

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS

**ESTOQUE DE NECROMASSA EM FLORESTA NÃO MANEJADA E
MANEJADA NO ESTADO DO AMAZONAS**

FILIPPE CAMPOS DE FREITAS

Manaus – AM

2017

FILIPPE CAMPOS DE FREITAS

**ESTOQUE DE NECROMASSA EM FLORESTA NÃO MANEJADA E
MANEJADA NO ESTADO DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Amazonas como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Celso Paulo de Azevedo, D. Sc.
Coorientadora: Cintia Rodrigues de Souza, D. Sc.

Manaus – AM

2017

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo autor.

F866e Freitas, Filipe Campos de
Estoque de necromassa em floresta não manejada e manejada no estado do Amazonas / Filipe Campos de Freitas. 2017
83 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Celso Paulo de Azevedo
Coorientadora: Cintia Rodrigues de Souza
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Árvores mortas. 2. Carbono. 3. Exploração florestal. 4. Amazônia. I. Azevedo, Celso Paulo de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



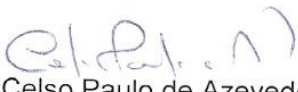
Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA





PARECER

Defesa nº 190

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando **FILIPPE CAMPOS DE FREITAS**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada **“ESTOQUE DE NECROMASSA EM FLORESTA NÃO MANEJADA E MANEJADA NO ESTADO DO AMAZONAS”** é de parecer favorável à Aprovacao do mestrando habilitando-o ao título de Mestre “*Magister Scientiae*” em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.


Professor Doutor Celso Paulo de Azevedo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Presidente


Professor Doutor Alberto Carlos Martins Pinto
Universidade Federal do Amazonas- UFAM
Primeiro Examinador


Pesquisador Ronaldo Ribeiro de Moraes
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Segundo Examinador

Manaus, 31 de Marco de 2017.




Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

*Às minhas mães Gisela e Irene e ao meu pai
Rubem, pelo amor e dedicação dispensados à
formação do meu caráter.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por direcionar os meus passos e proporcionar, a cada dia, momentos que eu possa vislumbrar a sua mão em minha vida.

À Universidade Federal do Amazonas, através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – PPGCIFA, pela oportunidade de crescimento intelectual e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível – CAPES, pelo financiamento da bolsa de estudos concedida.

Aos meus orientadores, Dr. Celso Paulo de Azevedo, e Dra. Cintia Rodrigues de Souza, pela participação essencial na realização desse trabalho: abrindo portas, compartilhando seus conhecimentos e todo o zelo pela qualidade em cada aspecto desta pesquisa.

À Embrapa Amazônia Ocidental pela disponibilização de recursos humanos, físicos e financeiros para a realização desta pesquisa.

À Empresa Mil Madeiras Preciosas pelo apoio logístico e disponibilização de sua equipe de campo para a coleta de dados

Aos meus colegas e amigos do PPGCIFA pelo apoio, troca de ideias e momentos de descontração em meio a essa jornada.

Aos meus amigos da Igreja Batista Memorial. Ao lembrar o meu agradecimento de três anos atrás, sou grato a Deus por ter mudado aquela história, vocês são parte importante dela.

À minha nova família da Igreja Batista Esperança, por ter me ajudado a reencontrar a alegria de servir ao Senhor em toda plenitude. A cada dia vocês têm se tornado mais importantes.

Aos meus grandes amigos que carrego comigo desde o CEFET-AM. O tempo passa e nos traz mudanças, mas o nosso grupo nunca esteve tão forte.

À minha família, sempre apoiando, aconselhando, sendo amiga e dando todo o suporte necessário para cumprir esta etapa na minha vida.

Aos demais amigos me incentivam a buscar cada vez mais o melhor para a minha vida pessoal e profissional.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A necromassa consiste na matéria orgânica morta em ecossistemas florestais. A não quantificação deste componente da vegetação pode levar a uma subestimativa do carbono disponível em florestas tropicais. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de necromassa em uma floresta não manejada e uma manejada comercialmente no estado do Amazonas. A coleta de dados foi realizada nos municípios de Rio Preto da Eva (floresta não manejada) e Itacoatiara (floresta manejada). Foi realizada a cubagem de troncos caídos, medição do diâmetro e altura residual de árvores mortas em pé e classificação do grau de decomposição de indivíduos com diâmetro mínimo de 10 cm. Foram estimados o volume, peso e carbono da necromassa e feita a comparação entre área não manejada e área manejada, assim como a influência da intensidade de exploração no estoque. Utilizou-se, ainda, dados de inventário florestal contínuo para comparação entre as estimativas de carbono feitas a partir da taxa de mortalidade com as verificadas em campo. A partir dos dados da cubagem foram ajustados quatro modelos volumétricos para a necromassa. A floresta não manejada apresentou $67,0 \pm 29,7$ indivíduos mortos por hectare, volume médio de $44,41 \pm 16,19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, peso igual a $40,80 \pm 11,17 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $20,67 \pm 8,20 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ para o carbono. Na floresta manejada observou-se média de $102,2 \pm 8,2$ indivíduos por hectare, volume total de $72,46 \pm 10,93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, peso igual a $66,19 \pm 9,56 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $32,09 \pm 4,64 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ de carbono. Houve diferença para todas as variáveis na comparação entre a floresta não manejada e a manejada, onde esta apresentou estoque até 63,2% superior à primeira. Quanto à influência da intensidade de exploração, observou-se diferença apenas para o número de indivíduos entre a unidade de produção com maior intensidade e a floresta não manejada. Não se observou diferença entre as estimativas de carbono a partir da mortalidade em inventários contínuos e as obtidas com a coleta em campo. O ajuste dos modelos volumétricos obteve apenas um modelo com média precisão para a área não manejada, os demais apresentaram altos índices de erro. Os resultados obtidos mostram que as atividades de manejo florestal proporcionaram um maior estoque de necromassa, entretanto a intensidade de exploração não exerceu grande influência. As estimativas geradas por inventário florestal contínuo foram suficientes para conhecer o carbono disponível na floresta. O modelo de *Schumacher-Hall* foi o que apresentou melhor ajuste para a necromassa total nas duas áreas.

Palavras chave: Árvores mortas. Carbono. Exploração florestal. Amazônia

ABSTRACT

Necromass is the dead organic matter in forest ecosystems. Failure to quantify this component of the vegetation may lead to an underestimate of available carbon in tropical forests. Therefore the objective of this research was to evaluate the necromass stock in an undisturbed and a logged forest in the state of Amazonas, Brazil. The field work was conducted in Rio Preto da Eva (undisturbed forest) and Itacoatiara (logged forest). It was made the measurement of fallen trees volume, diameter and residual height of standing dead trees and classification in decomposition classes of logs with a minimum diameter of 10 cm. The volume, weight and carbon of the necromass were estimated and a comparison was made between the undisturbed and the logged forests, besides influence of the intensity forest exploration on the stock. Continuous forest inventory data were used to compare the carbon estimates from the mortality rate with those verified in the field work. Four volumetric models were adjusted with the volume datas from fallen trees. At undisturbed forest there was $67,0 \pm 29,7$ dead trees per hectare; the average volume was $44,41 \pm 16,19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, weight equal to $40,80 \pm 11,17 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ and $20,67 \pm 8,20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ of carbon. At logged forest there was an average of $102,2 \pm 8,2$ trees per hectare, $72,46 \pm 10,93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $66,19 \pm 9,56 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ and $32,09 \pm 4,64 \text{ Mg}^3 \text{ ha}^{-1}$ from total volume, weight and carbon, respectively. There was a significant difference for all variables averages in the comparison between two forests, and the logged forest presented a stock up to 63.2% higher than the undisturbed forest. Concerning the influence of intensity forest exploration, was observed difference just for the number of dead trees between the greater intensity and the undisturbed forest. There was no difference between the carbon estimates from the mortality in continuous inventories and those obtained with the field work collected. The adjust of volumetric models obtained only one model with average accuracy for the undisturbed forest, the others models presented high error rates. The results show that the forest management activities provided a higher stock of necromass, but the intensity of exploitation did not have a great influence. The estimates generated by continuous forest inventory were sufficient to know the available carbon in the forest. The *Schumacher–Hall* was the better volumetric model for total necromass in both areas.

Keywords: Dead trees. Carbon. Forest exploration. Amazônia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo no Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS), pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental. Rodovia BR – 174, Km 938, Rio Preto da Eva – AM.	15
Figura 2: Localização da área de manejo florestal pertencente à empresa Mil Madeiras. Rodovia AM – 363, Km 01, Itacoatiara – AM.....	17
Figura 3: Representação esquemática das parcelas permanentes do Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS) e da Mil Madeiras.....	18
Figura 4: Representação do critério de inclusão de troncos a serem medidos dentro de uma parcela.....	20
Figura 5: Cubagem rigorosa de troncos caídos para estimativa do volume de necromassa através do método combinado de <i>Smalian-Hohenald</i>	20
Figura 6: Características visuais das classes de decomposição consideradas: a) classe 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; b) classe 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; c) classe 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.	22
Figura 7: Distribuição do volume por classe diamétrica na UPA B, UPA C, UPA D e DAS.	40
Figura 8: Peso da necromassa por classe de diâmetro na UPA B, UPA C, UPA D e DAS.	41
Figura 9: : Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 1 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).....	46
Figura 10: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 2 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).	47
Figura 11: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 3 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).	48
Figura 12: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).....	51
Figura 13: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 1 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).	55
Figura 14: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 2 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).	56

Figura 15: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 3 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).	57
Figura 16: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ano de exploração, área, volume explorado, número de árvores exploradas e intensidade de exploração (considerando a área total, exploração dentro das parcelas permanentes e nas parcelas selecionadas para coleta de dados) nas UPAs B, C e D.....	18
Tabela 2: Monitoramento das parcelas permanentes por meio de inventário florestal contínuo nas áreas da Mil Madeiras e Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS).	19
Tabela 3: Descrição das classes de decomposição da madeira.	22
Tabela 4: Modelos volumétricos ajustados para estimativa da necromassa.....	25
Tabela 5: Estatística descritiva da necromassa na área não manejada para o número de indivíduos (ha^{-1}), volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), peso (Mg ha^{-1}) e carbono (Mg ha^{-1}).	27
Tabela 6: Volume da necromassa, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, por classe de decomposição na área não manejada.....	29
Tabela 7. Peso e carbono da necromassa, em Mg ha^{-1} , por classe de decomposição na área não manejada.....	30
Tabela 8. Estatística descritiva da necromassa na área manejada para o número de indivíduos (ha^{-1}), volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), peso (Mg ha^{-1}) e carbono (Mg ha^{-1}).	31
Tabela 9. Volume da necromassa por classe de decomposição na área manejada.....	33
Tabela 10: Peso e carbono da necromassa, em Mg ha^{-1} , por classe de decomposição na área manejada.....	34
Tabela 11: Teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) para a hipótese de normalidade dos dados para o número de indivíduos, volume, peso e carbono da necromassa.....	35
Tabela 12: Teste de Bartlett ($\alpha = 0,05$) para homocedasticidade das variâncias calculadas para número de indivíduos, volume, peso e carbono da necromassa em pé, caída e total.....	37
Tabela 13: Número de indivíduos mortos por hectare em função da intensidade de exploração.	38
Tabela 14: Distribuição diamétrica dos indivíduos em cada tratamento.....	38
Tabela 15: Volume da necromassa por tratamento.	39
Tabela 16: Peso e carbono, em Mg ha^{-1} , da necromassa por tratamento.....	40
Tabela 17: Modelos ajustados para cada classe de decomposição na área não manejada.	45
Tabela 18: Modelos ajustados para a área não manejada.....	50
Tabela 19: Modelos ajustados para cada classe de decomposição na área manejada.....	54

Tabela 20: Modelos ajustados para a área manejada.....58

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 OBJETIVOS	3
1.1 GERAL.....	3
1.2 ESPECÍFICOS.....	3
2 HIPÓTESES	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 AMAZÔNIA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	4
3.2 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO EM FLORESTAS	6
3.3 NECROMASSA.....	6
3.4 MORTALIDADE	9
3.5 ALOMETRIA.....	11
3.5.1 Alometria de volume para a necromassa	11
4 MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO:	15
4.1.1 Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS): Floresta não manejada.....	15
4.1.2 Mil Madeiras: Floresta manejada	16
4.2 UNIDADES AMOSTRAIS	17
4.3 COLETA DE DADOS	19
4.3.1 Necromassa lenhosa caída	19
4.3.2 Necromassa lenhosa em pé.....	21
4.3.3 Grau de Decomposição.....	22
4.4 ESTIMATIVA DO PESO E CARBONO DA NECROMASSA	23
4.5 MORTALIDADE	23
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
4.6.1 Inventário da Necromassa.....	24

4.6.2	Normalidade dos dados.....	24
4.6.3	Necromassa em área não manejada e área manejada	24
4.6.4	Influência dos diferentes níveis de exploração florestal na necromassa	24
4.6.5	Estoques de necromassa e estimativas geradas a partir da taxa de mortalidade....	25
4.7	ALOMETRIA PARA A NECROMASSA.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS.....	27
5.1.1	Área não manejada	27
5.1.2	Área manejada	31
5.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	35
5.2.1	Normalidade dos dados.....	35
5.2.2	Necromassa em área não manejada e área manejada	35
5.2.3	Influência dos diferentes níveis de exploração florestal na necromassa	37
5.3	ANÁLISE DA MORTALIDADE	43
5.4	ALOMETRIA PARA A NECROMASSA.....	44
5.4.1	Área não manejada	44
5.4.2	Área manejada	52
6	CONCLUSÕES.....	60
	REFERÊNCIAS	61

INTRODUÇÃO

A partir do estabelecimento da convenção de mudanças climáticas em 1992, tem-se observado a importância das florestas na política das mudanças climáticas globais. As florestas tropicais têm grande influência no controle destas mudanças, sendo que a extensão territorial da Amazônia e sua reconhecida biodiversidade a torna um grande campo de pesquisa para entender a sua influência no contexto climático atualmente discutido. Sua dinâmica natural mostra a capacidade da floresta tanto de emitir gases do efeito estufa para a atmosfera, via queimadas ou desmatamentos, como de sequestrar carbono da atmosfera por meio do crescimento do povoamento (SOUZA, 2012).

A dinâmica de crescimento inicialmente coloca a floresta como sequestradora de carbono, onde esta absorve e estoca carbono na forma de biomassa viva. Posteriormente esse carbono estocado pode ser liberado para a atmosfera através do processo de decomposição da matéria orgânica morta, assim como pelas queimadas e desmatamentos (LUYSSAERT *et al.* 2008). O balanço entre a quantidade de carbono que é estocada e a quantidade que é liberada para a atmosfera determina o papel de uma floresta como sumidouro ou fonte de carbono.

São considerados como reservatórios de carbono em florestas a biomassa acima do solo, a biomassa de raízes, além da necromassa (incluindo necromassa lenhosa grossa e serapilheira) e o material orgânico do solo (IPCC, 2006). A necromassa refere-se à matéria orgânica morta presente nos ecossistemas florestais, provenientes de elementos vegetais (árvores mortas em pé ou caídas, galhos e pedaços de troncos mortos) em estágio inicial e avançado de decomposição (BROWN, 1997), e pode representar até 25% da biomassa acima do solo presente em florestas na Amazônia (RICE *et al.*, 2004), desde áreas sem nenhum tipo de perturbação antrópica a áreas submetidas ao manejo florestal.

Em florestas naturais, a necromassa é encontrada em abundância na forma de árvores mortas em pé, troncos caídos e galhos grossos. Além de possuir importância nos estoques de carbono, a necromassa assume outros papéis ecológicos, como habitat para espécies da fauna, manutenção da produtividade do ecossistema (HARMON *et al.*, 1986) e teores de matéria orgânica e nutrientes do solo (FERREIRA *et al.*, 2001). Entretanto a quantificação deste componente, em geral, tem sido ignorada. Estudos que contemplem a biomassa morta ainda são escassos, em especial em florestas exploradas (CRUZ FILHO e SILVA, 2009).

Em florestas submetidas ao manejo florestal, espera-se que a produção de necromassa seja maior quando comparada a uma floresta não manejada, devido às atividades exploratórias

desenvolvidas, tais como: abertura de infraestrutura (estradas, trilhas, pátios), corte e arraste de árvores. Palace *et al.* (2007) encontraram, em uma floresta manejada, uma produção de necromassa 50% maior em relação à uma floresta não manejada. Concomitante a isto, uma floresta manejada também pode proporcionar condições para crescimento do povoamento remanescente, a partir da dinâmica de sucessão dos indivíduos. A utilização das técnicas de manejo florestal deve buscar o menor impacto possível na exploração dos recursos naturais da floresta, minimizando assim a quantidade de necromassa produzida em suas atividades.

Atualmente o manejo florestal não é visto apenas como um meio para retirada de recursos madeireiros ou não madeireiros da floresta. Seu conceito tem considerado os aspectos econômico, social e ambiental, envolvendo, assim, a produção de serviços ambientais (AZEVEDO, 2006). Desta forma, quanto mais variáveis forem inseridas na realização dos inventários florestais, melhor será o conhecimento da floresta acerca dos produtos e serviços que esta poderá oferecer, agregando valor às atividades nela desenvolvidas.

A participação da necromassa nos ecossistemas florestais tem mostrado grande importância para uma melhor estimativa do carbono estocado nesses ecossistemas. A não quantificação da necromassa pode levar a uma subestimativa de até 45% do carbono disponível em florestas tropicais (PALACE *et. al.*, 2008). Inserir esse componente da vegetação em inventários florestais e estabelecer métodos mais precisos para sua quantificação contribui para melhor compreensão da participação das florestas na dinâmica de carbono e mudanças climáticas. Desta forma, o presente estudo visa avaliar a necromassa em uma floresta manejada e em uma floresta não manejada, obtendo, assim, uma estimativa mais precisa do carbono estocado, e reforçar a importância da inclusão deste componente da vegetação em outros estudos.

1 OBJETIVOS

1.1 GERAL

Avaliar o estoque de necromassa em uma floresta não manejada e em uma floresta manejada comercialmente no estado do Amazonas.

1.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Quantificar a volumetria, peso e o carbono disponível no estoque de necromassa na área não manejada e na área manejada;
- ✓ Comparar os estoques de necromassa na área não manejada e área manejada;
- ✓ Comparar os estoques de necromassa em função da intensidade de exploração florestal;
- ✓ Avaliar a relação entre o estoque de necromassa medido em campo e as estimativas geradas a partir da mortalidade utilizada em inventários florestais contínuos;
- ✓ Estimar equações volumétricas para a necromassa na área não manejada e para a área manejada.

2 HIPÓTESES

- 1) A floresta sob regime de manejo florestal apresenta estoque mais elevado de necromassa que a floresta não manejada;
- 2) O estoque de necromassa da floresta manejada apresenta valores mais elevados para maiores intensidades de exploração;
- 3) A quantificação em campo da necromassa proporciona estimativas mais precisas do carbono disponível em florestas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AMAZÔNIA NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As emissões dos chamados gases do efeito estufa (GEE) por fontes antropogênicas tem resultado no aumento da concentração desses gases na atmosfera. Este fato tem sido apontado como a principal causa das mudanças climáticas observadas nas últimas décadas o qual tem sido alvo de constantes estudos e relatórios pelo menos nos últimos 20 anos. As fontes de origem antropogênica são comumente relacionadas à queima de combustíveis fósseis e pelo uso do solo e mudanças no uso do solo (CIAIS *et al.*, 2013). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) divulgou em seu quinto relatório que os efeitos das mudanças climáticas já estão ocorrendo em todos os continentes e oceanos, variando entre regiões e populações, em que já podem ser observados alguns impactos, como na abundância de espécies vegetais e animais (IPCC, 2014).

Diante desse contexto, as florestas se apresentam como peças fundamentais na dinâmica destas mudanças, uma vez que são grandes depósitos de carbono. O carbono é removido da atmosfera a partir da fotossíntese realizada pelas plantas, o qual é utilizado na síntese de compostos orgânicos, e são estocados nas partes da planta acima e abaixo do solo (ROSA *et al.*, 2003). Aproximadamente metade do peso da matéria seca de árvores de uma floresta tropical é carbono (FEARNSIDE, 2008). Esse carbono armazenado pode ser liberado de volta para a atmosfera pela respiração autotrófica e heterotrófica ou por distúrbios ocorridos às florestas (incêndios, por exemplo) (CIAIS *et al.*, 2013).

Devido à expressiva cobertura vegetal que possui, a floresta amazônica tem sido um dos principais alvos de estudos que visam entender a dinâmica entre carbono e florestas, e cada vez mais tem evidenciada sua importância no controle das mudanças climáticas globais (SILVA *et al.* 2015). Segundo Salati (2001), o equilíbrio dinâmico da atmosfera amazônica está sujeito a forças de transformação que levam às variações climáticas e podem ser vistas sob três formas:

a) Variações decorrentes de causas naturais: essas mudanças estão relacionadas com variações na intensidade solar, inclinação do eixo de rotação da Terra, órbita terrestre, atividades vulcânicas, composição química da atmosfera, entre outras. Consideram-se registros sobre as oscilações climáticas na Amazônia ocorridas durante as glaciações e também de variações mais recentes da temperatura local, podendo-se citar os efeitos do *El*

Niño na região. A resposta a estas forças modificadoras pode ser em um período anual, em décadas e/ou milênios;

b) Mudanças decorrentes de alterações do uso da terra: estas alterações estão ligadas ao desmatamento de ecossistemas florestais para utilização pela agricultura e/ou pecuária, o que implica em transferência de carbono da biosfera para a atmosfera;

c) Variações climáticas globais provocadas por ações antrópicas: considera-se as estimativas feitas por modelos climáticos que indicam que poderá ocorrer um aquecimento de até 4°C em algumas regiões do planeta até o final do século 21, caso não sejam reduzidos os níveis de emissões de gases do efeito estufa para a atmosfera.

O papel das florestas, em especial a Amazônia, na emissão de gases do efeito estufa, deve ser visto como ambíguo (HIGUCHI *et al.*, 2011), pois apesar de estocar grandes quantidades de carbono em sua biomassa, a floresta pode ser fonte de gases para a atmosfera. A forma mais direta de observar este fato são as mudanças no uso e cobertura do solo que vem ocorrendo na região (desmatamento para agricultura e/ou pecuária), mas também pode ser observado na sua dinâmica natural, como observado por Lima (2010), em floresta primária na região de Manaus, e perdas em biomassa a partir das secas na região, como observado por Vieira (2011).

A situação mais esperada é a qual a floresta, de fato, assumo o papel de sumidouro de carbono, o que pode acontecer em condições naturais ou quando a mesma está submetida a práticas de manejo florestal, por meio das taxas de crescimento. Segundo FAO (2010), as florestas, quando bem geridas, podem ter papel central na mitigação das alterações climáticas. O manejo florestal oferece duas possibilidades benéficas quanto ao sequestro de carbono da atmosfera: (i) estoque de carbono em produtos de madeira, enquanto a floresta manejada cresce novamente (sequestrando mais carbono da atmosfera); (ii) mudanças nas práticas de exploração, que podem reduzir expressivamente o dano à floresta remanescente e a consequente emissão de carbono (SOUZA, 2012).

As atividades humanas na Amazônia têm impactos significativos em outras partes destes ecossistemas, com efeitos locais, nacionais e globais. Estes impactos incluem os efeitos do desmatamento, queimadas e incêndios. Mudanças ambientais atuais e esperadas afetam negativamente os seres humanos na Amazônia e em outros locais. Estas mudanças incluem a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas, redução de ciclagem d'água devido à perda de evapotranspiração, e contribuição ao efeito estufa (FEARNSIDE, 2003).

3.2 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO EM FLORESTAS

O acúmulo de carbono em ecossistemas florestais é um parâmetro importante para avaliar a relação deste elemento com os diferentes ambientes, e um dado essencial na estimativa da sua absorção e emissão por esses ecossistemas (WANG *et al.*, 2001). Smith *et al.* (2004) mencionam que estudos sobre sequestro de carbono são importantes na avaliação de uma floresta como recurso natural, assim como na relação entre mudanças climáticas e o acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera.

As Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC consideram como reservatórios de carbono em florestas a biomassa acima do solo e biomassa de raízes. A biomassa de indivíduos mortos, inteiros ou em parte, leva a um outro componente da vegetação, a necromassa – do termo em inglês “*dead organic matter*” – a qual inclui necromassa lenhosa grossa e serapilheira, além dos componentes orgânicos do solo (IPCC, 2006). A estimativa do estoque de carbono da vegetação pode ser obtida pelo produto da biomassa florestal e a concentração de carbono. De acordo com Higuchi *et al.* (2004), as concentrações de carbono em florestas tropicais podem ser encontradas variando entre 48% e 52%.

A quantificação e estimativas de biomassa da vegetação podem ser feitas por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos implicam na derrubada e pesagem de todas as árvores que ocorrem em uma parcela fixa. Os métodos indiretos implicam no emprego de algum tipo de modelagem da biomassa e do carbono, empregando-se fatores e/ou equações (SANQUETTA *et al.*, 2014). É importante destacar que estudos de biomassa florestal também são feitos com outros objetivos além da quantificação de carbono, dentre os quais destacam-se a quantificação da ciclagem de nutrientes e quantificação para fins energéticos (SILVEIRA *et al.*, 2008).

3.3 NECROMASSA

A necromassa pode ser definida como toda biomassa morta presente em ecossistemas naturais ou antropizados (BROWN, 1997). É composta pela serapilheira e pelo material lenhoso de maiores dimensões, podendo ser encontrada na forma de material morto em pé ou troncos caídos. É um componente abundante nos ecossistemas florestais, apresentando importância nas suas características estruturais e ecológicas – serve como habitat para

organismos, ciclo de nutrientes, e influencia no transporte e estoque de sedimentos no solo (HARMON *et al.*, 1986).

Apesar da sua importância ecológica para as florestas, a maior atenção tem sido dada ao estoque de carbono presente neste componente da vegetação, e sua quantificação oriunda de inventários florestais se torna cada vez mais importante, devido sua forte ligação com o efeito estufa e com as mudanças climáticas (SMITH *et al.*, 2004). Segundo Brown (1997), estima-se que a necromassa pode representar de 5 a 40% da biomassa presente, outros estudos apontam valores entre 11 – 25% em florestas de terra firme na Amazônia, tanto brasileira quanto estrangeira (KELLER *et al.*, 2004; RICE *et al.*, 2004; CHAO *et al.*, 2009). Mesmo havendo essa variação entre os valores encontrados por estes autores, nota-se uma representatividade da necromassa dentro dos ecossistemas florestais.

O material vegetal morto estabelecido sobre o solo pode ser dividido em duas categorias, de acordo com o diâmetro das peças: (i) liteira fina, cujo diâmetro é inferior a 2 cm; (ii) liteira grossa, com o diâmetro das peças igual ou superior a 2 cm. Esta segunda classificação é subdividida, ainda, da seguinte forma: (i) peças intermediárias, diâmetro maior ou igual a 2 cm e menor que 10 cm; (ii) peças grossas, diâmetro igual ou superior a 10 cm (BARBOSA *et al.*, 2009). Em estudos realizados para a necromassa, comumente tem-se considerado somente a liteira grossa, sendo que os componentes da liteira fina são geralmente incluídos em estudos específicos (KELLER *et al.*, 2004). Na Amazônia, dentre os componentes da liteira grossa, tem-se observado maior participação das peças grossas (diâmetro ≥ 10 cm) no estoque de necromassa, encontrando-se variações de 72 a 93% da participação destas peças nos estoques de necromassa, tanto em florestas não perturbadas quanto em florestas manejadas (KELLER *et al.*, 2004; RICE *et al.*, 2004; PAULETTO, 2006; PALACE *et al.*, 2007).

Árvores mortas em pé incluem árvores mortas inteiras, ou porções destas árvores que permanecem em pé (HARMON *et al.*, 1986). Em florestas tropicais este componente da necromassa tem sido medido com menor frequência que o material morto caído, cerca de 65% menos frequente (PALACE *et al.*, 2012). Entretanto, estudos que consideram árvores mortas em pé para sua base de dados têm mostrado que este componente tem uma boa representatividade nas estimativas de necromassa nas florestas de terra firme da Amazônia (CHAO *et al.*, 2009). Palace *et al.* (2007) encontraram uma proporção de 12 – 17% entre árvores mortas em pé e caídas, em estudo realizado em duas florestas na Amazônia brasileira. Na Venezuela e Peru essa proporção variou entre 34 e 43%.

Duas metodologias são aplicadas para inventário da necromassa: método de área fixa e amostragem por linha interceptora (LIS, na sigla em inglês). Para o método da área fixa é pré-determinado um tamanho e forma de parcela a ser instalada na floresta (HARMON e SEXTON, 1996), sendo coletado os dados dos indivíduos que ocorrem dentro dos limites das parcelas. Este método permite a utilização de parcelas permanentes já instaladas em determinadas áreas para fins de monitoramento da floresta. A amostragem por linha interceptadora (ou transecto) é bastante utilizado em inventário de material lenhoso visando estimativas de material para combustão (DEUS, 2015). Este método consiste na coleta de dados do material caído no chão que é interceptado por uma linha reta instalada em campo. Este método não permite a coleta de dados de indivíduos em pé. Baker *et al.* (2007) não encontrou diferença significativa para o volume e peso da necromassa comparando estes dois métodos. Deus (2015), comparando dois tamanhos de parcelas com a amostragem por linha interceptadora, não encontrou diferença significativa entre os volumes de necromassa obtidos por estes três métodos, entretanto a autora observou que o método da linha interceptadora apresentou maior coeficiente de variação.

Outra abordagem comum em inventários de necromassa é a sua categorização de acordo com o grau de decomposição. Este procedimento é realizado de forma tátil-visual, a partir de parâmetros pré-estabelecidos. Comumente são considerados três ou cinco níveis diferentes de decomposição de acordo com as características descritas:

- (i) Categorização em três níveis de decomposição (BARBOSA *et al.*, 2009): classe 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; classe 2 – peças com leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; classe 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque;
- (ii) Categorização em cinco níveis de decomposição (HARMON *et al.*, 1995): classe 1 – madeira recém-caída com algumas folhas e / ou galhos finos; classe 2 – madeira ainda sólida e com casca intacta, mas sem galhos finos ou folhas; classe 3 – material semelhante à classe 2, exceto pela a casca, a qual se apresenta como podre ou se desfazendo; classe 4 – material já apodrecido e pode ser quebrado quando retorcido; classe 5 – material podre, pode ser facilmente quebrado com as mãos.

Apesar de critérios pré-estabelecidos, esta não deixa de ser uma análise subjetiva, a qual pode variar de acordo com responsável pela coleta em campo. Deus (2015) afirma que a

utilização de três classes de decomposição para madeira caída são suficientes para distinguir o material em campo, uma vez que é difícil determinar o grau de decomposição de forma tátil-visual.

Estudos mais recentes têm se concentrado na Amazônia brasileira, tanto em áreas não perturbadas quanto em áreas manejadas, com o objetivo de determinar o estoque e a produtividade, em volume, peso e quantidade de carbono, além dos efeitos da exploração madeireira sobre a necromassa (PALACE *et al.*, 2012). Estimativas para o estoque de carbono na necromassa caída em florestas não perturbadas de terra firme tem variado entre 16,5 Mg C ha⁻¹ a 48,0 Mg C ha⁻¹ (SUMMERS, 1998; GERWING, 2002; KELLER *et al.*, 2004; RICE *et al.*, 2004).

Em estudos que comparam o estoque de necromassa entre áreas submetidas ao manejo florestal e áreas sem perturbação, observa-se que as primeiras áreas apresentam uma maior quantidade de necromassa. Palace *et al.* (2007) encontraram diferença significativa na necromassa total (árvores caídas e em pé) entre os dois tratamentos considerados no estudo (floresta sob manejo florestal e floresta não explorada); os autores citam ainda que a quantidade de necromassa na área sob manejo florestal foi até 50% superior à área não manejada. Keller *et al.* (2004) também encontraram diferença significativa no estoque de necromassa, considerando áreas com e sem manejo florestal. Estes autores consideraram ainda um terceiro tratamento em um dos sítios de estudo, também considerando área manejada, porém com nível mais elevado de perturbação à floresta. Nesta situação, foi constatada diferença significativa entre os três tratamentos. Neste estudo os autores verificaram que o estoque de necromassa nas áreas manejadas foi maior que na área não manejada, e a exploração com maior nível de perturbação produziu 2,7 vezes mais necromassa que o outro tratamento de exploração.

3.4 MORTALIDADE

Estudos da dinâmica florestal visam conhecer as mudanças na arquitetura, estrutura e composição florística de determinada floresta, assim como avaliar os impactos da exploração, quando a área tiver sido submetida a esta. Esta dinâmica leva em consideração estimativas de incremento e crescimento, taxas de ingresso (ou recrutamento) e mortalidade. (SOUZA e SOARES, 2013).

O procedimento para avaliar a dinâmica florestal é conhecido como Inventário Florestal Contínuo (IFC), que corresponde a efetuar medições na floresta repetidas vezes no tempo, ou seja, medições em várias ocasiões. A mortalidade e o ingresso de árvores, bem como o crescimento individual também influenciam no balanço de carbono na vegetação (AZEVEDO, 2006).

A morte de árvores implica na perda de biomassa e, conseqüentemente, emissão de carbono para a atmosfera (NASCIMENTO e LAURANCE, 2002). De forma geral, estudos da dinâmica florestal que buscam avaliar a função da floresta quanto à emissão ou absorção de carbono utilizam modelos ajustados especificamente para estimar a quantidade de carbono nos indivíduos. O balanço entre o incremento estimado a partir do crescimento das árvores, assim como o ingresso de novos indivíduos na área, e as estimativas de perda a partir da mortalidade de árvores determina se a floresta está funcionando como fonte ou sumidouro de carbono (HIGUCHI *et al.*, 2004; SOUZA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2015).

Entretanto, segundo Palace *et al.* (2008), o uso de taxas de mortalidade para calcular a produção de madeira morta pode levar a uma subestimativa de até 45% do carbono a ser liberado para a atmosfera, pois não considera queda de ramos ou partes do tronco, assim como distúrbios não letais, nos quais apenas uma parte da árvore morre. De acordo com os autores, para estudos sobre a ciclagem de carbono, a medição direta da produção de necromassa é mais abrangente do que a estimativa mais comumente usada, apenas com base nas taxas de mortalidade.

Poucos estudos relacionam a mortalidade das árvores com o estoque de necromassa. Em estudo em duas áreas da Amazônia (Peru e Venezuela), Chao *et al.* (2009), verificaram que a necromassa foi maior na área que apresentou menor taxa de mortalidade (quanto ao número de árvores mortas), entretanto nesta área houve um maior acréscimo na biomassa morta estimada, indicando que houve a morte de árvores de diâmetros mais altos. Rice *et al.* (2004) verificaram uma maior quantidade de necromassa em sua área de estudo quando comparada com outras áreas da região. Segundo os autores isso ocorreu devido a um distúrbio ao qual a floresta foi submetida que ocasionou alta mortalidade na área.

Em um levantamento bibliográfico, Chao *et al.* (2009) encontraram relação positiva entre o estoque de necromassa com a biomassa e estimativas geradas a partir da mortalidade, desta forma, segundo os autores, a necromassa pode ser relacionada com parâmetros estruturais e dinâmicos da floresta, sendo que o segundo explica melhor a necromassa de determinada região.

3.5 ALOMETRIA

Alometria é o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos, tendo dois significados: (i) o desenvolvimento de uma parte do organismo em relação ao desenvolvimento do organismo inteiro ou de parte dele e (ii) o estudo das consequências do tamanho sobre as formas e os processos. No meio florestal, utiliza-se esse conceito como sendo o estudo do todo (volume, biomassa ou carbono) em função de partes do todo (DAP, altura total, altura comercial) (HIGUCHI, 2015).

O estudo destas relações entre o todo e partes do todo (diâmetro/altura, volume/diâmetro/altura, peso/diâmetro, etc.) possibilita o ajuste de modelos matemáticos, os quais são utilizados para obter estimativas através de equações de regressão (SCHNEIDER *et al.*, 2009). O objetivo mais comum do ajuste de equações é definir um modelo que represente o objeto de estudo, utilizando o menor número possível de variáveis (X = diâmetro, altura) para explicar o máximo da variabilidade da resposta (Y = volume, massa) e parametrizar coeficientes de regressão precisos para estas variáveis (GRAHAM, 2003).

Modelos matemáticos podem ser lineares ou não lineares, de simples ou múltipla entrada. Os modelos lineares são aqueles cujos coeficientes apresentam-se na forma aditiva ou subtrativa, elevados ao expoente unitário (DRAPER e SMITH, 1981) e possuem representação gráfica em linha reta (crescente ou decrescente). Modelos com características diferentes a estas são chamados não lineares. A entrada do modelo se refere ao número de variáveis independentes (X) utilizadas para predizer a variável dependente (Y) (HIGUCHI, 2015).

3.5.1 Alometria de volume para a necromassa

Estudos relacionados à volumetria de árvores na Amazônia têm contemplado o ajuste com dados de indivíduos sadios, utilizando-se do abate em campo ou amostragem de toras em pátios de estocagem em áreas de exploração florestal (ROLIM *et al.*, 2006; COLPINI *et al.*, 2009; THAINES *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2014; TONINI e BORGES, 2015). Lima (2010), utilizando amostragem de árvores caídas naturalmente na floresta, fez coleta de dados de árvores recém-caídas, em bom estado de conservação para o ajuste de modelos de volume, encontrando bons resultados.

Entretanto, apesar da necromassa também ser composta por indivíduos mortos recentemente, e em bom estado de conservação, grande parte dos seus componentes se apresentam em algum estágio de decomposição, inicial ou avançado (KELLER *et al.*, 2004; RICE *et al.*, 2004; PALACE *et al.*, 2007). Equações de volume ajustadas com dados de indivíduos sadios podem não ser favoráveis para estimar volume de árvores mortas que apresentem algum grau de decomposição. Troncos nesta situação muitas vezes não apresentam uniformidade na sua superfície, podendo apresentar maior variação nos valores de diâmetro ao longo da peça.

Na literatura consultada não foi encontrado nenhum estudo que tenha buscado ajustar algum modelo de volume a partir dos dados coletados da necromassa. Estudos que buscam quantificar a volumetria da necromassa tem como ponto de partida o cálculo da área transversal (g_i) de cada indivíduo, a partir da fórmula: $g_i = \frac{\pi D^2}{4}$ (onde D é o diâmetro medido). Desta forma diferentes métodos propõem alguns desdobramentos a partir desta fórmula, dentre os quais pode-se citar os mais comumente utilizados:

- (i) Tronco de cone, proposto por Harmon e Sexton (1996) (RICE *et al.*, 2004):

$$V_n = \frac{L (A_b + (A_b A_t)^{0,5} + A_t)}{3}$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

A_b = área da base;

A_t = área do topo;

L = comprimento.

- (ii) Equação proposta por Brown (1977) para amostragens em transectos (KELLER *et al.*, 2004; PALACE *et al.*, 2007; PALACE *et al.*, 2008):

$$V_n = \frac{\pi^2 \sum_{i=1}^n D^2}{8L}$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

D = Diâmetro da peça;

L = Comprimento do transecto.

- (iii) Fórmula de *Smalian*, considerando dois diâmetros ao longo do tronco (BAKER *et al.*, 2007; CHAO *et al.*, 2009; FIORINI, 2012):

$$V_n = \left[\frac{\pi (D_1^2 + D_2^2)}{8} \right] L$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

D_1 = Diâmetro na base;

D_2 = Diâmetro no topo;

L = Comprimento.

- (iv) A partir da área transversal, considerando apenas um diâmetro ao longo do tronco (BARBOSA *et al.*, 2009; FIORINI, 2012):

$$V_n = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

D = Diâmetro da peça;

L = Comprimento da peça.

- (v) Combinação de métodos *Smalian-Hohenald* com 10 seções (LIMA, 2010; HIGUCHI, 2015):

$$V_n = \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left(\frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + D_1^2 + \dots + D_9^2 \right\} \times \frac{L}{10}$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

D_0 = Diâmetro na base do tronco;

D_{10} = Diâmetro no topo do tronco;

$D_1, \dots, 9$ = Diâmetro das seções ao longo do tronco;

L = Comprimento do tronco.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO:

A pesquisa foi desenvolvida na área do Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS) e da empresa Mil Madeiras.

4.1.1 Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS): Floresta não manejada.

Localizado no município de Rio Preto da Eva (Amazonas), o DAS é um campo experimental pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental. O acesso dá-se através da rodovia BR – 174, com entrada no Km 938. A área destinada a estudos florestais compreende um total de 400 hectares de floresta primária, dividida em parcelas de 1 hectare (Figura 1).

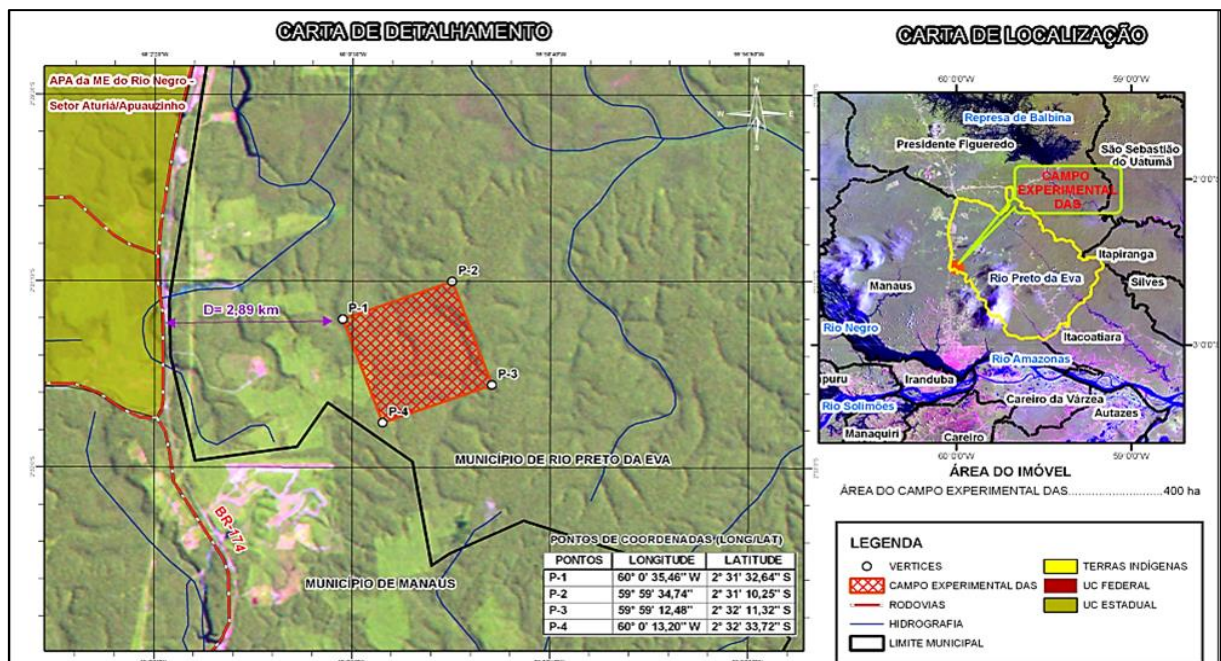


Figura 1: Localização da área de estudo no Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS), pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental. Rodovia BR – 174, Km 938, Rio Preto da Eva – AM. Fonte: SOUZA (2012).

A cobertura florestal é típica da floresta tropical úmida densa de terra firme. Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo “Am” (letra “A” é uma classificação do clima como Tropical Chuvoso, e letra “m” é decorrente de uma subclassificação, denominado

monçônico), quente e úmido. A precipitação média anual da área é de 2.619,5 mm com temperatura média anual 26 °C e umidade relativa média de 86% (SCARAZATTI, 2016). Os meses mais chuvosos vão de dezembro a maio (inverno amazônico), e os mais secos, de agosto a novembro (verão amazônico). A altitude varia entre 50 e 100 m (BRASIL, 1978).

Os solos predominantes na área são o latossolo amarelo com textura muito argilosa e os hidromórficos, cobertos predominantemente pela vegetação da floresta densa de terras baixas, com dossel emergente (IBGE 1999), constituídas por árvores de médio a grande porte (BRAZÃO *et al.*, 1993). Os locais de terra-firme são planaltos formados por sedimentos do período terciário que recobrem a maior extensão da Bacia Sedimentar Amazônica, apresentando topografias modeladas por formas de relevo dissecadas em amplos interflúvios tabulares e colinas (REGIS, 1993).

4.1.2 Mil Madeiras: Floresta manejada

A sede da empresa Mil Madeiras está localizada no município de Itacoatiara (Amazonas), no Km 01 da rodovia AM – 363 (Silves – Itapiranga), a qual se tem acesso a partir da rodovia AM-010 (Manaus – Itacoatiara), Km 227, a 140 km de distância, em linha reta, de Manaus (Figura 2).

A empresa atualmente conta com uma área total de 506.698,60 hectares no estado do Amazonas. As fazendas onde se concentram as atividades da empresa, todas em regime de Manejo Florestal certificado pelo FSC, somam uma área de 202.104,76 hectares, entre os municípios de Itacoatiara, Silves e Itapiranga.

A área da empresa está localizada em terra firme constituída pela floresta ombrófila densa, com altas temperaturas e alta precipitação, bem distribuída ao longo do ano (IBGE, 2012). Também podem ser encontradas as formações vegetais de Floresta de Alagadiço (Igapó) e Campinarana (PMFS/Mil Madeiras, 2013). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é “Am”. A precipitação média anual é de 2.200 mm, com menor volume mensal entre os meses de agosto e outubro. A temperatura média anual é 26 °C e a umidade relativa do ar média é 80% (VIEIRA E SANTOS, 1987).

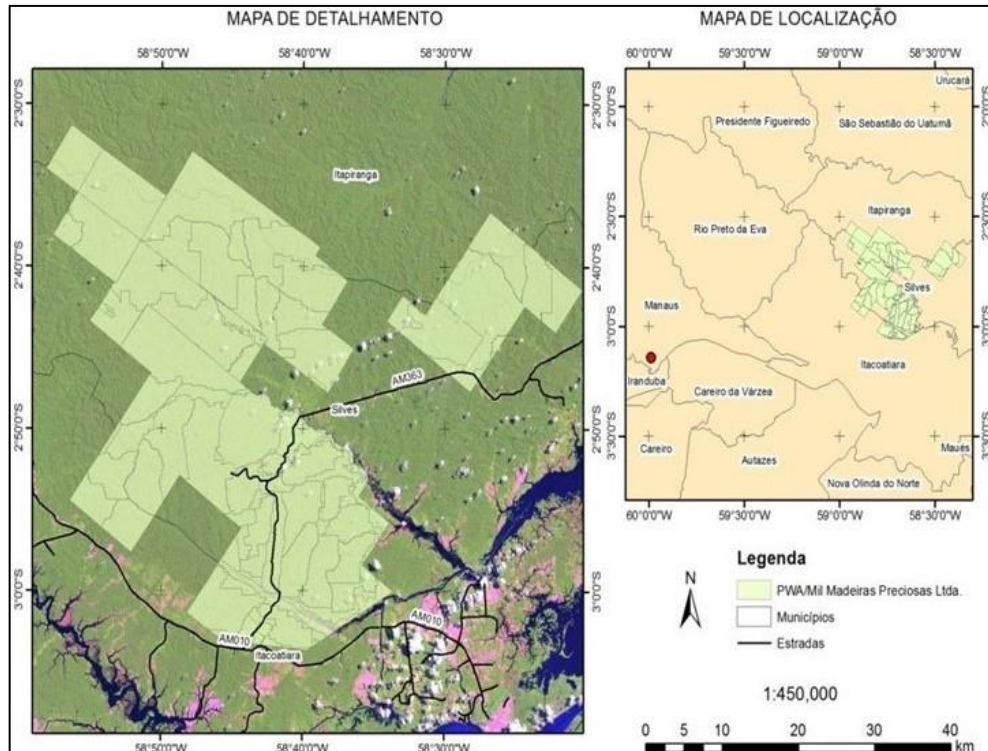


Figura 2: Localização da área de manejo florestal pertencente à empresa Mil Madeiras. Rodovia AM – 363, Km 01, Itacoatiara – AM Fonte: Mil Madeiras.

Os solos de maior ocorrência estão classificados no grupo dos Latossolos Amarelos (IBGE, 2015). Os solos dessa região apresentam baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio e textura argilosa (MENDONÇA, 2003). Segundo dados do projeto RADAM (BRASIL, 1978), a área está inserida na microrregião do Médio Amazonas, com baixa fertilidade natural, alta toxidez de alumínio e solos de textura argilosa.

4.2 UNIDADES AMOSTRAIS

As unidades amostrais utilizadas nesta pesquisa são parcelas permanentes instaladas no DAS e na Mil Madeiras. Cada parcela possui dimensões de 100 m x 100 m (1 hectare), divididas em 100 subparcelas de 10 m x 10 m (Figura 3).

Foram selecionadas, aleatoriamente, 20 parcelas para a coleta de dados, as quais foram distribuídas da seguinte forma:

- a) 5 parcelas no DAS;
- b) 15 parcelas na Mil Madeiras.

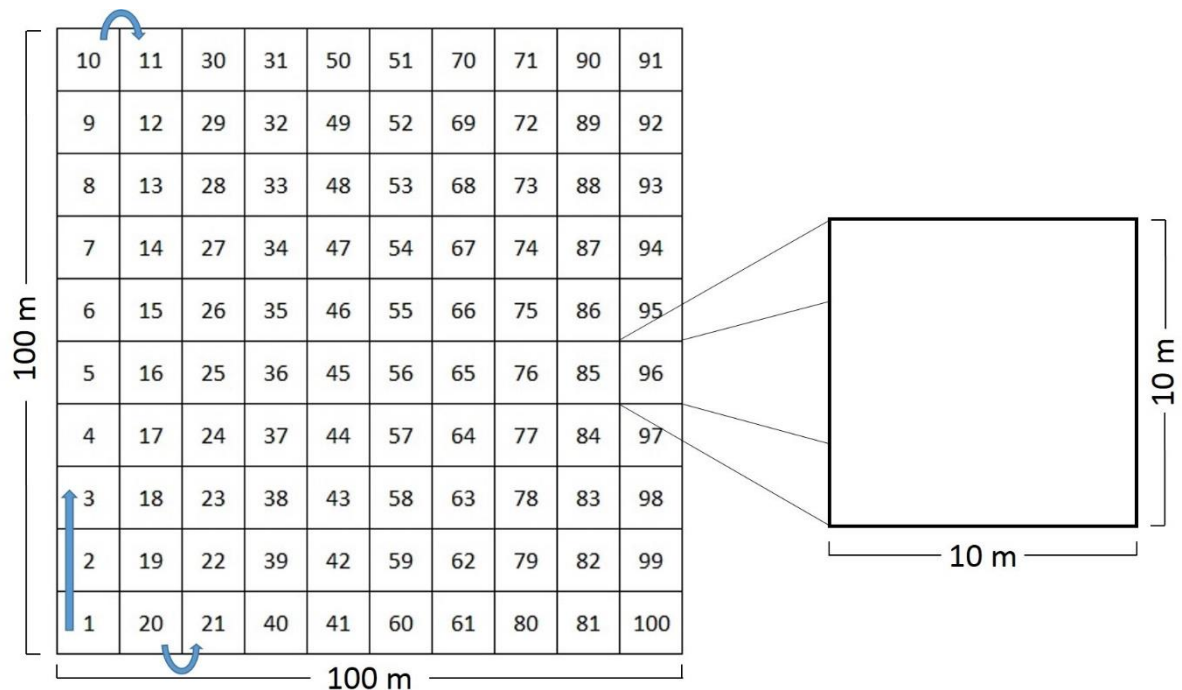


Figura 3: Representação esquemática das parcelas permanentes do Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS) e da Mil Madeiras.

As 15 parcelas da Mil Madeiras contemplam três Unidades de Produção Anual (UPA) denominadas: UPA B, UPA C e UPA D, sendo cinco parcelas em cada unidade. Na Tabela 1 são apresentadas informações relacionadas à exploração em cada uma destas UPA.

Tabela 1: Ano de exploração, área, volume explorado, número de árvores exploradas e intensidade de exploração (considerando a área total, exploração dentro das parcelas permanentes e nas parcelas selecionadas para coleta de dados) nas UPAs B, C e D.

UPA – Ano de exploração	Área (ha)		Volume exp. (m ³)	Nº Árvores exploradas	Intens. de Exploração (m ³ ha ⁻¹)		
	Total	Preservada			Total	P.P.	5 parcelas
B – 1996/97	2.598,56	460,56	44.405,70	11.693	20,77	39,45	41,77
C – 1997	2.613,11	591,11	33.694,60	7.745	16,66	13,85	16,03
D – 1998	2.776,37	558,27	50.216,60	11.017	22,64	29,17	23,87

Fonte: Souza (2015)

As parcelas permanentes instaladas visam o monitoramento florestal (Tabela 2), com o objetivo de conhecer a dinâmica natural da floresta, estabelecimento de tratos silviculturais, assim como sua recuperação após as atividades de exploração florestal, no caso de floresta manejada.

Tabela 2: Monitoramento das parcelas permanentes por meio de inventário florestal contínuo nas áreas da Mil Madeiras e Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (DAS).

Inventário Florestal Contínuo				
Medição	Mil Madeiras ¹ / UPA			DAS ²
	B	C	D	
1	Dez / 1996	Out / 1997	Abr / 1998	Abr / 2005
2	Mai / 1998	Ago / 2001	Out / 2001	Nov / 2007
3	Mar / 2001	Dez / 2014	Dez / 2014	Nov / 2010
4	Ago / 2014			Fev / 2014

Fonte: ¹Souza (2015); ²Silva *et al.* (2015)

4.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no mês de novembro de 2015 e julho de 2016 no DAS e nos meses de dezembro de 2015 e janeiro de 2016 na Mil Madeiras.

4.3.1 Necromassa lenhosa caída

No inventário de madeira morta caída, foram medidos os troncos cuja base (toco) foi identificada dentro dos limites da parcela. Troncos caídos dentro da área amostrada cuja base estivesse fora dos limites não foram coletados (Figura 4). O diâmetro mínimo de inclusão foi de 10 cm, em medições a 1,30 m da base do tronco.

Para a volumetria desse compartimento da necromassa foi realizada a cubagem rigorosa dos troncos caídos (Figura 5), adotando-se a combinação dos métodos de *Smalian* (medição dos diâmetros na base e no topo de cada seção) e *Hohenald* (divisão relativa do comprimento em 10 seções). Tomaram-se medidas de altura comercial (até a primeira bifurcação, ou primeiros galhos) e altura total (quando foi identificado resíduo de copa ou galhos).

O volume foi calculado a partir da seguinte expressão:

$$V_n = \frac{\pi}{4} \times \left\{ \left(\frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + D_1^2 + \dots + D_9^2 \right\} \times \frac{L}{10}$$

Em que:

V_n = Volume de necromassa;

D_0 = Diâmetro na base do tronco;

D_{10} = Diâmetro no topo do tronco;

$D_1, \dots, 9$ = Diâmetro das seções ao longo do tronco;

L = Comprimento do tronco.

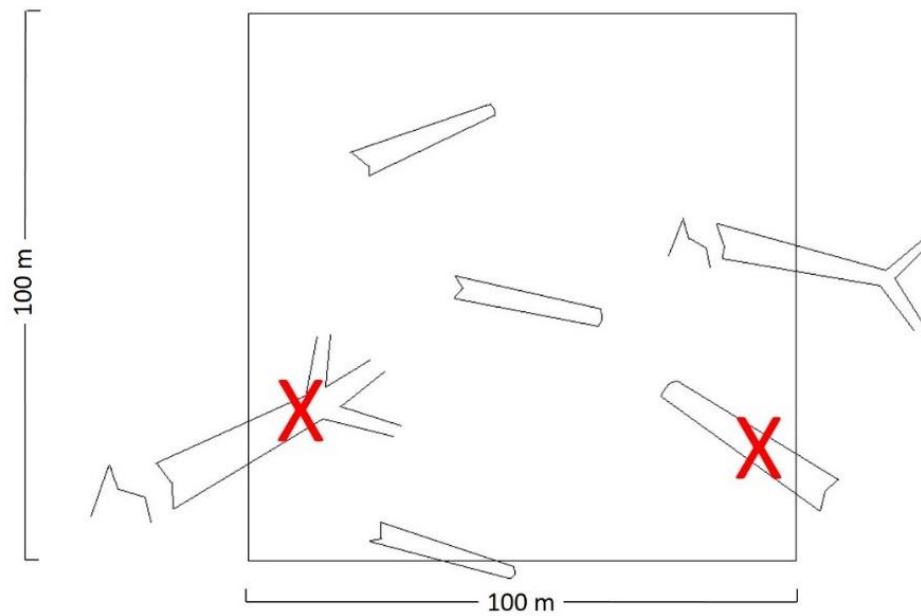


Figura 4: Representação do critério de inclusão de troncos a serem medidos dentro de uma parcela.



Figura 5: Cubagem rigorosa de troncos caídos para estimativa do volume de necromassa através do método combinado de *Smalian-Hohenald*.

4.3.2 Necromassa lenhosa em pé

Foram medidos indivíduos mortos em pé encontrados dentro das unidades amostrais, medindo-se o diâmetro daqueles com DAP (diâmetro à altura do peito) mínimo de 10 cm. Com auxílio de trena foi possível medir a altura residual dos fustes de até quatro metros. A fim de se evitar erros não amostrais, para fustes maiores que esta medida não foram feitas estimativas de altura. Quando o fuste não atingia a altura do DAP (tocos de madeira com altura inferior a 1,30 m), foi medido o diâmetro central do indivíduo, além de sua altura residual.

A estimativa do volume da necromassa em pé foi realizada a partir dos seguintes modelos relacionados abaixo:

a) Para floresta não manejada:

$$V_n = 0,001176 \times \text{DAP}^{1,9987} \quad (R^2 = 0,89; S_{yx} = 2,02\%) \quad (\text{LIMA, 2010});$$

$$V_n = 0,000018 \times \text{DAP}^{2,047238} \times L^{1,40475} \quad (R^2 = 0,98; S_{yx} = 18,38\%)^{1, 2};$$

b) Para floresta manejada (LIMA, 2010):

$$V_n = 0,001176 \times \text{DAP}^{1,9987} \quad (R^2 = 0,89; S_{yx} = 2,02\%)^3;$$

$$V_n = 0,000512 \times \text{DAP}^{2,164882} \quad (R^2 = 0,79; S_{yx} = 1,79\%)^4;$$

$$V_n = 0,000073 \times \text{DAP}^{2,04364} \times L^{0,864179} \quad (R^2 = 0,94; S_{yx} = 0,95\%)^2.$$

Em que:

V_n = Volume da necromassa (m³);

DAP = Diâmetro à altura do peito (cm);

L = Comprimento do tronco (m).

¹ Modelo ajustado com os dados da cubagem.

² Quando foi possível medir altura.

³ Se DAP < 45 cm.

⁴ Se DAP ≥ 45 cm.

4.3.3 Grau de Decomposição

Quanto ao nível de decomposição, as peças de madeira encontradas nas unidades amostrais, tanto em pé quanto caídas, foram classificadas de forma tátil-visual, conforme descrição proposta por Barbosa *et al.* (2009) (Tabela 3).

Tabela 3: Descrição das classes de decomposição da madeira.

Classe de decomposição	Descrição
1	Deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos (suposição de perda líquida de massa $\leq 10\%$).
2	Peças com leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial (suposição de 11 a 30% de comprometimento).
3	Peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque (+ 30% de comprometimento).

Na Figura 6 é possível verificar as características visuais de cada classe de decomposição.



Figura 6: Características visuais das classes de decomposição consideradas: a) classe 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; b) classe 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; c) classe 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

4.4 ESTIMATIVA DO PESO E CARBONO DA NECROMASSA

As estimativas de peso e carbono da necromassa foram obtidas a partir das equações propostas por Silva (2007):

$$\begin{aligned} PF &= 2,2737 \times D^{1,9156} \quad (R^2 = 0,85; S_{yx} = 4,2\%) \\ PF &= 0,0039 \times D^{1,5268} \times H_t^{2,2973} \quad (R^2 = 0,93; S_{yx} = 2,99\%) \\ PF &= 1,5370 \times D^{1,7527} \times H_c^{0,3719} \quad (R^2 = 0,86; S_{yx} = 4,1\%) \\ PS &= PF \times 0,592 \\ C &= PS \times 0,485 \end{aligned}$$

Em que:

D = diâmetro à altura do peito (DAP);

H_t = altura total da árvore;

H_c = altura comercial da árvore;

PF = biomassa fresca acima do nível do solo;

PS = biomassa seca acima do nível do solo;

C = carbono da vegetação acima do nível do solo.

4.5 MORTALIDADE

Os dados dos inventários florestais contínuos foram disponibilizados para consulta e análise. Desta forma, utilizaram-se dados referentes aos inventários realizados nos seguintes anos: área não manejada – 2005 e 2014; área manejada – 2001 e 2014. A estimativa de carbono dos indivíduos mortos foi feita considerando o modelo proposto por Silva (2007). A taxa de mortalidade de cada área foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$M (\%) = \frac{\text{Número de árvores mortas em } t_2}{\text{Número total de árvores em } t_1} \times 100$$

Em que:

M (%) = Taxa de mortalidade;

t₁ = Primeira medição.

t₂ = Segunda medição;

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

4.6.1 Inventário da Necromassa

Para a análise descritiva dos dados utilizou-se a amostragem inteiramente casualizada com um nível de probabilidade de erro de 5% ($\alpha = 0,05$) (PÉLLICO NETO e BRENA, 1997).

4.6.2 Normalidade dos dados

O teste de *Shapiro-Wilk* ($P = 95\%$) foi utilizado para testar a hipótese de que os dados apresentam distribuição normal e podem ser analisados a partir dos conceitos da estatística paramétrica. Para verificar a homocedasticidade das variâncias foram realizados testes específicos para cada análise.

4.6.3 Necromassa em área não manejada e área manejada

Utilizou-se o teste t de *Student* para comparar as médias de necromassa nas áreas não manejada e manejada. A aplicação deste teste é indicada quando o tamanho amostral é inferior a 30 elementos. Considerou-se duas amostras independentes, já que a área manejada não exerce influência sobre a área não manejada. Desta forma, ao comparar duas médias independentes de populações normais, deve-se considerar duas situações distintas, de acordo com a pressuposição de igualdade das variâncias (CECON *et al.*, 2012).

Para testar a hipótese de que as variâncias são iguais (H_0), foi utilizando o teste F. Se H_0 não for rejeitado, admite-se que as variâncias sejam iguais, utiliza-se a variância ponderada combinada. Se H_0 for rejeitado, admite-se que as variâncias não são iguais, portanto não há necessidade de combiná-las.

4.6.4 Influência dos diferentes níveis de exploração florestal na necromassa

O teste de *Bartlett* foi utilizado para testar a hipótese de homogeneidade das variâncias. Para avaliar o efeito dos diferentes níveis de intensidade de exploração na necromassa, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA) inteiramente casualizada ao nível de significância de 95% de probabilidade. A comparação entre médias foi realizada pelo teste

de Tukey ao nível de 95% de probabilidade, sendo considerados quatro tratamentos: um tratamento testemunha (sem exploração – DAS) e três tratamentos com diferentes níveis de intensidade de exploração (UPAs B, C e D).

4.6.5 Estoques de necromassa e estimativas geradas a partir da taxa de mortalidade

Em cada área, floresta não manejada e floresta manejada (UPA B, UPA C e UPA D), foi realizado o teste t de *Student* para comparar a necromassa média medida em campo e estimada pela taxa de mortalidade do inventário contínuo, ao nível de significância de 95% de probabilidade.

4.7 ALOMETRIA PARA A NECROMASSA

A partir dos dados de volume obtidos com a cubagem rigorosa dos indivíduos, foram ajustados quatro modelos volumétricos para duas situações: (a) dados agrupados por classe de decomposição no DAS e Mil Madeiras; (b) dados agrupados por área de estudo. Os modelos testados são os mais comumente utilizados em trabalhos que visam ajuste volumétrico, e têm apresentado bons resultados para florestas na Amazônia (COLPINI *et al.*, 2009; LIMA, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2014; TONINI e BORGES, 2015; HIGUCHI, 2015). Neste ajuste, cada indivíduo cubado será considerado uma repetição.

Tabela 4: Modelos volumétricos ajustados para estimativa da necromassa.

Número	Modelo	Autor
1	$V_n = \beta_0 DAP^{\beta_1}$	<i>Berkhout</i>
2	$V_n = \beta_0 DAP^{\beta_1} H_c^{\beta_2}$	<i>Schumacher-Hall</i>
3	$V_n = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H$	<i>Spurr</i>
4	$V_n = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	<i>Kopezi-Gehrardt</i>

Legenda: V_n = volume de necromassa, em m^3 ; β_0 , β_1 , β_2 = coeficientes da equação; DAP = diâmetro à altura do peito, em cm; H_c = altura comercial, em m.

Após ajuste dos modelos, foi efetuada a análise de variância da regressão. A constatação se houve ou não regressão entre as variáveis dependentes e independentes foi realizada partir do teste F, o qual testou a hipótese de que há pelo menos um parâmetro

estatisticamente diferente de zero ($\alpha = 0,05$). Constatada a regressão, cada parâmetro foi avaliado individualmente, através do teste t, para verificar se há algum estatisticamente igual a zero ($\alpha = 0,05$). A seleção do melhor modelo foi feita a partir das seguintes medidas de precisão:

- (i) Coeficiente de correlação (r): mede o grau de associação de duas variáveis. Varia de -1 a 1, quanto mais próximo dos extremos, melhor a correlação entre as variáveis, sendo que apresenta comportamento diretamente proporcional quando o valor for positivo e inversamente proporcional quando o valor for negativo;
- (ii) Coeficiente de determinação (R^2): representa a proporção da variação total que é explicada pela regressão. O valor apresentado varia de 0 a 1; quanto mais próximo de 1, maior a precisão da equação (CECON *et al.*, 2012; SOARES *et al.*, 2012);
- (iii) Coeficiente de variação (CV): indica o erro médio associado ao uso da equação (SOARES *et al.*, 2012).
- (iv) Distribuição gráfica dos resíduos: obtida pela diferença entre os valores observados da variável dependente e os valores estimados pela equação. É desejável que no gráfico os resíduos se apresentem uniformemente distribuídos e próximos a zero (SOARES *et al.*, 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

5.1.1 Área não manejada

A estatística descritiva dos dados obtidos no inventário da necromassa na área não manejada é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Estatística descritiva da necromassa na área não manejada para o número de indivíduos (ha^{-1}), volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), peso e carbono (Mg ha^{-1}).

Estimativa	N. Indivíduos (ha^{-1})	Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Peso (Mg ha^{-1})	Carbono (Mg ha^{-1})
Média (\bar{x})	67,00	44,41	40,80	19,79
Variância (S^2)	571,50	170,07	80,92	19,03
Desvio Padrão (S)	23,91	13,04	9,00	4,36
Variância da Média ($S_{\bar{x}}^2$)	35,68	29,36	22,05	22,05
Erro Padrão da Média ($S_{\bar{x}}$)	114,30	34,01	16,18	3,81
Coef. de Variação (CV%)	10,69	5,83	4,02	1,95
Erro Absoluto (E_{abs})	29,68	16,19	11,17	5,42
Erro Relativo ($E_{\%}$)	44,30	36,45	27,37	27,37

Nas cinco parcelas localizadas na área de floresta não manejada encontra-se um total de 335 indivíduos mortos, representando uma média de $67,0 \pm 29,7$ indivíduos por hectare. Deste total há uma média de $26,8 \pm 11,7$ troncos mortos em pé e $40,2 \pm 19,1$ troncos caídos. Os indivíduos mortos caídos contribuem com maior parte do estoque, representando 60% do total. Apesar dessa diferença numérica, pelo teste t de *Student* não se observou diferença significativa entre as médias de troncos caídos e em pé ($\rho = 0,14$), a uma probabilidade de 95%.

A distribuição dos indivíduos entre troncos caídos e em pé, foi semelhante ao encontrado por Chao *et al.* (2008), que, em duas áreas distintas, verificaram que a necromassa caída representou 57% e 66%. Baker *et al.* (2007) apresentam a relação de 77% de necromassa caída e 33% de necromassa em pé. É importante comentar que a necromassa em

pé só é medida em estudos realizados pelo método de área fixa, desta forma boa parte dos estudos não contemplam este componente do estoque total.

O volume médio total encontrado foi de $44,41 \pm 16,19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sendo $20,52 \pm 7,77 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em indivíduos em pé e $23,89 \pm 11,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em indivíduos caídos. Também não houve diferença significativa entre estas médias pelo teste t ($\rho = 0,53$). Para esta variável os indivíduos caídos continuaram sendo responsáveis pela maior parte do volume, representando 54% do total.

O estoque volumétrico pode ser considerado baixo quando comparado com alguns estudos na Amazônia. Chao *et al.* (2008), utilizando amostragem por linha interceptora, encontraram valores médios iguais a $74,7 \pm 5,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em floresta de terra firme, $108,8 \pm 3,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em campinarana e $42,8 \pm 20,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em várzea, este último apresentando diferença significativa para os demais. Chao *et al.* (2009), utilizando parcelas permanentes em florestas de terra firme na Venezuela, encontraram médias de $109,43 \pm 82,66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $64,89 \pm 16,78 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Baker *et al.* (2007), em parcelas permanentes no Peru, verificaram média de $44,06 \pm 9,66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Para a Amazônia brasileira, no estado do Pará, Cruz Filho e Silva (2009) observaram uma média de $82,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Ao considerar florestas da região sul e sudeste do Brasil, o volume de necromassa no DAS é bastante superior. Cardoso *et al.* (2012) encontraram volume de $18,73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $13,40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $10,22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no estado de Santa Catarina. Ribeiro *et al.* (2012), no estado do Paraná, encontraram volumes médios de $10,99 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $17,88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Silva (2013), no Rio de Janeiro, encontrou médias de $10,11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $11,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Estudos nessas regiões são concentrados em área de floresta de Araucárias e área de Mata Atlântica.

Na Tabela 6 é apresentado o volume de necromassa por classe de decomposição. Maior parte da madeira morta apresenta elevado grau de decomposição (classe 3), a qual representa 60% do volume total.

Este percentual de madeira em grau elevado de decomposição é menor que os valores relatados por Baker *et al.* (2007) e Cruz Filho e Silva (2009), os quais encontraram, respectivamente, 79% e 95% do volume de necromassa nessa classificação. Essa diferença pode indicar que a área do DAS apresenta taxas de decomposição menores que outras regiões da Amazônia.

Tabela 6: Volume da necromassa, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, por classe de decomposição na área não manejada.

Classe de decomposição	Em pé ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Caído ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Total ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
1	$3,73 \pm 5,59$	$1,90 \pm 2,02$	$5,63 \pm 5,81$
2	$6,74 \pm 5,69$	$5,60 \pm 1,93$	$12,34 \pm 4,63$
3	$10,05 \pm 4,59$	$16,39 \pm 10,45$	$26,44 \pm 13,80$
Total	$20,52 \pm 7,77$	$23,89 \pm 11,86$	$44,41 \pm 16,19$

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

A estimativa média de peso total da necromassa foi de $40,80 \pm 11,17 \text{ Mg ha}^{-1}$. Na necromassa em pé foi verificado uma média de $20,67 \pm 8,20 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $20,13 \pm 6,14 \text{ Mg ha}^{-1}$ para necromassa caída. As estimativas de carbono foram iguais a $19,79 \pm 5,42 \text{ Mg ha}^{-1}$ na necromassa total, $10,03 \pm 3,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ nos indivíduos em pé e $9,76 \pm 2,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ nos indivíduos caídos. A partir do teste t de *Student*, em ambas situações, não se constatou diferença estatística entre as médias de necromassa em pé e caída ($\rho = 0,89$, $\alpha = 0,05$), sendo que os dois compartimentos contribuem de forma semelhante para a média total: 50,7% para a necromassa em pé e 49,3% para necromassa caída.

Utilizando amostragem por linha interceptora, Baker *et al.* (2007) encontraram valores médios para o peso da necromassa iguais a $24,4 \pm 4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em florestas de terra firme, campina e várzea, Chao *et al.* (2008) constataram pesos médios de $30,9 \pm 5,4 \text{ Mg ha}^{-1}$; $45,8 \pm 7,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e; $10,3 \pm 6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente. Estes autores também realizaram amostragem em parcelas permanentes, observando uma variação nos pesos médios: $17,7 \pm 2,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $20,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (terra firme) e $41,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ em campina. Em áreas não exploradas de terra firme na Amazônia brasileira, alguns estudos apresentam maiores valores para o peso da necromassa. Palace *et al.* (2007) encontraram média de $50,2 \pm 1,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ no estado do Mato Grosso e $58,4 \pm 0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ no Pará. Keller *et al.* (2004) encontraram valores entre $49,7 \pm 16,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $59,9 \pm 15,8 \text{ Mg ha}^{-1}$. Estas diferenças, independentemente da metodologia, demonstram a amplitude de valores que o estoque de necromassa pode apresentar de acordo com características da vegetação.

A variação no peso da necromassa se torna ainda maior quando se consideram outros tipos de vegetação. Em área de Mata Atlântica na Argentina, Zaninovich *et al.* (2016) encontraram estoque de $5,4 \pm 3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ para os indivíduos a partir de 10 cm. Quando considerados indivíduos a partir de 2 cm, o valor subiu para $13,5 \pm 1,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Nas regiões

sul e sudeste do Brasil verifica-se estoque bem abaixo: 5,26 – 6,01 Mg ha⁻¹ no estado do Paraná (DEUS, 2015); 8,2 – 12,2 Mg ha⁻¹ no estado de Santa Catarina (CARDOSO *et al.*, 2012); 9,33 – 9,95 Mg ha⁻¹ no estado de São Paulo (VIEIRA *et al.*, 2011). Em contrapartida, numa floresta de pinheiro não explorada no México, Galicia *et al.* (2015) encontraram variação de necromassa entre 79 – 95 Mg ha⁻¹, bastante superior ao valor observado para o DAS.

As estimativas para peso e carbono por classe de decomposição são apresentadas na Tabela 7. Assim como o volume, maior parte dos indivíduos apresentam alto grau de decomposição, onde 62% do peso e carbono estão presentes na classe de decomposição 3. As classes um e dois contribuem com 11% e 27%, respectivamente, do total.

Tabela 7. Peso e carbono da necromassa, em Mg ha⁻¹, por classe de decomposição na área não manejada.

Classe de decomposição	Em pé (Mg ha ⁻¹)		Caído (Mg ha ⁻¹)		Total (Mg ha ⁻¹)	
	Peso	Carbono	Peso	Carbono	Peso	Carbono
1	3,29 ± 4,82	1,60 ± 2,34	1,27 ± 1,14	0,61 ± 0,55	4,56 ± 5,35	2,21 ± 2,60
2	6,04 ± 5,00	2,93 ± 2,43	4,80 ± 1,78	2,33 ± 0,86	10,84 ± 4,38	5,26 ± 2,12
3	11,34 ± 4,15	5,50 ± 2,01	14,06 ± 5,72	6,82 ± 2,78	25,40 ± 7,44	12,32 ± 3,61
Total	20,67 ± 8,20	10,03 ± 3,98	20,13 ± 6,14	9,76 ± 2,98	40,80 ± 11,17	19,79 ± 5,42

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

A concentração da necromassa em classes de maior decomposição também já foi observada em outras regiões. Baker *et al.* (2007) observaram que mais de 70% dos indivíduos apresentavam grau elevado de decomposição. Keller *et al.* (2004) relatam que até 76% do peso da necromassa está presente nesta classe. Estes valores demonstram a elevada capacidade das florestas amazônicas no processo de decomposição da matéria orgânica. Entretanto, Chao *et al.* (2008) observaram que apenas 18,8% e 9,5% do peso da necromassa apresentou esse nível de decomposição. Estes autores relatam a ocorrência de tempestades na área de abrangência do estudo, o que deve ter ocasionado a morte de árvores em um período mais próximo à coleta de dados, proporcionando, assim, um maior estoque em estágio inicial de decomposição.

Pesquisas na Amazônia direcionadas à necromassa não têm apresentado resultados diretos para o estoque de carbono. Entretanto, para comparação entre alguns resultados, essa estimativa pode ser feita tomando o peso verificado da necromassa e multiplicando-o pelo teor de carbono considerado no presente estudo: 0,485. Desta forma, observa-se que o carbono disponível no DAS está abaixo do observado em outros locais na Amazônia.

As estimativas de peso da necromassa podem levar a algumas incertezas. Apesar das diferenças entre os ecossistemas, as diferenças metodológicas para a determinação da necromassa também é apontada como contribuir para essas diferenças nos estoques, podendo-se citar os critérios de inclusão dos indivíduos na coleta de dados (troncos, galhos grossos, galhos finos, diâmetro mínimo) (BAKER *et al.*, 2007; CHAO *et al.*, 2008).

5.1.2 Área manejada

A estatística descritiva dos dados obtidos no inventário da necromassa na área manejada é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Estatística descritiva da necromassa na área manejada para o número de indivíduos (ha^{-1}), volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), peso e carbono (Mg ha^{-1}).

Estimativa	N. Indivíduos (ha^{-1})	Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Peso (Mg ha^{-1})	Carbono (Mg ha^{-1})
Média (\bar{x})	102,20	72,46	66,18	32,10
Variância (S^2)	220,03	389,82	297,90	70,07
Desvio Padrão (S)	14,83	19,74	17,26	8,37
Variância da Média ($S_{\bar{x}}^2$)	14,51	27,25	26,08	26,08
Erro Padrão da Média ($S_{\bar{x}}$)	14,67	25,99	19,86	4,67
Coef. de Variação (CV%)	3,83	5,10	4,46	2,16
Erro Absoluto (E_{abs})	8,22	10,93	9,56	4,64
Erro Relativo ($E_{\%}$)	8,04	15,09	14,44	14,44

Nas 15 parcelas localizadas na área de floresta manejada foi encontrado um total de 1.533 indivíduos mortos, representando uma média de $102,2 \pm 8,2$ indivíduos por hectare. Deste total, 57% é representado por troncos caídos ($57,9 \pm 5,0$) e 43% por indivíduos em pé ($44,3 \pm 4,7$). Na comparação entre médias pelo teste t, constatou-se diferença significativa

entre troncos caídos e em pé ($\rho = 0,00$; $\alpha = 0,05$). Essa diferença pode ser explicada pelo distúrbio causado pelas atividades de exploração florestal, mais especificamente a derrubada de árvores de interesse comercial que, conseqüentemente, ocasiona a queda de árvores adjacentes.

O volume médio total de necromassa é de $72,46 \pm 10,93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sendo 53% presente em troncos caídos ($38,67 \pm 6,96 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 47% em troncos em pé ($33,79 \pm 6,90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Diferentemente do que foi observado para o número de indivíduos, o teste t não resultou em diferença significativa entre as médias para troncos em pé e caídos ($\rho = 0,33$; $\alpha = 0,05$). Essa mudança no comportamento estatístico entre número de indivíduos e volume pode ser explicada a partir da utilização da técnica de corte direcional de árvores, a qual visa derrubar as árvores na direção que apresenta menor resistência para queda, e mesmo ocasionando um número maior de indivíduos caídos, estes tendem a apresentar diâmetros menores, influenciando em um menor volume.

O volume de necromassa na Mil Madeira está abaixo do observado em outras em áreas de manejo florestal na Amazônia. Em duas áreas sob exploração florestal no estado do Pará, Keller *et al.* (2004) encontraram volumes médios variando entre $130,1 \pm 29,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a $204,8 \pm 50,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Palace *et al.* (2007), no estado do Mato Grosso, encontraram média de $121,1 \pm 19,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Cruz Filho e Silva (2009), em pesquisa realizada no Pará, encontraram volume médio de $137,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Nos dois primeiros casos foram incluídos na coleta de dados indivíduos a partir de dois centímetros de diâmetro, para o terceiro caso os autores consideraram indivíduos a partir de 10 cm. Todos esses estudos foram feitos utilizando a amostragem por linha interceptora. Entretanto a principal diferença não deve ser atribuída ao tipo de amostragem, ou mesmo ao diâmetro mínimo de inclusão, nestes casos citados houve a inclusão de galhos na coleta de dados, o que pode ter influenciado esta superioridade no volume.

Na tabela 9 é apresentado o volume por classe de decomposição para a necromassa em pé, caída e total. Apenas na classe 1 o volume de madeira morta em pé é maior que o volume de madeira caída. De forma geral, a necromassa com alto grau de decomposição representa mais da metade do volume, representando 55% do total.

Keller *et al.* (2004) observaram que a contribuição de indivíduos nas classes de maior grau de decomposição variou de 45% a 65%. Cruz Filho e Silva (2009) verificaram que 87% do volume estava em indivíduos nas últimas classes de decomposição. Estes autores realizaram a coleta de dados em áreas cuja exploração aconteceu nos anos de 2000 e 2003,

respectivamente. A exploração na Mil Madeiras aconteceu anteriormente a estas, e ainda assim há um menor volume de madeira morta com alta decomposição. Este fato pode indicar uma maior taxa de decomposição para as florestas supracitadas em relação a esta última, uma vez que não é citada a ocorrência de morte recente de árvores que poderia influenciar em um volume de necromassa com características de decomposição inicial.

Tabela 9. Volume da necromassa por classe de decomposição na área manejada.

Classe de decomposição	Em pé (m ³ ha ⁻¹)	Caído (m ³ ha ⁻¹)	Total (m ³ ha ⁻¹)
1	5,37 ± 2,53	1,71 ± 0,83	7,08 ± 2,70
2	10,08 ± 2,95	15,24 ± 4,18	25,32 ± 6,29
3	18,34 ± 3,89	21,72 ± 3,95	40,06 ± 6,44
Total	33,79 ± 6,90	38,67 ± 6,96	72,46 ± 10,93

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

Para o peso, a estimativa média foi de $66,19 \pm 9,56$ Mg ha⁻¹. Este valor é dividido, em média, da seguinte forma: $37,22 \pm 6,28$ Mg ha⁻¹ na necromassa em pé e $28,97 \pm 4,60$ Mg ha⁻¹ na necromassa caída. As estimativas médias de carbono foram: $32,09 \pm 4,64$ Mg ha⁻¹ na necromassa total; $18,05 \pm 3,24$ Mg ha⁻¹ na necromassa em pé e; $14,04 \pm 2,23$ Mg ha⁻¹ na necromassa caída. Tanto para peso quanto para o carbono os troncos em pé contribuem com maior parte do estoque, representando 56% da estimativa total. Foi verificada diferença estatística entre troncos em pé e troncos caídos pelo teste t ($\rho = 0,04$; $\alpha = 0,05$).

Os indivíduos com alto grau de decomposição contabilizam a maior parte das estimativas de peso e carbono, representando 61% do total (Tabela 12). As outras duas classes contribuem com 10% (classe 1) e 29% (classe 2).

Estes resultados não diferem muito de outros obtidos em florestas sob manejo na Amazônia, mas ainda assim são menores que os relatados por outros autores. Keller *et al.* (2004) verificaram variação no peso da necromassa entre 62 e 118 Mg ha⁻¹, sendo os maiores valores encontrados em florestas com alto índice de impacto na vegetação, em áreas exploradas sem manejo florestal. Palace *et al.* (2007) encontraram valores médios de $75,9 \pm 7,8$ Mg ha⁻¹ no Mato Grosso e $86,5 \pm 14,9$ Mg ha⁻¹ no Pará. Rice *et al.* (2004) estimaram uma média de carbono na necromassa igual a $48,5 \pm 5,2$ Mg ha⁻¹. Nestes levantamentos constatou-

se que a necromassa em pé contribuiu com 12%, 15% e 18%, respectivamente, nos estoques totais (peso e carbono), relação bem abaixo da observada na Mil Madeiras.

Tabela 10: Peso e carbono da necromassa, em Mg ha^{-1} , por classe de decomposição na área manejada.

Classe de decomposição	Em pé (Mg ha^{-1})		Caído (Mg ha^{-1})		Total (Mg ha^{-1})	
	Peso	Carbono	Peso	Carbono	Peso	Carbono
1	5,24 ± 2,41	2,54 ± 1,17	1,37 ± 0,66	0,66 ± 0,32	6,61 ± 2,55	3,20 ± 1,24
2	10,38 ± 2,93	5,03 ± 1,42	9,06 ± 2,48	4,39 ± 1,20	19,44 ± 4,94	9,42 ± 2,40
3	21,60 ± 3,98	10,48 ± 1,93	18,54 ± 3,72	8,99 ± 1,81	40,14 ± 6,80	19,47 ± 3,30
Total	37,22 ± 6,28	18,05 ± 3,24	28,97 ± 4,60	14,04 ± 2,23	66,19 ± 9,56	32,09 ± 4,64

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque.

Em duas florestas de pinheiros exploradas no México, uma seca e outra úmida, Galicia *et al.* (2015) observaram o peso da necromassa variando entre 63 a 177 Mg ha^{-1} considerando resíduos a partir de 2 cm. Segundo os autores, o regime pluviométrico contribuiu para que a floresta úmida apresentasse maior estoque. O índice pluviométrico da região amazônica é superior ao relatado nesse estudo, mas apesar disso o peso da necromassa na Mil Madeiras está próximo ao limite inferior.

Os resultados obtidos estão próximos de uma variação relatada em outras regiões da Amazônia submetidas à manejo florestal. Entretanto o valor está sempre próximo ao mínimo observado em outros levantamentos. Constata-se uma boa contribuição da necromassa em indivíduos entre 2 cm e 10 cm, desta forma acredita-se que o estoque de necromassa da Mil Madeiras seria mais elevado se fosse considerado, também, este critério de inclusão para o diâmetro mínimo, além da inclusão de galhos nas medições.

De forma geral os estoques de necromassa estão associados à mortalidade (número de indivíduos mortos) e decomposição em cada área. Alta mortalidade e decomposição lenta favorecem um maior estoque (BAKER *et al.*, 2007). Naturalmente cada ecossistema apresentará suas peculiaridades as quais influenciam no estoque de necromassa. Alguns fatores ambientais podem contribuir nestas diferenças, tais como o clima, o qual pode influenciar nas taxas de decomposição (DELANEY *et al.*, 1998); índices de inundações no caso de florestas de várzea (CHAO *et al.*, 2008); dinâmica da floresta (CHAO *et al.*, 2009);

eventos climáticos (RICE *et al.*, 2004). O estoque elevado de necromassa na classe de decomposição três, tanto no DAS quanto na Mil Madeiras, indica que os fatores ambientais destas áreas estão favorecendo uma rápida decomposição da necromassa, ocasionando a liberação mais rápida de carbono para a atmosfera.

5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.2.1 Normalidade dos dados

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) mostram que todos os dados apresentam distribuição normal (Tabela 11). Desta forma as análises estatísticas foram conduzidas a partir dos conceitos da estatística paramétrica.

Tabela 11: Teste de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) para a hipótese de normalidade dos dados para o número de indivíduos, volume, peso e carbono da necromassa.

Necromassa	<i>p-value</i>			
	Núm. indivíduos	Volume	Peso	Carbono
Em pé	0,34	0,27	0,22	0,22
Caído	0,17	0,84	0,53	0,53
Total	0,61	0,15	0,73	0,73

5.2.2 Necromassa em área não manejada e área manejada

Para esta análise o teste F mostrou que as variâncias calculadas para número de indivíduos, volume, peso e carbono da necromassa nas áreas não manejada e manejada são homogêneas ($\rho = 0,16$; $\rho = 0,44$; $\rho = 0,22$; $\rho = 0,22$, respectivamente), a uma probabilidade de 95%.

A área sob manejo florestal apresentou um número médio de indivíduos por hectare 52,5% maior que a área não manejada. O teste t de *Student* mostrou diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade ($\rho = 0,001$). Esta diferença é um dos resultados do “efeito dominó” que ocorre devido à derrubada de uma árvore alvo da exploração florestal. Mesmo com a aplicação de técnicas de corte que buscam a diminuição do impacto sobre a vegetação, a derrubada de árvores de grande porte influencia na queda de outras menores ao seu redor.

Segundo Amaral *et al.* (1998), a queda de uma árvore pode atingir cerca de outras 14 árvores adjacentes. Em florestas não manejadas o efeito dominó pode acontecer de forma pontual, principalmente a partir de tempestades, as quais ocasionam a queda imediata da árvore (HIGUCHI *et al.*, 2011). Entretanto, mesmo nesta situação, somente uma tempestade isolada em grande escala para equiparar o número de indivíduos mortos em uma floresta não manejada à uma manejada.

Quanto ao volume de necromassa, a diferença entre as áreas não manejada e manejada sobe para 63,2%. O teste t de *Student* mostrou diferença significativa, ao nível de 95% de probabilidade ($\rho = 0,01$). Esta diferença estatística também é observada em outros estudos na Amazônia (KELLER *et al.*, 2004; PALACE *et al.*, 2007; CRUZ FILHO e SILVA, 2009). Nestes casos observou-se, ainda, um volume de necromassa maior na área manejada na proporção de 50% a 65%. Estes valores indicam um comportamento semelhante das atividades de manejo florestal na Amazônia. Apesar das estimativas de volume no DAS e na Mil Madeiras apresentarem valores menores, a proporção de estoque superior da área manejada em relação a área não manejada é próxima ao encontrado em estudos semelhantes.

Comparando-se as estimativas médias de peso e carbono, verifica-se que a área manejada apresentou uma média 62,2% superior à área não manejada. Este valor é próximo ao encontrado na comparação de volume. Aplicando-se o teste t de *Student* verifica-se que para as duas variáveis também há diferença significativa ($\rho = 0,006$), a uma probabilidade de 95%.

Diferenças no peso da necromassa entre florestas não manejadas e manejadas são comumente observadas. Keller *et al.* (2004), Palace *et al.* (2007) e Palace *et al.* (2008) observaram essa diferença entre florestas na região amazônica. Galicia *et al.* (2015) encontrou efeito significativo da exploração florestal no estoque de necromassa comparando uma floresta não manejada e uma floresta um ano após a exploração florestal. Entretanto, estes autores consideraram, ainda, um outro tratamento sendo uma floresta 20 anos após a exploração. Nessa situação não foi verificada diferença estatística. Considerando este último caso, acredita-se que aquelas florestas apresentam taxa de decomposição mais elevada que a área da Mil Madeiras, uma vez que as UPAs B, C e D foram alvos da exploração florestal há 18, 19 e 20 anos e ainda assim foi observada diferença no peso.

A necromassa presente em uma floresta depende da produção e da decomposição da madeira morta (PALACE *et al.*, 2008). A produção superior em uma floresta manejada é esperada devido ao efeito dominó das árvores exploradas nas árvores adjacentes, assim como

a eliminação de indivíduos sem interesse comercial para favorecer o crescimento dos indivíduos remanescentes. Entretanto, a decomposição dos indivíduos é um processo gradual, e que depende de características de cada região as quais vão determinar a velocidade com que esse processo ocorre. Observa-se que as duas áreas apresentaram proporções muito semelhantes de necromassa nas três classes de decomposição, sendo a última com maior representatividade. Como ambas estão inseridas no mesmo bioma, e possuem as mesmas características ambientais, acredita-se que o processo de decomposição da madeira morta segue de forma semelhante para as duas florestas.

5.2.3 Influência dos diferentes níveis de exploração florestal na necromassa

O teste de Bartlett mostrou que as variâncias calculadas para número de indivíduos, volume, peso e carbono são homogêneas para necromassa em pé, caída e total, a uma probabilidade de 95% (Tabela 12).

Tabela 12: Teste de Bartlett ($\alpha = 0,05$) para homocedasticidade das variâncias calculadas para número de indivíduos, volume, peso e carbono da necromassa em pé, caída e total.

Necromassa	<i>p-value</i>			
	Núm. indivíduos	Volume	Peso	Carbono
Em pé	0,83	0,48	0,31	0,31
Caído	0,11	0,91	0,42	0,42
Total	0,07	0,35	0,21	0,21

O número de indivíduos mortos em pé, caídos e total, por tratamento, são apresentados na Tabela 13. O teste F foi significativo, a uma probabilidade de 95%, para as três variáveis ($\rho = 0,02$ necromassa em pé; $\rho = 0,04$ necromassa caída; $\rho = 0,01$ necromassa total).

O teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) indica diferença estatística entre o tratamento 1 (UPA B) e a testemunha para as médias de necromassa em pé, caída e total e entre o tratamento 3 (UPA D) e a testemunha para necromassa em pé e total. As parcelas permanentes medidas na UPA B apresentam intensidade de exploração igual a $41,77 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sendo considerada alta. Esta intensidade elevada pode ser resultado do corte de um grande número de indivíduos de *Acariquara (Minuartia guianensis* Aubl.), algo não foi observado nas demais UPAs. Isto

deve motivar o fato desta ser a única unidade de produção que não apresenta valores iguais estatisticamente para nenhuma das divisões da necromassa.

Tabela 13: Número de indivíduos mortos por hectare em função da intensidade de exploração.

Tratamento	Em pé (ha ⁻¹)		Caído (ha ⁻¹)		Total (ha ⁻¹)
1 (UPA B)	45,20 ± 9,18	a	60,80 ± 13,09	a	106,00 ± 18,68 a
3 (UPA D)	45,20 ± 11,82	a	58,80 ± 14,62	a b	104,00 ± 25,20 a
2 (UPA C)	42,60 ± 12,74	a b	54,00 ± 3,51	a b	96,60 ± 10,41 a b
Testemunha (DAS)	26,80 ± 11,73	b	40,20 ± 19,14	b	67,00 ± 29,68 b

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Tratamento 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Tratamento 3 – 23,87 m³ ha⁻¹. Médias com mesma letra não se diferenciam estatisticamente de acordo com o teste de Tukey (P = 95%)

O tratamento 2 (UPA C) é o único que não apresenta diferença estatística para a testemunha em nenhum compartimento, sendo que esta unidade de produção é a que apresenta a menor intensidade de exploração (16,03 m³ ha⁻¹). Apesar de não ser possível afirmar que há diferença estatística entre as intensidades de exploração, nota-se que esta variável influenciou no estoque de necromassa entre os tratamentos.

Na Tabela 14 é apresentada a distribuição diamétrica dos indivíduos mortos. Verifica-se que na UPA B a quantidade de troncos com diâmetros entre 10 e 20 cm é bem superior aos demais tratamentos. E na testemunha não há ocorrência de indivíduos com diâmetro superior a 70 cm.

Tabela 14: Distribuição diamétrica dos indivíduos em cada tratamento.

Tratamento	Centro de Classe (cm)								Total
	15	25	35	45	55	65	75	≥80	
Testemunha (DAS)	117	114	57	26	14	7	-	-	335
1 (UPA B)	263	123	63	38	26	8	3	6	530
2 (UPA C)	179	135	79	51	18	11	6	4	483
3 (UPA D)	206	127	83	47	36	13	5	3	520

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Tratamento 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Tratamento 3 – 23,87 m³ ha⁻¹.

Os volumes médios da necromassa em pé, caída e total para cada tratamento são apresentados na Tabela 15. O teste F não indicou diferença significativa entre os tratamentos.

A UPA B, apesar de apresentar maior média para número de indivíduos, não possui o maior volume médio total. A grande quantidade de troncos na primeira classe diamétrica deve ter influenciado nessa estimativa do volume para esta UPA. Por outro lado, a UPA C, mesmo apresentando menor número médio de indivíduos e menor intensidade de exploração, passou a apresentar o maior volume de necromassa entre os tratamentos. Desta forma, esperava-se que a UPA C apresentasse uma quantidade de indivíduos superior aos demais tratamentos nas últimas classes de diâmetro, o que explicaria o maior volume para esta unidade. Entretanto isto não foi observado.

Tabela 15: Volume da necromassa por tratamento.

Tratamento	Em pé (m ³ ha ⁻¹)	Caído (m ³ ha ⁻¹)	Total (m ³ ha ⁻¹)
Testemunha (DAS)	20,52 ± 7,77	23,89 ± 11,86	44,41 ± 16,19
1 (UPA B)	32,63 ± 10,65	37,36 ± 16,73	69,99 ± 22,23
2 (UPA C)	40,31 ± 18,29	36,96 ± 15,08	77,27 ± 20,79
3 (UPA D)	28,45 ± 15,82	41,68 ± 17,82	70,13 ± 33,31

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – 41,77 m³ ha⁻¹; Tratamento 2 – 16,03 m³ ha⁻¹; Tratamento 3 – 23,87 m³ ha⁻¹.

Na Figura 7 pode-se verificar a distribuição do volume de acordo com o centro de classe. Não há um padrão que indique que a UPA C apresenta maior volume nas maiores classes de diâmetro, assim acredita-se que os valores de comprimento e altura dos indivíduos tenham influenciado de forma direta para que o volume neste tratamento tenha sido mais elevado que nos demais. Uma vez que não foram medidas as alturas de todos os indivíduos em pé, não foi possível realizar uma distribuição com base nesta variável para analisar esta possibilidade.

Mesmo não apresentando diferença estatística entre os tratamentos, há uma considerável diferença entre os volumes estimados na área manejada e na área não manejada. Além da variação natural da vegetação, esse comportamento estatístico dos dados pode ser explicado pelo tamanho da amostragem tomada (PALACE *et al.*, 2007; PAULETTO, 2006).

Em uma floresta manejada na Amazônia, Pauletto (2006) não verificou diferença significativa entre o volume estimado em áreas com diferentes intensidades de exploração. Para este caso foram considerados quatro tratamentos: dois apresentavam exploração florestal sem planejamento; um com exploração sob manejo florestal; e um tratamento em área não

explorada. Neste estudo foram considerados, para a necromassa total, indivíduos com diâmetro a partir de 2 cm, assim como Palmeiras. Mesmo não havendo diferença estatística, a autora cita que as diferentes intensidades de corte afetaram no volume da necromassa. Keller *et al.* (2004), verificaram diferença entre três tratamentos, sendo uma floresta não explorada e duas exploradas em diferentes intensidades, sendo uma com planejamento da exploração, outra sem. A floresta explorada sem planejamento apresentou o estoque de necromassa mais elevado que as demais.

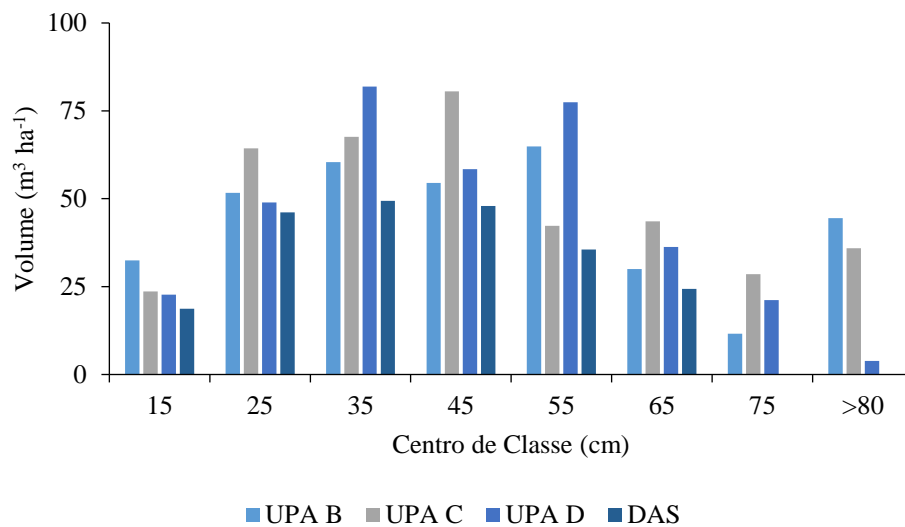


Figura 7: Distribuição do volume por classe diamétrica na UPA B, UPA C, UPA D e DAS.

As estimativas de peso e carbono da necromassa em pé, caída e total por tratamento pode ser verificada na Tabela 16. O teste F não indicou diferença significativa entre as médias, a uma probabilidade de 95% ($\rho = 0,06$).

Tabela 16: Peso e carbono da necromassa, em Mg ha^{-1} , por tratamento.

Tratamento	Em pé (Mg ha^{-1})		Caído (Mg ha^{-1})		Total (Mg ha^{-1})	
	Peso	Carbono	Peso	Carbono	Peso	Carbono
Testemunha (DAS)	20,67 ± 8,20	10,03 ± 3,98	20,13 ± 6,14	9,76 ± 2,98	40,80 ± 11,17	19,79 ± 5,42
1 (UPA B)	35,24 ± 11,74	17,09 ± 5,70	27,01 ± 11,48	13,10 ± 5,57	62,25 ± 19,35	30,19 ± 9,38
2 (UPA D)	40,99 ± 11,72	19,88 ± 7,62	27,40 ± 7,30	13,29 ± 3,54	68,39 ± 16,08	33,17 ± 7,80
3 (UPA D)	35,42 ± 18,96	17,18 ± 9,20	32,47 ± 12,29	15,75 ± 5,96	67,89 ± 30,49	32,93 ± 14,79

Intensidade de exploração: Testemunha – sem exploração; Tratamento 1 – $41,77 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; Tratamento 2 – $16,03 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; Tratamento 3 – $23,87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Apesar de não apresentar diferença significativa, o peso e carbono da necromassa nos tratamentos localizados na floresta manejada chegam a ser até 68% maiores que o da floresta não manejada. Os erros de amostragem calculados para os estoques em pé, caído e total variaram entre 24% e 54%, valores considerados de baixa precisão. Considerando como padrão um limite de erro de até 10% para inventários florestais, essa precisão seria alcançada com a amostragem de até 100 parcelas, o que torna uma nova coleta de dados inviável. Entretanto, acredita-se que se tomando uma amostragem mais representativa, com a intenção de diminuir os erros e melhorar a precisão das informações, os tratamentos na floresta manejada não se diferenciariam entre si, e a diferença estatística, caso confirmada, seria verificada entre estes tratamentos e o tratamento na floresta não manejada, algo já constatado anteriormente.

Assim como observado para o volume, a UPA C apresenta maior peso e carbono de necromassa que os demais tratamentos, apesar de não ter apresentado maior número de indivíduos mortos. Na Figura 8 podemos observar o peso da necromassa de acordo com a classe diamétrica. Novamente não há predominância de indivíduos de maior diâmetro na UPA C, pelo contrário, nas classes de diâmetro entre 50 cm e 80 cm, a UPA D é a que apresenta maior peso, tendo seu estoque final mais baixo influenciado pelo menor valor estimado para os indivíduos maiores que 80 cm. Este comportamento reforça a ideia de que a variável altura/comprimento teve influência no estoque de necromassa.

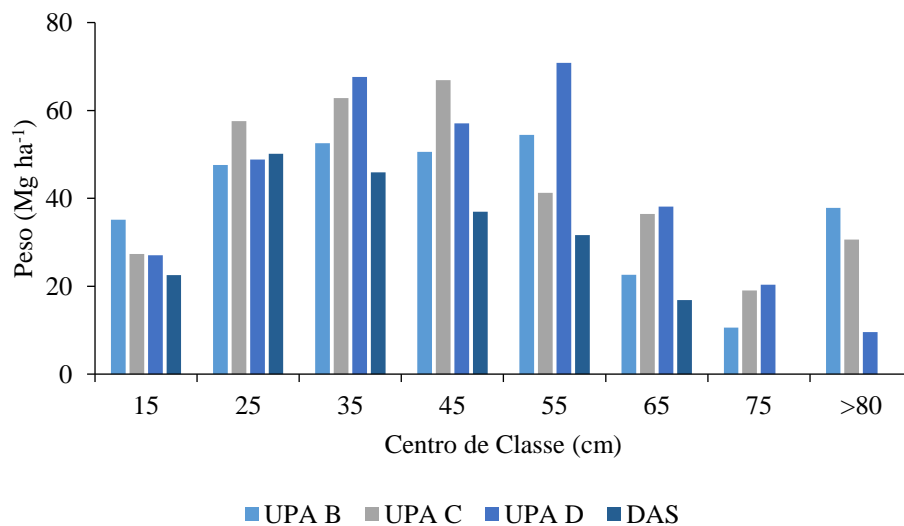


Figura 8: Peso da necromassa por classe de diâmetro na UPA B, UPA C, UPA D e DAS.

Pauletto (2006) não constatou diferença significativa entre tratamentos com diferentes intensidades de exploração. Entretanto a floresta não manejada apresentou peso de necromassa maior que as florestas manejadas. Segundo a autora este fato é atribuído às variações interanuais na mortalidade de árvores o que pode proporcionar “pulsos” de produção de necromassa, exibindo grande variação espacial e temporal. Outro fato atribuído são as alterações na estrutura florestal em decorrência da atividade exploratória, as quais favorecem o incremento periódico anual, crescimento em área basal e taxas de recrutamento maiores que as de mortalidade. A área de manejo da Mil Madeiras apresenta as mesmas características quanto à essas alterações provocadas pela exploração florestal, e ainda assim apresenta estoque bastante superior em relação à floresta não manejada, desta forma eventos isolados de ordem climática e temporal explicariam melhor esta diferença na produção de necromassa.

Keller *et al.* (2004) encontraram diferença significativa no peso de necromassa em três tratamentos. A exploração florestal sem planejamento proporcionou um peso de madeira morta quase três vezes maior que a exploração com planejamento. Resultado semelhante foi encontrado por Gerwing (2002), o qual considerou uma área não explorada e duas exploradas com os seguintes níveis: exploração moderada (intensidade exploratória de cerca de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e exploração pesada (intensidade de $69 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Além da diferença estatística, o autor relata que após a exploração moderada, 72% da vegetação permaneceu intacta, mas após a exploração pesada esta porcentagem foi reduzida para 38%.

Nas UPAs B, C e D as intensidades de exploração e os estoques de necromassa são bastante semelhantes. Conforme observado em outros levantamentos, se não considerarmos a possibilidade de eventos isolados causarem a morte de um grande número de árvores, a intensidade de exploração não afetará o estoque de necromassa, desde que a exploração seja realizada com o devido planejamento, minimizando os impactos à floresta. Estes resultados mostram a importância da utilização do manejo florestal na exploração dos recursos madeireiros, uma vez que na unidade com maior intensidade de exploração, a qual resultou em uma maior quantidade de indivíduos mortos, o impacto da exploração foi direcionado para indivíduos de menor porte, diminuindo os efeitos negativos na floresta. A Mil Madeiras adota o manejo florestal desde o início das suas atividades e todas as unidades de produção são exploradas com o devido planejamento. Desta forma pode-se inferir que as técnicas aplicadas pela empresa têm reduzido, de fato, os danos à floresta, uma vez que o volume de árvores mortas não se diferiu de uma área sem exploração florestal.

5.3 ANÁLISE DA MORTALIDADE

Na floresta do DAS foi verificada taxa de mortalidade de 9,2% no período entre 2005 e 2014. A estimativa do carbono nas árvores mortas na segunda medição apresentou média de $15,46 \pm 3,20 \text{ Mg ha}^{-1}$. De acordo com o teste t de *Student*, não houve diferença significativa entre esta estimativa e os valores verificados em campo ($\rho = 0,09$). Para a área da Mil Madeiras a taxa de mortalidade calculada foi de 19,3%, para o período entre 2001 e 2014. A estimativa do carbono nas árvores mortas na segunda medição apresentou média de $29,42 \pm 6,91 \text{ Mg ha}^{-1}$, não havendo diferença significativa pelo teste t de *Student* ($\rho = 0,50$) entre esta estimativa e os valores em campo. Já quando comparamos as médias de carbono estimadas entre as duas áreas é verificada diferença significativa ($\rho = 0,001$), conforme já observado anteriormente. Entretanto, a partir destas estimativas a área manejada passou a apresentar média de carbono 90,3% superior à área não manejada, valor bem superior ao verificado com as medições em campo da necromassa.

Apesar de não terem sido observadas diferenças estatísticas entre as estimativas dos inventários contínuos, estas apresentam valores menores que os verificados na medição direta em campo. Para a floresta não manejada as medições em campo apresentam um valor para o estoque 28% superior ao inventário contínuo. Para a floresta manejada este valor é 9% superior. É importante citar que entre as segundas medições dos inventários contínuos e as coletas de dados da necromassa há um intervalo de um a dois anos. Naturalmente deve ter ocorrido a morte e a queda de novos indivíduos durante esse período, os quais não foram contabilizados nas estimativas do inventário contínuo. Este intervalo de tempo pode ter exercido alguma influência na diferença numérica das estimativas.

Taxas de mortalidade são comumente utilizadas para a estimativa de peso e volume de árvores mortas. Segundo Palace *et al.* (2012) estas estimativas subestimarão o estoque real presente na floresta. Esta metodologia considera apenas os dados de árvores inteiras mortas, não contabilizando galhos (finos ou grossos), pedaços de troncos e outros produtos originados por algum distúrbio não letal à árvore. Utilizando duas taxas de mortalidade diferentes previamente calculadas para a mesma área, Palace *et al.* (2008) verificaram uma subestimativa de 30% a 50% do estoque de necromassa verificados em sua coleta de dados. Vale ressaltar que a metodologia utilizada no estudo considerou peças com diâmetro a partir de 2 cm e coletou dados de trocos, galhos e ramos.

5.4 ALOMETRIA PARA A NECROMASSA

5.4.1 Área não manejada

Nesta área foram cubadas 201 árvores mortas caídas, distribuídas da seguinte forma: 15 na classe de decomposição um; 53 na classe dois e 133 na classe três.

No ajuste considerando as classes de decomposição, todos os modelos testados apresentaram alta significância à uma probabilidade de 99% para as três classes. O mesmo foi observado para todos os coeficientes estimados: β_0 , β_1 e β_2 (Tabela 17). Os valores obtidos para os coeficientes de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e correlação (r) podem ser considerados altos, principalmente considerando-se a alta variação de diâmetro e comprimento dos indivíduos.

Nenhum ajuste apresentou coeficiente de variação menor ou igual a 10%, o que, segundo Higuchi (2015), é um valor aceitável pela literatura. Entretanto, considerando a heterogeneidade das florestas na região Amazônica, os valores apresentados na classe um, principalmente nos modelos dois e três, estão bastante próximos desta realidade. Os modelos da classe um apresentam melhores ajustes devido a esta classe considerar indivíduos recém caídos, sem sinais de decomposição. A cubagem deste componente da vegetação para o ajuste de modelos volumétricos vem sendo adotada em outros trabalhos e apresentaram bons resultados (LIMA, 2010; HIGUCHI, 2015). As classes dois e três apresentam coeficiente de variação mais elevado devido às variações nos diâmetros ao longo do tronco, fato que ocorre por estas classes apresentarem sinais de decomposição, principalmente a classe três. Desta forma, é comum que o valor do diâmetro de entrada na equação não seja o diâmetro real que represente o tamanho do tronco, proporcionando altas variações no volume estimado.

A distribuição de resíduos dos modelos ajustados em para cada classe de decomposição é apresentada nas Figuras 9, 10 e 11. A classe um é a que apresenta erros em menores proporções, sendo o modelo dois o que apresentou distribuição mais uniforme e com os menores valores de erro. Os modelos das classes dois e três apresentam erros extremamente altos, chegando à quase 200% e 500%, respectivamente. Desta forma apenas o modelo 2 apresentou ajuste de média precisão, podendo ser usado com cautela para estimativa de volume na área do DAS.

Tabela 17: Modelos ajustados para cada classe de decomposição na área não manejada.

Classe de decomposição	Modelo	Equação Ajustada	F	Coeficientes			R ² ajust	r	CV (%)
				β_0	β_1	β_2			
1	1	$V_n = 0,000136D^{2,57771}$	216,28**	0,000136	2,57771**		93,89	0,97	34,83
	2	$V_n = 0,000018D^{2,047238}H^{1,40475}$	398,98**	0,000018	2,047238**	1,40475**	98,27	0,99	18,38
	3	$V_n = -0,057132 + 0,000072D^2H$	403,36**	-0,057132	0,000072**		96,64	0,98	17,81
	4	$V_n = 0,100645 + 0,001144D^2$	115,07**	-0,100645	0,001144**		89,07	0,95	32,11
2	1	$V_n = 0,000219D^{2,318703}$	221,32**	0,000219	2,318703**		80,90	0,90	51,63
	2	$V_n = 0,000109D^{1,880628}H^{0,890143}$	384,00**	0,000109	1,880628**	0,890143**	93,64	0,97	28,70
	3	$V_n = 0,01556 + 0,000055D^2H$	1817,32**	0,01556	0,000055**		97,22	0,99	23,16
	4	$V_n = -0,082133 + 0,000854D^2$	336,55**	-0,082133	0,000854**		86,58	0,93	50,86
3	1	$V_n = 0,000228D^{2,285773}$	476,40**	0,000228	2,285773**		78,27	0,89	79,35
	2	$V_n = 0,000124D^{1,91149}H^{0,83683}$	1017,89**	0,000124	1,91149**	0,83683**	93,91	0,97	57,05
	3	$V_n = 0,048785 + 0,000058D^2H$	791,21**	0,048785	0,000058**		85,69	0,93	56,86
	4	$V_n = -0,177559 + 0,00095D^2$	414,53**	-0,177559	0,00095**		75,80	0,87	73,93

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque. **Modelos:** 1 – Berkhout; 2 – Schumacher-Hall; 3 – Spurr; 4 – Kopezi-Gehhardt. **Variáveis:** V_n = volume de necromassa; D = diâmetro; H = altura. R²ajust = coeficiente de determinação ajustado; r = coeficiente de correlação; CV (%) = coeficiente de variação; S = erro padrão.

** Significativo a 1% ($\alpha = 0,01$)

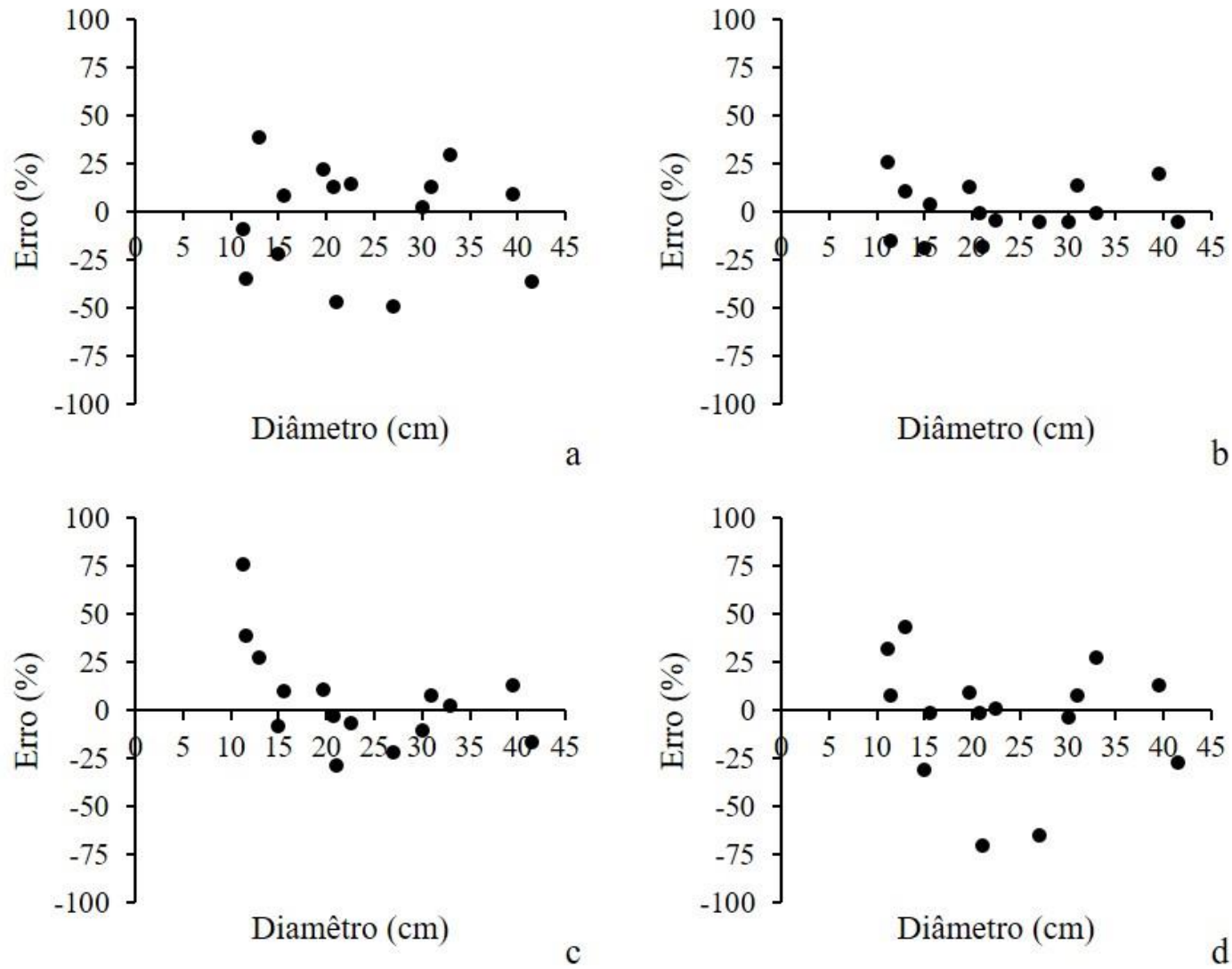


Figura 9: : Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 1 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

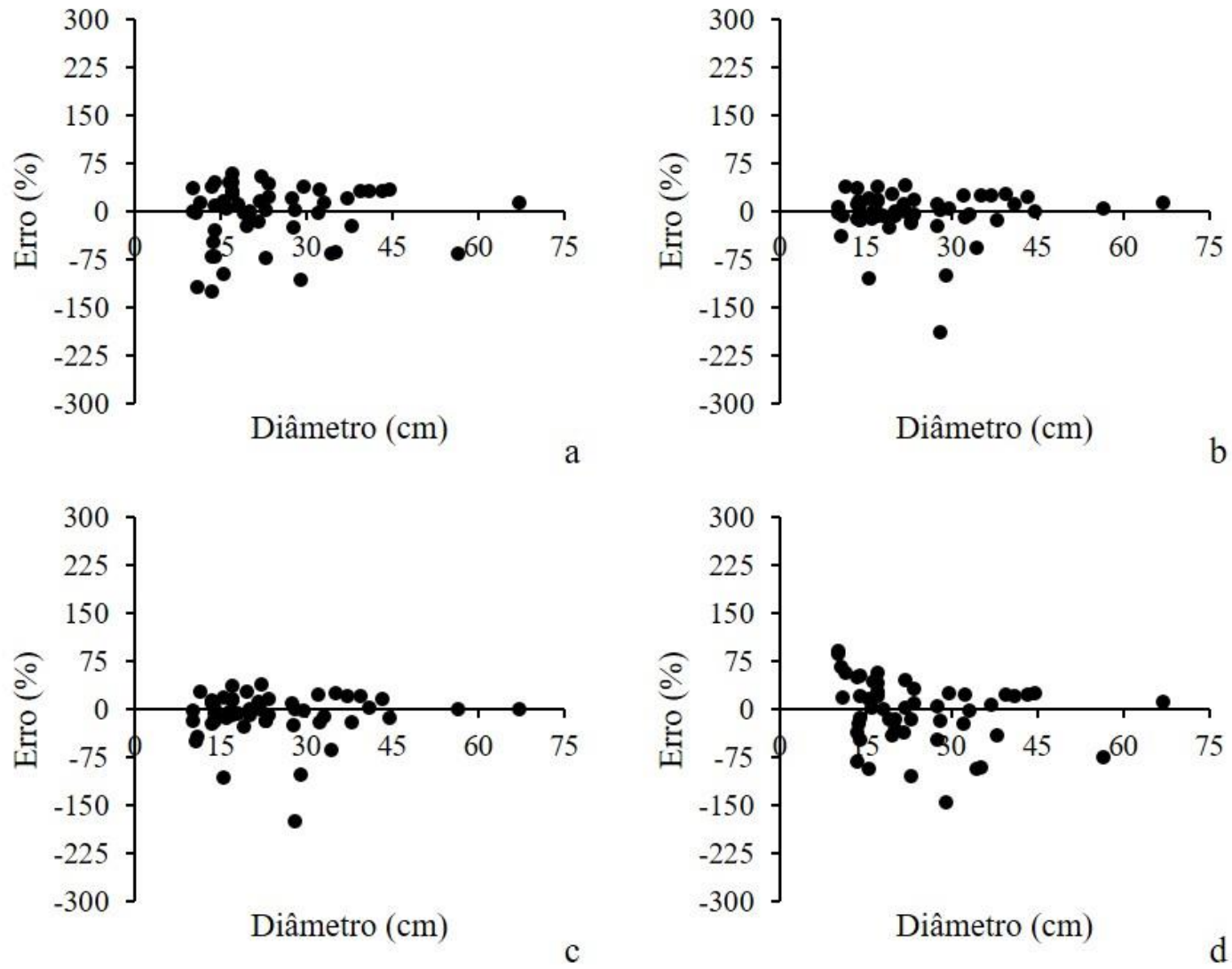


Figura 10: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 2 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

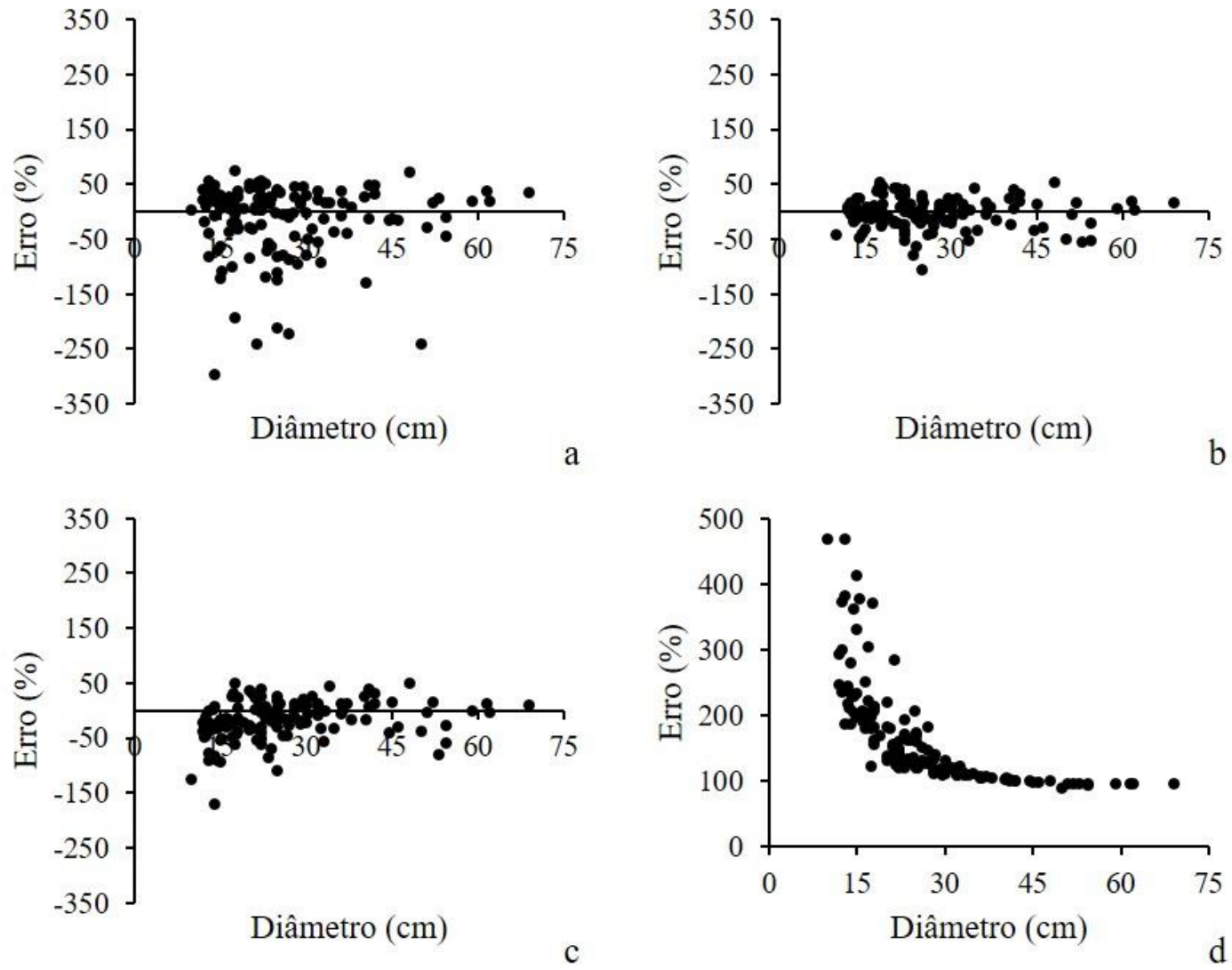


Figura 11: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 3 da floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

No ajuste realizado sem considerar as classes de decomposição, novamente todos os modelos obtiveram resultados altamente significativos ($\alpha = 0,01$) (Tabela 18). Os coeficientes apresentaram a mesma significância. O R^2_{ajust} calculado pode ser considerado alto para os quatro modelos, variando de 77,87% a 93,95%, indicando que, no mínimo, 78% da variabilidade desses dados podem ser representadas por esses modelos. Os coeficientes de correlação verificados também apresentaram valores bastante satisfatórios nos ajustes, os quais variaram de 0,88 a 0,97.

O erro padrão calculado apresenta um valor numérico baixo, entre 0,30 e 0,42. Mas quando comparados em relação à média, o resultado indica alta variação nos dados com elevados coeficientes de variação (CV%), todos a partir de 50%, proporcionando uma precisão muito baixa nas estimativas a partir destas equações. Os modelos de simples entrada são os que apresentam os maiores coeficientes de variação, uma vez que estes assumem que árvores de mesmo diâmetro apresentam a mesma altura, algo que não é verdadeiro em florestas heterogêneas (ROLIM *et al.*, 2006). O CV elevado mostra a alta variabilidade de espécies encontradas na floresta, além da variação observada nos dados coletados em campo. Alguns estudos que tem buscado ajustar modelos volumétricos para a região amazônica têm encontrado CV de até 20% (ROLIM *et al.*, 2006; THAINES *et al.*, 2010; TONINI e BORGES, 2015). Schneider *et al.* (2009) encontraram variação maior em seus ajustes ao dividirem os dados por classe de diâmetro, obtendo assim coeficientes de variação entre 20% e 60%.

Na Figura 12 são apresentadas as distribuições de resíduos dos quatro modelos testados. Os modelos dois e três são os que apresentam maior uniformidade nesta distribuição, com poucas observações ultrapassando o limite de 50% de erro. Entretanto, observa-se nestes modelos uma leve tendência para superestimativas nas menores classes de diâmetro. Os outros dois modelos não apresentam nenhuma uniformidade nos resíduos, com elevados índices percentuais de erro. O destaque positivo para os modelos dois e três deve-se a estes serem de dupla entrada, considerando-se a variável altura, o que aumenta a precisão nas estimativas.

Os resultados para os coeficientes de determinação e correlação demonstram bons ajustes para todos os modelos testados. Na análise da distribuição de resíduos observa-se melhor uniformidade para os modelos dois e três, os quais apresentam poucos indivíduos fugindo à tendência central de dispersão, sendo o modelo dois o que apresenta melhor ajuste para o DAS.

Tabela 18: Modelos ajustados para a área não manejada.

Modelo	Equação Ajustada	F	Coeficientes			R ² ajust	r	CV (%)	S
			β_0	β_1	β_2				
1	$V_n = 0,000229D^{2,298992}$	779,58**	0,000229	2,298992**		79,56	0,89	70,66	0,42
2	$V_n = 0,000109D^{1,944245}H^{0,837994}$	1554,42**	0,000109	1,944245**	0,837994**	93,95	0,97	49,81	0,30
3	$V_n = 0,038121 + 0,000057D^2H$	1478,55**	0,038121	0,000057**		88,08	0,94	49,78	0,30
4	$V_n = -0,137412 + 0,000927D^2$	704,75**	-0,137412	0,000927**		77,87	0,88	67,82	0,40

Modelos: 1 – Berkhout; 2 – Schumacher-Hall; 3 – Spurr; 4 – Kopezi-Gehhardt. **Variáveis:** V_n = volume de necromassa; D = diâmetro; H = altura; R²ajust = coeficiente de determinação ajustado; r = coeficiente de correlação; CV (%) = coeficiente de variação; S = erro padrão.

** Significativo a 1% ($\alpha = 0,01$)

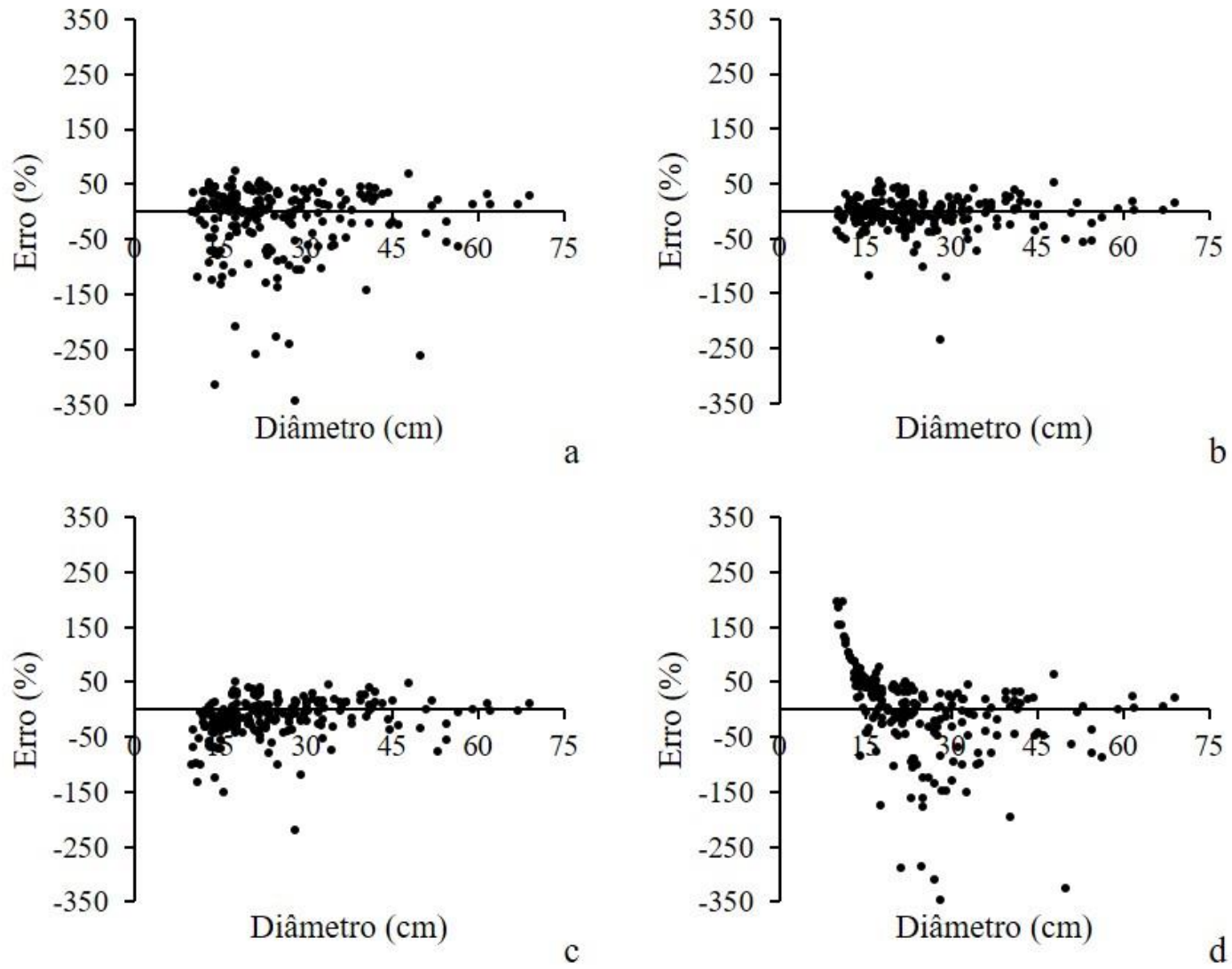


Figura 12: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a floresta não manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

5.4.2 Área manejada

Foram cubadas um total de 868 árvores mortas caídas, distribuídas da seguinte forma: 72 na classe um; 236 na classe dois e 560 na classe três.

Todos os ajustes considerando as três classes de decomposição apresentaram alta significância ($\alpha = 0,01$), assim como os respectivos coeficientes. Os melhores ajustes foram obtidos para os indivíduos da classe de decomposição um, com R^2_{ajust} de até 97,61% e r máximo igual a 0,99 (Tabela 19). Nenhum modelo apresentou boa precisão para as estimativas de volume. Apenas dois apresentaram coeficientes de variação abaixo de 60%, e mesmo assim ficaram próximos a 30%, valor já considerado alto pela literatura. Estes valores demonstram a alta variabilidade que os indivíduos apresentam na Mil Madeiras.

Com a distribuição de resíduos (Figuras 12, 13 e 14) pode-se observar que para as três classes, o modelo dois foi o que apresentou maior uniformidade entre estimativas, contudo, altos índices de erro, chegando a 150% na classe um e até 800% na classe três. Há também uma tendência a superestimativas nos modelos 1, 3 e 4 em todas as classes de decomposição. Considerado estes fatores não é recomendado nenhum dos modelos ajustados para estimativa de volume da necromassa, uma vez que estes podem levar a um alto índice de erro.

Desconsiderando-se as classes de decomposição, ainda é observada alta significância para a regressão, assim como para os coeficientes ajustados ($\alpha = 0,01$) (Tabela 20). O modelo com melhor ajuste é o dois, com R^2_{ajust} de 94,05 e r igual a 0,97. Quanto a estas variáveis, os modelos um e três não são considerados ruins, mas respondem por menos de 80% da variabilidade dos dados, e com um coeficiente de correlação de 0,80 e 0,84, respectivamente. O modelo quatro não apresenta resultado satisfatório para o coeficiente de determinação.

Novamente, todos os modelos apresentam grande variação nos erros. Os coeficientes de variação estão acima de 90%, chegando a um máximo de 115% para o modelo um. Na área de floresta manejada essa variação dos dados tende a ser maior pois há registro de troncos com diâmetros superiores à 100 cm, algo que não foi constatado na área não manejada. Desta forma tem-se uma grande amplitude de dados a serem considerados nos ajustes.

Gimenez *et al.* (2015) encontraram um R^2_{ajust} entre 88,97% e 96,78%. Para Thaines *et al.* (2010) estes valores variaram de 82% a 92%, ambos em áreas com supressão vegetal na Amazônia. Estes valores estão próximos ou até abaixo dos apresentados na Tabela 20, entretanto, os coeficientes de variação observados nos ajustes citados foram bem menores. Lima (2010) encontrou R^2_{ajust} variando de 72% a 94% na área de manejo da Mil Madeiras,

mas observou um coeficiente de variação máximo de 1,81%. Neste caso o autor considerou apenas árvores alvo da exploração florestal, reduzindo assim as variações de diâmetro e altura nos dados. Nos demais casos também há menor variação entre os diâmetros: Thaines *et al.* (2010) tiveram em seus dados indivíduos com diâmetro mínimo de 51,9 cm; Gimenez *et al.* (2015) observaram um diâmetro mínimo de 30,5 cm.

A distribuição de resíduos (Figura 16) mostra que apenas o modelo dois apresenta distribuição uniforme, com poucos indivíduos fora de um limite de 100% de erro. O modelo três, que também apresentou CV abaixo de 100%, demonstra tendência a superestimar os volumes para indivíduos das primeiras classes de diâmetro. Os demais modelos não apresentam boa uniformidade nas observações, com tendências à superestimativas.

Para a Mil Madeiras todos os ajustes alcançaram bons parâmetros para os coeficientes de determinação e correlação. Considerando a distribuição de resíduos o modelo dois obteve o melhor resultado que os demais, sendo o único que não apresentou tendências a superestimativas para o volume de necromassa. Desta forma observa-se que, dentre estes quatro modelos testados, o modelo de *Schumacher-Hall* é o que melhor se ajusta à área da Mil Madeiras.

Tabela 19: Modelos ajustados para cada classe de decomposição na área manejada

Classe de decomposição	Modelo	Equação Ajustada	F	Coeficientes			R ² ajust	r	CV (%)
				β_0	β_1	β_2			
1	1	$V_n = 0,000255D^{2,289392}$	443,74**	0,000255	2,289392**		86,18	0,93	79,19
	2	$V_n = 0,000098D^{2,015931}H^{0,809664}$	1450,14**	0,000098	2,015931**	0,809664**	97,61	0,99	27,44
	3	$V_n = 0,015664 + 0,000062D^2H$	2783,46**	0,015664	0,000062**		97,51	0,99	26,82
	4	$V_n = -0,080286 + 0,00092D^2$	272,04**	-0,080286	0,00092**		79,24	0,89	77,49
2	1	$V_n = 0,000146D^{2,486892}$	1666,42**	0,000146	2,486892**		87,63	0,93	116,54
	2	$V_n = 0,000085D^{2,015612}H^{0,883213}$	236,14**	0,000085	2,015612**	0,883213**	94,77	0,97	107,22
	3	$V_n = 0,150793 + 0,00006D^2H$	408,68**	0,150793	0,00006**		63,43	0,80	106,44
	4	$V_n = -0,047965 + 0,001062D^2$	323,50**	-0,047965	0,001062**		57,85	0,76	114,28
3	1	$V_n = 0,00024D^{2,250326}$	1767,54**	0,00024	2,250326**		75,96	0,87	91,25
	2	$V_n = 0,000163D^{1,765696}H^{0,955305}$	4001,70**	0,000163	1,765696**	0,955305**	93,47	0,97	64,33
	3	$V_n = 0,098398 + 0,000055D^2H$	2259,69**	0,098398	0,000055**		80,16	0,90	64,81
	4	$V_n = 0,037351 + 0,000648D^2$	985,31**	0,037351	0,000648**		63,78	0,80	87,57

Classes de decomposição: 1 – deterioração não perceptível, peças recentemente caídas ou com resistência ao ataque de microrganismos; 2 – apresenta leves sinais de ataques de insetos e/ou fungos, deterioração na fase inicial; 3 – peças em estágio avançado de decomposição, quebrando ou despedaçando ao toque. **Modelos:** 1 – Berkhout; 2 – Schumacher-Hall; 3 – Spurr; 4 – Kopezi-Gehhardt. **Variáveis:** V_n = volume de necromassa; D = diâmetro; H = altura; R²ajust = coeficiente de determinação ajustado; r = coeficiente de correlação; CV (%) = coeficiente de variação.

** Significativo a 1% ($\alpha = 0,01$)

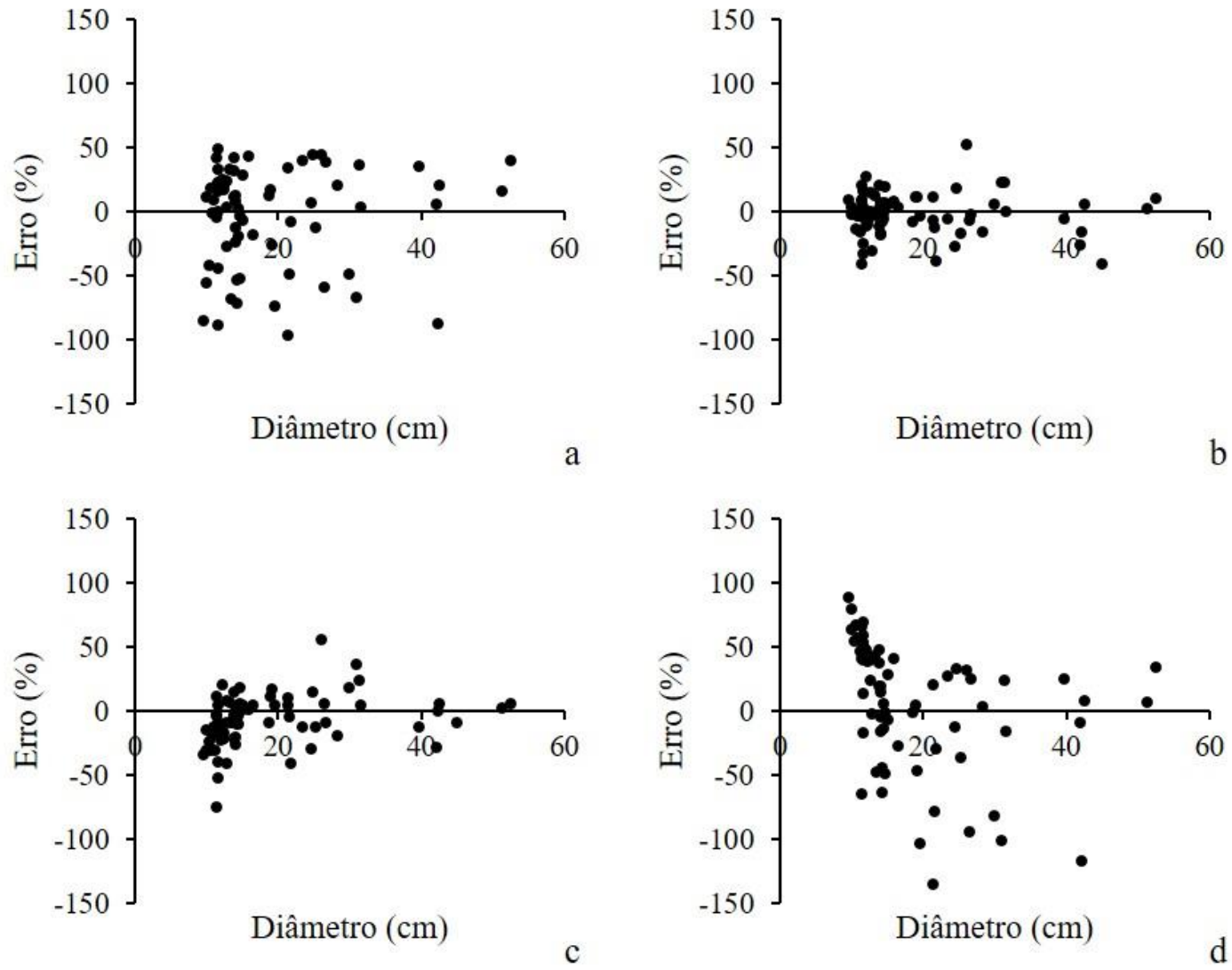


Figura 13: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 1 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

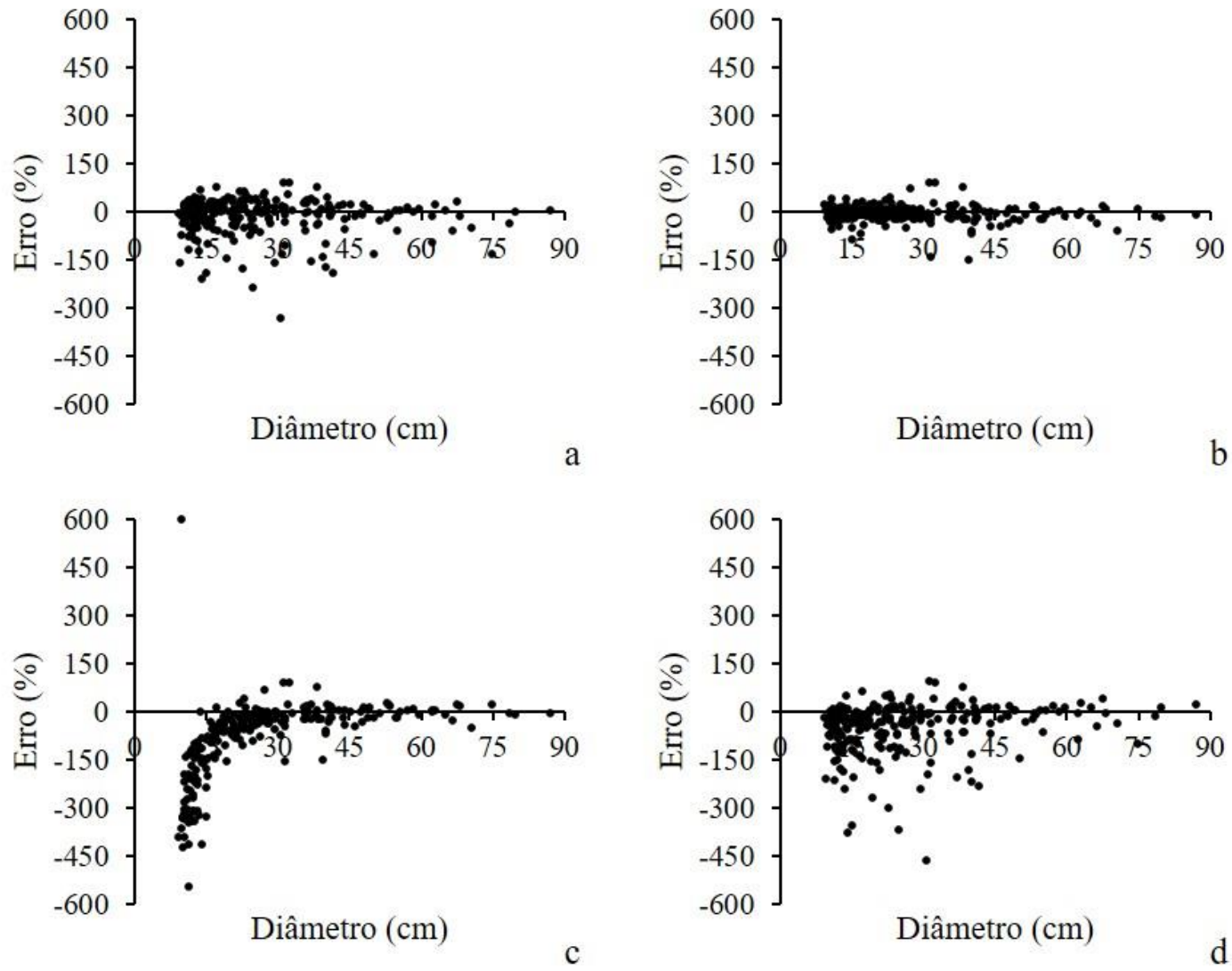


Figura 14: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 2 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

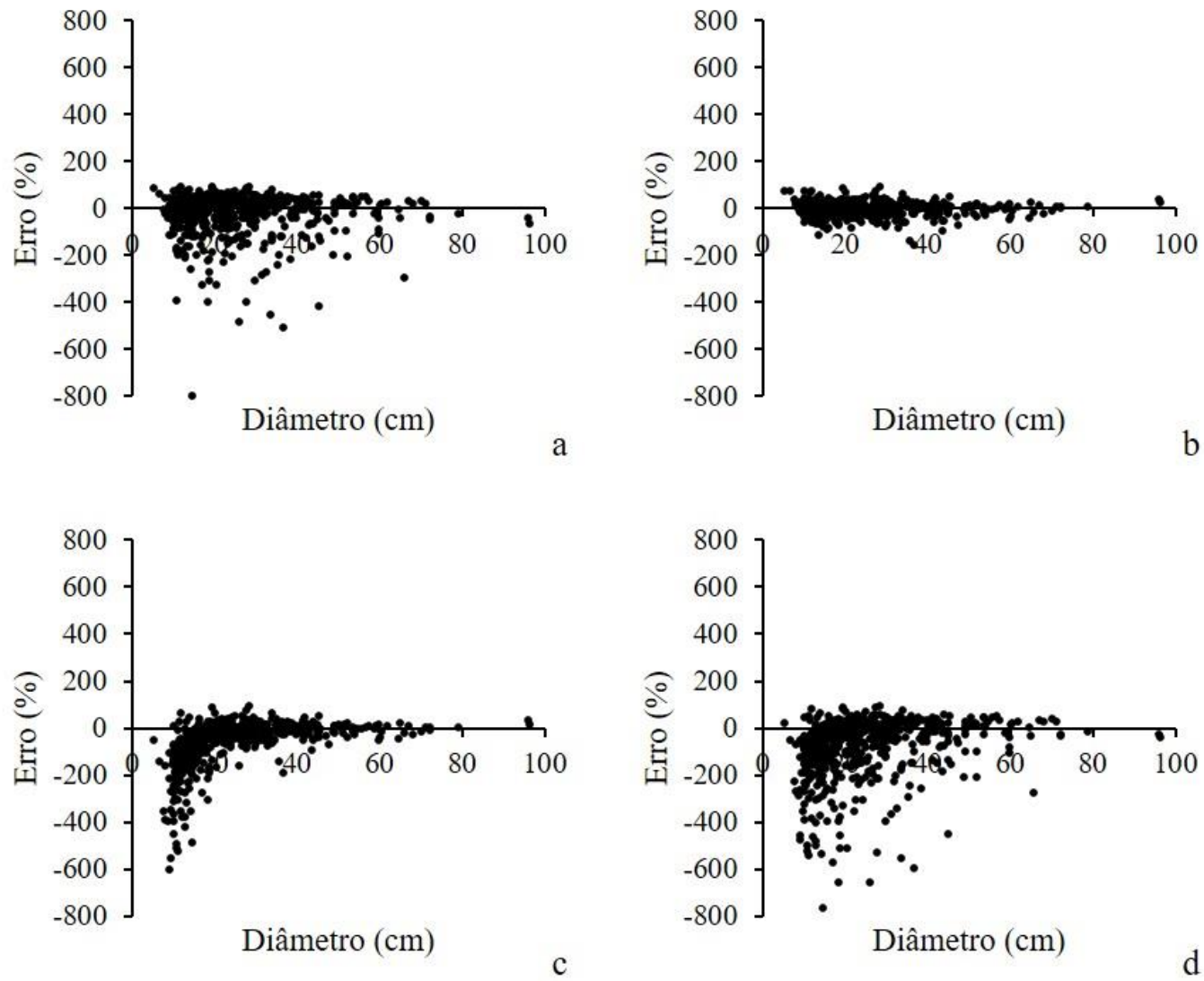


Figura 15: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a classe de decomposição 3 da floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

Tabela 20: Modelos ajustados para a área manejada.

Modelos	Equação Ajustada	F	Coeficientes			R ² ajust	r	CV (%)	S
			β_0	β_1	β_2				
1	$V = 0,000210D^{2,319753}$	3449,11**	0,000210	2,319753**		79,91	0,80	115,06	0,72
2	$V = 0,000126D^{1,865761}H^{0,921967}$	6855,87**	0,000126	1,865761**	0,921967**	94,05	0,97	92,42	0,57
3	$V = 0,095845 + 0,000058D^2H$	2109,93**	0,095845	0,000058**		70,87	0,84	92,72	0,57
4	$V = -0,012496 + 0,000809D^2$	1154,37**	-0,012496	0,000809**		57,09	0,76	112,54	0,70

Modelos: 1 – Berkhout; 2 – Schumacher-Hall; 3 – Spurr; 4 – Kopezi-Gehhardt. **Variáveis:** V_n = volume de necromassa; D = diâmetro; H = altura; R²ajust = coeficiente de determinação ajustado; r = coeficiente de correlação; CV (%) = coeficiente de variação; S = erro padrão.

** Significativo a 1% ($\alpha = 0,01$)

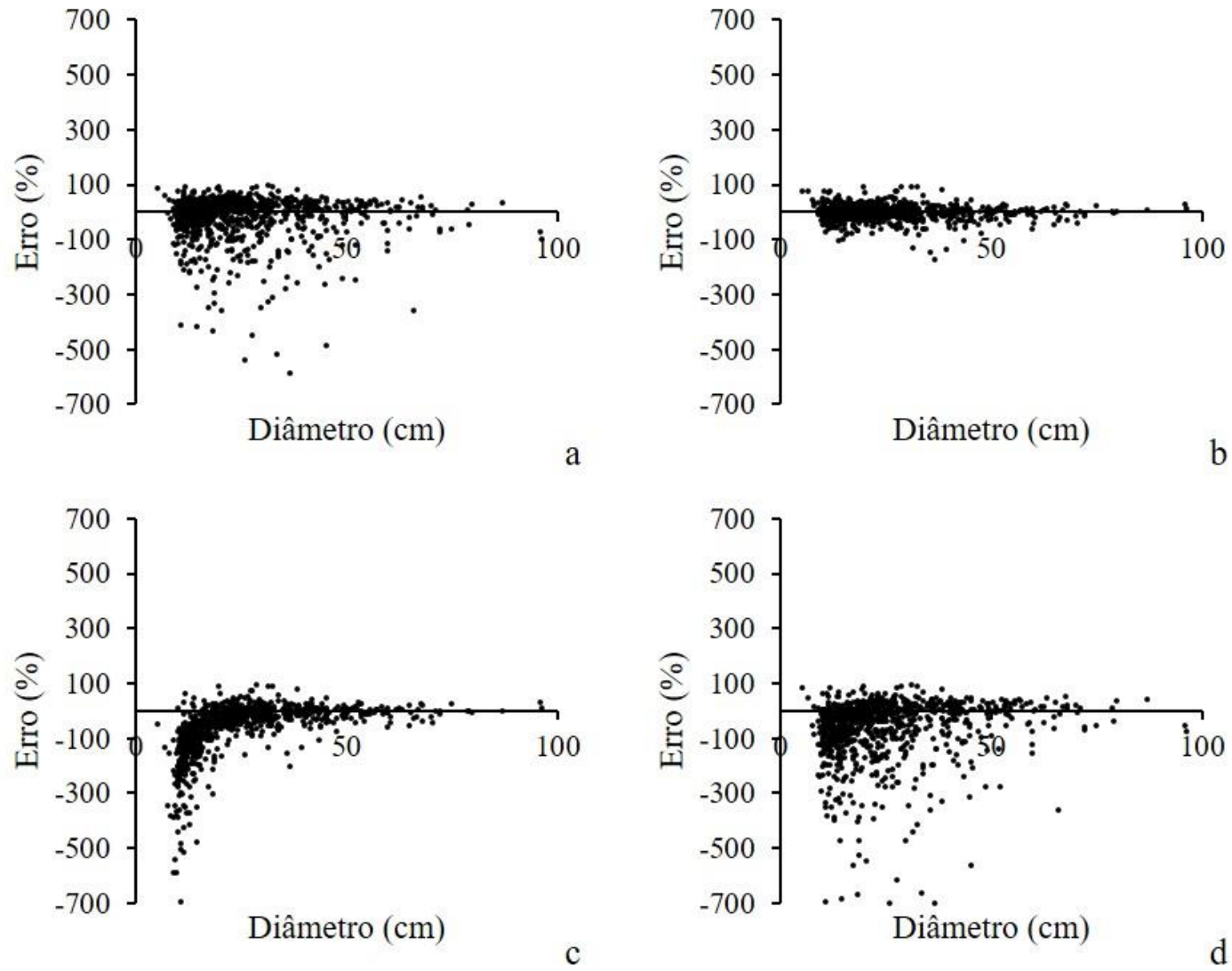


Figura 16: Distribuição de resíduos dos modelos ajustados para a floresta manejada: modelo 1 (a); modelo 2 (b); modelo 3 (c); modelo 4 (b).

6 CONCLUSÕES

As atividades de manejo florestal proporcionam maior estoque de necromassa em relação à floresta não manejada.

A diferença na intensidade de exploração não exerceu influência significativa no estoque de necromassa.

Considerando apenas troncos caídos e árvores mortas em pé, as estimativas de necromassa geradas a partir da taxa de mortalidade dos inventários florestais contínuos são suficientes para conhecer o estoque de necromassa.

Não foi possível bons ajustes de modelos volumétricos para a necromassa, considerando as classes de decomposição. Para a floresta não manejada o modelo de *Schumacher-Hall* apresentou ajuste satisfatório, podendo ser usado com cautela.

Para a necromassa total o modelo de *Schumacher-Hall* foi o que melhor se ajustou às duas áreas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. Custos e benefícios do manejo florestal. In: **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia**. Belém: Imazon. p. 103-113. 1998.

AZEVEDO, C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação**. 2006, 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

BAKER, T. R. *et al.* Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. **Oecologia**, v. 152, n. 3, p. 495 – 504, 2007.

BARBOSA, R. I.; SILVA, L. F. S. G.; CAVALCANTE, C. O. **Protocolo necromassa: estoque e produção de liteira grossa**. Programa em Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia, PPBio Amazônia. 24p. Boa vista, Roraima. 2009.

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 20 – Manaus**. Rio de Janeiro, 1978.

BRAZÃO, J. E. M.; SANTOS, M. M.; SILVA, Z. L. Vegetação e Recursos Florísticos. In: CALDEIRON, S. S. (Ed.). **Recursos Naturais e Meio Ambiente: Uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 1, p. 59 – 68, 1993.

BROWN, S. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 1997.

CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; LINGNER, D. V. Inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais de Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L. de; LINGNER, D. V. (Ed.). **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**. Blumenau: FURB, p. 217 – 227, 2012.

CECON, P. R. *et al.* **Métodos estatísticos**. Viçosa, MG, 2012, Ed. UFV, 229 p.

CHAO, K. J.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R. Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. **NRC Research**, v. 38, p. 795 – 805, mar. 2008.

CHAO, K. J. *et al.* After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. **Biogeosciences**, v. 6, p. 1615 – 1626, fev. 2009.

CIAIS, P. *et al.* Climate Change 2013: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. p. 465 – 570, Cambridge and New York: Cambridge University Press. 2013.

COLPINI, C. *et al.* Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 97 – 104, 2009.

CRUZ FILHO, D.; SILVA, J. N. M. Avaliação da quantidade de resíduos lenhosos em floresta não explorada e explorada com técnicas de redução de impactos, utilizando amostragem por linha interceptadora, no Médio Moju, Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 527 – 532, 2009.

DELANEY, M. *et al.* The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. **Biotropica**, v. 30, n. 1, p. 2 – 11, 1998.

DEUS, K. H. P. **Estoque de necromassa lenhosa em Floresta Ombrófila Mista usando diferentes métodos de amostragem.** 2015, 76p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: J. Wiley e Sons, 1981. 2 ed. 709p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Managing forests for climate changes.** 2010.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus, AM, 2003, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 144 p.

FEARNSIDE, P. M. As Mudanças Climáticas Globais e a Floresta Amazônica. **A Biologia e as Mudanças Climáticas Globais no Brasil**. Marcos Buckeridge (ed.), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

FERREIRA, S. J. F. *et al.* Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 3, p. 381 – 396, 2001.

FIORINI, A. C. O. **A importância da madeira morta para estimar estoques de carbono em florestas degradadas: implicações para ações de Redução de Emissão por Desmatamento e Degradação Florestal**. 2012, 122p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

GALICIA, L.; SAYNES, V.; CAMPO, J. Biomasa aérea, biomasa subterrânea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. **Botanical Sciences**, v. 93, n. 3, p. 473 – 484, 2015.

GERWING, J. J. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 157, p. 131 – 141, 2002.

GIMENEZ, B. O. *et al.* Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 291 – 301, jun. 2015.

GRAHAM, M. H. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. **Ecology**, v. 84, n. 11, p. 2809 – 2815, nov. 2003.

HARMON, M. E. *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v. 15, 1986.

HARMON, M. E. *et al.* Decomposition and mass of wood detritus in the Dry Tropical Forests of the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. **Biotropica**, v. 27, n. 3, p. 305 – 316, set. 1995.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. **U. S. LTER Network**, v. 20, 73 pp. 1996.

HIGUCHI, F. G. **Dinâmica de volume e biomassa da floresta de terra firme do Amazonas**. 2015, 207 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

HIGUCHI, N. *et al.* A floresta amazônica e a água da chuva. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 427 – 434, jul./set. 2011.

HIGUCHI N. *et al.* Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295 – 304, set./dez. 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa digital temático de vegetação-Banco de dados SIPAM**, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**, 2015.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. EGGELSTON, S. *et al.* (Eds.); **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 4, 2006. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD, C. B. *et al.* (Eds.); **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the**

Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014. p.1 – 32.

KELLER, M. *et al.* Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 784 – 795, 2004.

LIMA, A. J. N. **Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas.** 2010, 183 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

LUYSSAERT, S. *et al.* Old-growth forests as global carbon sinks. **Nature**, v. 455, p. 213 – 215, set. 2008.

MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição.** 2003, 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 311 – 321, 2002.

PALACE, M. *et al.* Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 238: 309 – 318, 2007.

PALACE, M. *et al.* Necromass production: studies in undisturbed and logged amazon forests. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 873 – 884, jun. 2008.

PALACE, M. *et al.* A Review of Above Ground Necromass in Tropical Forests. **Research Gate**, in Book: Tropical Forests. mar. 2012.

PAULETTO, D. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira grossa em floresta submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste de mato grosso**. 2006, 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Amazonas / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

PÉLLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, PR, 1997, editorado pelos autores, 316 p.

PMFS/Mil Madeiras. **Plano de Manejo Florestal Sustentável da Mil Madeiras Preciosas/PWA. VI Reformulação**. Itacoatiara/AM, 2013.

REGIS, W. D. E. Unidades de Relevô. In: CALDEIRON, S.S. (Ed). **Recursos Naturais e Meio Ambiente: Uma visão do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 1, p. 39 – 45, 1993.

RIBEIRO, A. *et al.* Proposta metodolôgica para realizaçô de um inventário florestal de necromassa : um estudo de caso. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 121 – 127, mar. 2012.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equaçôes de volume para a Floresta Nacional do Tapajôs. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 605 – 612, 2014.

RICE, A. H. *et al.* Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth amazonian forest. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, Supplement, p. S55–S71, 2004.

ROLIM, S. G. *et al.* Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, p. 107 – 114, 2006.

ROSA R. S.; MESSIAS, R. A. AMBROZINI, B. **Importância da compreensô dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

SALATI, E. Mudanças climáticas e o ciclo hidrolôgico na Amazônia. In: **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia**. Ministério do Meio Ambiente, p. 153 – 172, 2001.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 1 – 8, jan./mar. 2014.

SCARAZATTI, B. **Boletim agrometeorológico 2014: Estação Agroclimatológica da Embrapa Amazônia Ocidental, no Km 29 da Rodovia AM-010**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2016.

SCHNEIDER, P, R; SCHNEIDER, P, S, P; SOUZA, C, A, M. **Análise de Regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: FACOS, Ed. 2, 294 p., 2009.

SILVA, K. E. *et al.* Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 193 – 201, mar. 2015.

SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007, 152p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

SILVA, V. D. **Respiração heterotrófica e estoques de necromassa em regiões de borda e interior em fragmentos de Mata Atlântica**. 2013, 93p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.

SILVEIRA, P. *et al.* O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

SMITH, J. E.; HEATH, L. S.; WOODBURY, P. B. How to estimate forest carbon for large áreas from inventory data. **Journal of Forestry**, jul./ago. 2004.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa, MG, 2012, Ed. UFV, 272 p.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa, Mg, 2013, Ed. UFV, 322 p.

SOUZA, C. R. **Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia**. 2012, 129p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

SOUZA, C. R. *et al.* Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 501 – 506, 2012.

SOUZA, M. A. S. **Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Central**. 2015, 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM.

SUMMERS, P. M. **Estoque, decomposição, e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra firme, na Amazônia Central**. 1998, 118 p. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM.

THAINES, F. *et al.* Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 30, n. 64, p. 283 – 289, nov./dez. 2010.

TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 35, n. 82, p. 111 – 117, abr./jun. 2015.

VIEIRA, S. A. *et al.* Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and Evolution**, v. 1, n. 3, p. 421 – 34, 2011.

VIEIRA, L. C. S. **Dinâmica da biomassa da floresta amazônica em resposta a estresse hídrico**. 2011, 71p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 416p. 1987.

WANG, X.; FENG, Z.; OUYANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**. v. 148, p. 117 – 123, 2001.

ZANINOVICH, S. C.; FONTANA, J. L.; GATTI, M. G. Atlantic Forest replacement by non-native tree plantations: Comparing aboveground necromassa between native forest and pine plantation ecosystems. **Forest Ecology and Management**. v. 363, p. 39 – 46, 2016.