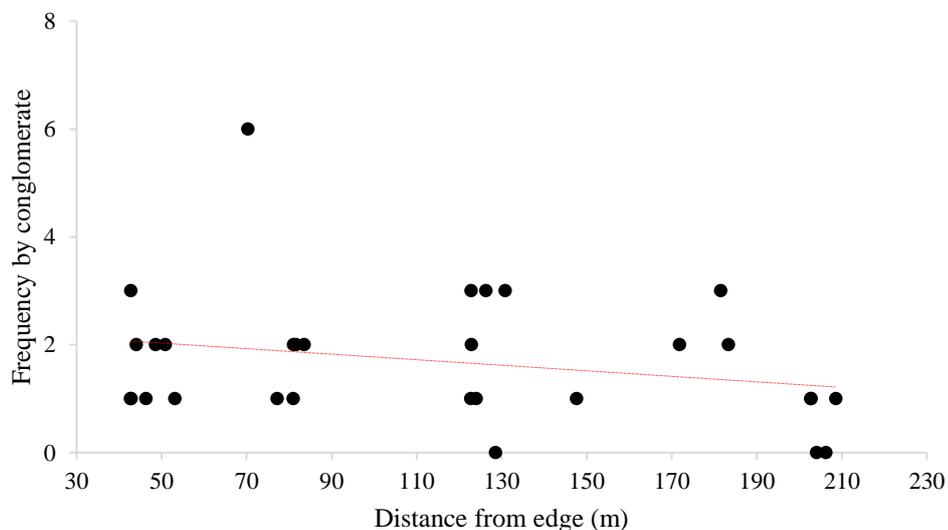
1598 Figura 9 – Distribuição das classes de diâmetro (cm) (a) e classe de comprimento (m) (b) por classe de
 1599 decomposição na área de estudada. Onde: classe de decomposição: Inicial (IN); Média (ME); Avançada
 1600 (AV).



1601
 1602 Fonte: Autora (2024).
 1603

1604 A correlação Spearman ($p \geq 0,05$) entre a distância da borda, número de árvores mortas
 1605 ($\rho = -0,22$; p-valor = 0,24) apresentou uma relação negativa e fraca, demonstrando que na área
 1606 estuda a distância da borda apresenta pouca influência na mortalidade dos indivíduos arbóreos.
 1607 (Figura 10).

1608 Figura 10 – Representação gráfica da correlação entre a frequência de árvores mortas (n) e a distância
 1609 da borda (m) nos conglomerados em um fragmento florestal secundário.
 1610



1611
 1612 Fonte: Autora (2024).

1613

1614 **4 DISCUSSÃO**

1615 Após a realização das análises estatísticas, foi observado que alguns critérios avaliados
1616 nesta floresta apresentam um padrão pré-definido para a mortalidade de árvores caída, sendo
1617 possível observar, um número significativo de árvores grandes mortas, nos diferentes modos de
1618 morte, bem como, nos três níveis de composição avaliados nesse trabalho. Quando se compara
1619 à altura das árvores com o déficit de pressão de vapor, temperatura máxima, precipitação e água
1620 disponível, a altura se demonstra ser um componente mais forte da mortalidade de árvores
1621 (Stovall *et al.*, 2019), corroborando os resultados encontrados nesse trabalho, que as árvores
1622 grandes podem estar mais propensas a morrer. Ainda segundo Stovall *et al.* (2019), para cada
1623 10 m de altura que uma árvore cresce, o risco de mortalidade aumenta em 1,26 vezes e a taxa
1624 de mortalidade aumenta em 2,40% ano. A sensibilidade das árvores de grande porte tem efeito
1625 significativo no ciclo do carbono, pois atinge diretamente o crescimento da floresta, reduzindo
1626 a sequestro de carbono e o seu estoque (Bennett *et al.*, 2015).

1627 Este trabalho se concentra na avaliação do modo de morte das árvores caídas em uma
1628 floresta secundária da Amazônia brasileira, no qual foi observado que as árvores tendem a
1629 morrer, principalmente, arrancadas com suas raízes expostas acima do solo. O modo de morte
1630 das árvores é resultado da interação das características da espécie e com o meio ambiente, que
1631 frequentemente leva a falha fisiológica ou dano estrutural que resulta na morte das árvores
1632 (Mcdowell *et al.*, 2018). Eventos como vento e chuva podem ter um grande impacto na
1633 mortalidade, principalmente, quando se relacionado ao modo de morte quebrada e desenraizada
1634 (Marra *et al.*, 2014). Além disso, as características funcionais podem moldar a mortalidade das
1635 árvores (Aleixo *et al.*, 2019). Como características das espécies e a densidade básica da madeira,
1636 por exemplo, já que madeiras menos densas correm mais riscos de morrer quebradas (Chao *et al.*,
1637 2008). Sendo assim, o modo de morte das árvores está potencialmente relacionado com a
1638 causa da mortalidade (Fontes *et al.*, 2018).

1639 A vulnerabilidade das árvores também pode estar ligada a fatores climáticos que podem
1640 potencializar o processo de mortalidade (Hartmann *et al.*, 2022). Avaliando neste estudo um
1641 possível padrão de morte das árvores, relacionando com a direção de queda, foi possível
1642 detectar uma direção predominante (Teste estatístico: 0, 2732; P-valor: 0,0222). A direção de
1643 queda pode ser explicada pela direção do vento, assim como no trabalho de Fonte *et al.* (2018),
1644 no qual identificou que a predominância das árvores caídas estava na direção do vento. Segundo
1645 o site Climatempo, a direção do vento predominante em Igarapé-Açu é para o nordeste,

1646 justificando a predominância de árvores caídas nas direções norte. Além disso, o vento interage
1647 diretamente com as copas das árvores, uma vez que elas atuam como uma barreira entre a
1648 floresta e a atmosfera. Isso nos leva a interpretar que as árvores maiores tendem a tombar e
1649 morrer na mesma direção do vento (Gora e Esquivel-Muelbert, 2021).

1650 Os níveis de decomposição foram classificados de forma tátil-visual em três (3) classes,
1651 conforme Pearson *et al.* (2007) e Felipe *et al.* (2016). A presença ou não de podridão é dos
1652 parâmetros usados para identificar as classes de decomposição das árvores mortas (Harmon *et*
1653 *al.*, 2011). Na área de estudo, foram encontrados um número significativo de indivíduos na
1654 classe avançada de decomposição, principalmente nas classes iniciais da distribuição
1655 diamétrica. A decomposição da madeira tende a ser mais rápida em diâmetros menores, pois a
1656 relação entre a área superficial do diâmetro menor aumenta as trocas gasosas e o acesso dos
1657 decompositores (Chambers *et al.*, 2000; Harmon *et al.*, 2020). Outros fatores também como as
1658 condições climáticas e as características da madeira podem estar ligadas com esse resultado
1659 encontrado nesta pesquisa (Wu *et al.*, 2020). No trabalho de Bradford *et al.* (2014), a
1660 temperatura foi o fator predominante nas taxas médias de decomposição, assim como a umidade
1661 (Laiho e Prescott, 1999), dessa forma podendo inferir que o clima da área de estudo pode ser
1662 um propulsor da decomposição, pois Igarapé-Açu é caracterizado como quente e úmido
1663 (Pachêco *et al.*, 2005).

1664 A área experimental desta pesquisa está inserida em um fragmento florestal secundário,
1665 um cenário cada vez mais frequente pelo mundo e também na Amazônia (Haddad *et al.*, 2015).
1666 Essas áreas podem sofrer mudanças ecológicas devido ao seu isolamento, afetando o
1667 microclima da floresta (Shafer, 1981; Laurance *et al.* 2011). Já que o fenômeno conhecido como
1668 efeito de borda cria condições de crescimento variado entre os ambientes (Smith *et al.*, 2013),
1669 as análises estatísticas desse estudo mostraram não haver relação entre a distância da borda e o
1670 número de árvores mortas dentro dos conglomerados, vale ressaltar que a distância por si só
1671 não explica toda a variação da mortalidade dentro dos sítios florestais (Didham e Lawton,
1672 1999). Prever como a composição florestal evoluirá no futuro é um desafio, devido a existência
1673 diversas incertezas relacionadas aos principais fatores responsáveis pela mortalidade (Allen *et*
1674 *al.*, 2010). Dessa forma, esse estudo possui o intuito de trazer informações e características
1675 sobre a mortalidade de árvores e seu comportamento em um ambiente de floresta secundária
1676 na Amazônia brasileira. Somando a isso, McMahon *et al.* (2019) destaca em seu estudo o a
1677 necessidade de monitorar indivíduos de uma forma mais ampla e focar nas espécies que estão
1678 em vulnerabilidade para uma melhor compreensão do atual cenário.

1679 **5 CONCLUSÃO**

- 1680 • O tamanho das árvores é um fator determinante para a maneira como elas morrem.
- 1681 • A incidência de árvores mortas predominou em uma direção de queda e em grau de
- 1682 decomposição.
- 1683 • A mortalidade apresenta possíveis padrões, mas a compreensão das inter-relações entre
- 1684 fatores bióticos e abióticos é complexa;
- 1685 • Métodos e processos de inventários apropriados são necessários para captar melhor os
- 1686 sinais de mortalidade
- 1687 • A pesquisa abre possibilidades para o desenvolvimento de estudos de mensuração
- 1688 florestal voltados à mortalidade de árvores na floresta secundária

1689

1690 **REFERÊNCIAS**

- 1691 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.941 -
1692 Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 6 p. 2003.
- 1693 ALEIXO, Izabela *et al.* Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional
1694 traits. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 5, p. 384-388, 2019.
- 1695 ALLEN, Craig D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals
1696 emerging climate change risks for forests. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 4, p.
1697 660-684, 2010.
- 1698 ARELLANO, Gabriel *et al.* Crown damage and the mortality of tropical trees. **New**
1699 **Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 169-179, 2019.
- 1700 ARELLANO, Gabriel; ZULETA, Daniel; DAVIES, Stuart J. Tree death and damage: a
1701 standardized protocol for frequent surveys in tropical forests. **Journal of Vegetation Science**,
1702 v. 32, n. 1, p. e12981, 2021.
- 1703 BENNETT, Amy C. *et al.* Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. **Nature**
1704 **plants**, v. 1, n. 10, p. 1-5, 2015.
- 1705 BRADFORD, Mark A. *et al.* O clima não consegue prever a decomposição da madeira à escala
1706 regional. **Natureza Mudanças Climáticas**, v. 4, n. 7, pág. 625-630, 2014.
- 1707 BROWN, Sandra. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. Food
1708 e Agriculture Org., 1997.
- 1709 Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J.P.; Ferreira, L.V.; Melack, J.M. Decomposition and
1710 carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia**, v. 122, p.
1711 380-388, 2000.
- 1712 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody
1713 debris. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 75-85, 2017.
- 1714 CHAO, Kuo - Jung *et al.* Growth and wood density predict tree mortality in Amazon
1715 forests. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 2, p. 281-292, 2008.

- 1716 CHAO, Kuo-Jung *et al.* Vegetation dynamics of a lowland rainforest at the northern border of
1717 the paleotropics at Nanjenshan, southern Taiwan, v. 25, n. 1, p. 29-40, 2010.
- 1718 CHAZDON, Robin L.; GUARIGUATA, Manuel R. Natural regeneration as a tool for large-
1719 scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 716-
1720 730, 2016.
- 1721 **CLIMATEMPO**. <https://www.climatempo.com.br/>, Acesso em 04 de outubro de 2023.
- 1722 COLPINI, Chirle *et al.* Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato
1723 ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 40,
1724 p. 549-555, 2010.
- 1725 DA SILVA, Benedito Nelson Rodrigues *et al.* Solos das mesobacias hidrográficas dos igarapés
1726 São João e Cumaru, municípios de Marapanim e Igarapé Açu. In: **CONGRESSO**
1727 **BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2009.
- 1728 DAJOZ, R. 2006. Ecology principles. Artmed, Porto Alegre. 519 pp. (in Portuguese).
- 1729 DENICH, M.; KANASHIRO, Milton. A vegetação secundária na paisagem agrícola no
1730 Nordeste paraense, Brasil. 1995.
- 1731 DIDHAM, Raphael K.; LAWTON, John H. Edge structure determines the magnitude of
1732 changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments 1. **Biotropica**, v.
1733 31, n. 1, p. 17-30, 1999.
- 1734 DING, Zhentian *et al.* An Analysis of the Factors Affecting Forest Mortality and Research on
1735 Forecasting Models in Southern China: A Case Study in Zhejiang Province. **Forests**, v. 14, n.
1736 11, p. 2199, 2023.
- 1737 DYER, Lee A.; CARSON, Walter P.; LEIGH, Egbert G. Insect outbreaks in tropical forests:
1738 patterns, mechanisms, and consequences. **Insect outbreaks revisited**, p. 219-245, 2012.
- 1739 ELIAS, Fernando *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in
1740 highly deforested Amazonian landscapes. **Ecology**, v. 101, n. 3, p. e02954, 2020.
- 1741 FALCETTA, F.M. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): ferramenta
1742 de mitigação da crise climática ou perpetuador da hegemonia?. 2023.
- 1743 FELIPE, L.; GONÇALVES, S.; FELIPE, L.; GONÇALVES, S. Necromassa
1744 florestal: protocolo experimental para estimativas de estoque e produção de liteira grossa.
1745 Manaus: **Editora INPA**, 2016.
- 1746 FONSECA, A. I. T. **Laudo hidrogeológico para construção de poço tubular**. Prefeitura de
1747 Igarapé-Açu, 2017.
- 1748 FONTES, Clarissa G.; CHAMBERS, Jeffrey Q.; HIGUCHI, Niro. Revealing the causes and
1749 temporal distribution of tree mortality in Central Amazonia. **Forest Ecology and**
1750 **Management**, v. 424, p. 177-183, 2018.
- 1751 GAVRILOV L. A, GAVRILOVA N. S. 2001. The reliability theory of aging and longevity.
1752 *Journal of Theoretical Biology* 213: 527–545.
- 1753 GORA, Evan M. *et al.* Dead wood necromass in a moist tropical forest: stocks, fluxes, and
1754 spatiotemporal variability. **Ecosystems**, v. 22, p. 1189-1205, 2019.
- 1755 GORA, Evan M.; ESQUIVEL-MUELBERT, Adriane. Implications of size-dependent tree
1756 mortality for tropical forest carbon dynamics. **Nature Plants**, v. 7, n. 4, p. 384-391, 2021.

- 1757 HADDAD, Nick M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's
1758 ecosystems. **Science advances**, v. 1, n. 2, p. e1500052, 2015.
- 1759 HARMON, Mark E. *et al.* Differences between standing and downed dead tree wood density
1760 reduction factors: a comparison across decay classes and tree species. **USDA For. Serv. Res.**
1761 **Pap. NRS-15**, p. 40, 2011.
- 1762 HARMON, Mark E. *et al.* Release of coarse woody detritus-related carbon: a synthesis across
1763 forest biomes. **Carbon balance and management**, v. 15, n. 1, p. 1-21, 2020.
- 1764 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and
1765 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1766 HARMON, Mark E. The role of woody detritus in biogeochemical cycles: past, present, and
1767 future. **Biogeochemistry**, v. 154, n. 2, p. 349-369, 2021.
- 1768 HARTMANN, Henrik *et al.* Climate change risks to global forest health: emergence of
1769 unexpected events of elevated tree mortality worldwide. **Annual Review of Plant Biology**, v.
1770 73, p. 673-702, 2022.
- 1771 HENRY, Matieu *et al.* GlobAllomeTree: international platform for tree allometric equations to
1772 support volume, biomass and carbon assessment. **Iforest-biogeosciences and forestry**, v. 6, n.
1773 6, p. 326, 2013.
- 1774 IBGE. (2022). **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares do Universo - Brasil.**
1775 Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/igarape-acu/panorama> Acesso em: 12 de
1776 setembro de 2023.
- 1777 KELLER, Michael *et al.* Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern
1778 Brazilian Amazon. **Global change biology**, v. 10, n. 5, p. 784-795, 2004.
- 1779 KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Florianópolis, n. 32,
1780 p. 165-389, 1980.
- 1781 LAIHO, Raija; PRESCOTT, Cindy E. The contribution of coarse woody debris to carbon,
1782 nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. **Canadian**
1783 **journal of forest research**, v. 29, n. 10, p. 1592-1603, 1999.
- 1784 LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C. C.; LAURANCE, S. G.; PIMM,
1785 S. L. *et al.* The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological**
1786 **conservation**, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.
- 1787 LAURANCE, William F. Edge effects in tropical forest fragments: application of a model for
1788 the design of nature reserves. **Biological conservation**, v. 57, n. 2, p. 205-219, 1991.
- 1789 MAAS, Greyce CB *et al.* Combining sample designs to account for the whole necromass carbon
1790 stock in Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 40, n. 7, p. 639-655,
1791 2021.
- 1792 MAGNABOSCO MARRA, Daniel *et al.* Windthrows control biomass patterns and functional
1793 composition of Amazon forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5867-5881, 2018.
- 1794 MARRA, Daniel Magnabosco *et al.* Large-scale wind disturbances promote tree diversity in a
1795 Central Amazon forest. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e103711, 2014.
- 1796 MCDOWELL, Nate *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical
1797 forests. **New Phytologist**, v. 219, n. 3, p. 851-869, 2018.

- 1798 MCMAHON, Sean M.; ARELLANO, Gabriel; DAVIES, Stuart J. The importance and
1799 challenges of detecting changes in forest mortality rates. **Ecosphere**, v. 10, n. 2, p. e02615,
1800 2019.
- 1801 NELDER, John Ashworth; WEDDERBURN, Robert WM. Generalized linear models. **Journal**
1802 **of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.
- 1803 NICOLETTI, M. F.; SILVA, E.; FLORIANI, M. M. P. Metodologia não destrutiva para
1804 quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. Revista **Nativa**, Mato
1805 Grosso, v. 3, p. 287-291, 2015.
- 1806 PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X. Boletim agrometeorológico 2004 Igarapé-Açu, PA.
1807 Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2005.
- 1808 PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG J.; HOUGHTON R, KAUPPI P. E, KURZ W. A,
1809 PHILLIPS.; O. L, SHVIDENKO, A. Lewis SL, Canadell JG *et al* (2011) A large and persistent
1810 carbon sink in the world's forests. *Science* 333:988–993.
- 1811 PEARSON, TIMOTHY R.H.; BROWN, SANDRA L.; BIRDSEY, RICHARD A. 2007.
1812 **Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon**. Gen. Tech. Rep. NRS-18.
1813 Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research
1814 Station. 42 p.
- 1815 PIASZCZYK, Wojciech, *et al*. A comparison of C: N: P stoichiometry in soil and deadwood at
1816 an advanced decomposition stage. **Catena**, v. 179, p. 1-5, 2019.
- 1817 PIPONIOT, Camille *et al*. Distribution of biomass dynamics in relation to tree size in forests
1818 across the world. **New Phytologist**, v. 234, n. 5, p. 1664-1677, 2022.
- 1819 RAJALA, Tiina *et al*. Relationship between wood-inhabiting fungi determined by molecular
1820 analysis (denaturing gradient gel electrophoresis) and quality of decaying logs. **Canadian**
1821 **Journal of Forest Research**, v. 40, n. 12, p. 2384-2397, 2010.
- 1822 RAYLEIGH, Lord. XXXI. On the problem of random vibrations, and of random flights in one,
1823 two, or three dimensions. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and**
1824 **Journal of Science**, v. 37, n. 220, p. 321-347, 1919.
- 1825 RUSSELL, Matthew B. *et al*. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A
1826 review. **Forest Ecology and Management**, v. 350, p. 107-128, 2015.
- 1827 SMITH, Ian A. *et al*. Juntando os fragmentos: elucidando os efeitos de borda na dinâmica do
1828 carbono florestal. **Fronteiras na Ecologia e no Meio Ambiente**, v. 16, n. 4, pág. 213-221,
1829 2018.
- 1830 STOVALL, Atticus EL; SHUGART, Herman; YANG, Xi. Tree height explains mortality risk
1831 during an intense drought. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4385, 2019.
- 1832 STURGES, Herbert A. The choice of a class interval. **Journal of the american statistical**
1833 **association**, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.
- 1834 URIARTE, María *et al*. Impacts of climate variability on tree demography in second growth
1835 tropical forests: the importance of regional context for predicting successional
1836 trajectories. **Biotropica**, v. 48, n. 6, p. 780-797, 2016.
- 1837 VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest science**, v. 14,
1838 n. 1, p. 20-26, 1968.

- 1839 VITAL, Benedito Rocha. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Viçosa, MG:**
1840 **SIF**, v. 501, 1984.
- 1841 WU, Chunsheng *et al.* The response of coarse woody debris decomposition and microbial
1842 community to nutrient additions in a subtropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.
1843 460, p. 117799, 2020.
- 1844 ZULETA, Daniel *et al.* Individual tree damage dominates mortality risk factors across six
1845 tropical forests. **New Phytologist**, v. 233, n. 2, p. 705-721, 2022.

1846 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- 1847 • O estudo contribuiu para o entendimento da dinâmica da necromassa florestal e dos
1848 processos de mortalidade de árvores em florestais secundárias amazônicas;
- 1849 • Foi possível identificar padrões de mortalidade para esta floresta que podem se repetir
1850 em outros ambientes;
- 1851 • Trouxe também uma compreensão melhor dos processos da decomposição e como o
1852 mesmo implica no estoque de necromassa e consequentemente no balanço do carbono.

