

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO,
CAMPUS DE IRATI, PARANÁ**

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA EM
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA USANDO
DIFERENTES MÉTODOS DE AMOSTRAGEM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

KARINA HENKEL PROCEKE DE DEUS

IRATI - PARANÁ

2015

KARINA HENKEL PROCEKE DE DEUS

**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA
USANDO DIFERENTES MÉTODOS DE AMOSTRAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^o. Dr^o. Afonso Figueiredo Filho

Orientador

Prof^a. Dr^a. Andrea Nogueira Dias

Coorientadora

IRATI-PARANÁ

2015

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

D486e DEUS, Karina Henkel Proceke de.
Estoque de necromassa lenhosa em Floresta Ombrófila mista usando diferentes métodos de amostragem / Karina Henkel Proceke de Deus. – Irati, PR : [s.n], 2015. 76f.

Orientador: Profº. Drº. Afonso Figueiredo Filho
Coorientadora: Profº. Drª. Andrea Nogueira Dias
Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.
Área de concentração em Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Madeira morta. 3. Linha interceptadora. 4. Amostragem em área fixa. 5. Teste não paramétrico. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Dias, Andrea Nogueira. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 20 ed. 634.9751



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

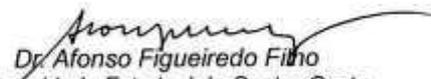
Defesa Nº 78

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir a mestrande **Karina Henkel Proceke de Deus** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**ESTOQUE DE NECROMASSA LENHOSA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA USANDO DIFERENTES MÉTODOS DE AMOSTRAGEM**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 28 de abril de 2015.


Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador


Dr^a Greyce Chaillyne Benedet Maas
Universidade Federal do Paraná
Segunda Examinadora


Dr. Afonso Figueiredo Filho
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Aos meus pais, por todo apoio, incentivo e principalmente pelas correções, pois como diz a palavra do Senhor, o pai educa ao filho de quem deseja o bem (Pv. 3:12), a eles

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e oportunidade de servi-lo em tudo o que ele me proporcionou fazer.

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

Ao Professor Afonso Figueiredo Filho, pela orientação, paciência, disponibilidade, contribuição através dos conhecimentos repassados durante este estudo e durante os anos de ensino na graduação e pós-graduação que foram muito importantes para o bom desempenho desta pesquisa, agradeço o incentivo, a oportunidade de ser sua orientada e principalmente pela amizade, além de agradecer deixo aqui minha sincera admiração pelo profissional que é.

À professora Andrea Nogueira Dias Bueno, pela coorientação, participação, dedicação, atenção dispensada, pelos ensinamentos, apoio e ânimo para continuar, e principalmente agradeço pela amizade e por todos os conselhos de uma mulher trabalhadora, sábia, mãe, profissional, inteligente e amiga.

À todos os demais professores do programa de pós-graduação em ciências florestais da unicentro Irati.

À doutoranda do programa de pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná Greyce Charllyne Benedet Maas, pela inestimável ajuda, por estar sempre pronta a me ouvir e me esclarecer dúvidas a qualquer momento, sendo quase uma coorientação.

Aos colegas Jocasta Lerner, Alexandre de Almeida Garrett, Tiago Grespan, Murilo Malheiros, Josmar de Jesus Viana, Luiz Henrique Zich, Caroline Gaspar, Jéssica Costa e Leandro Tonhato pela imensa colaboração e participação na coleta exaustiva dos dados.

Em especial ao meu amado esposo Philippe, homem de Deus na minha vida, que me acompanhou mais intensivamente nos últimos meses desta pesquisa, e suportou com paciência toda inquietação, cansaço, desânimo e falta de tempo e que também foi meu suporte, meu maior incentivador, encorajador, atencioso sempre me apoiando nos meus planos mirabolantes, e me colocando acima de muito em sua vida e seu tempo.

Aos meus irmãos que amo tanto Rafael e Bruna, que participam de longe, mas com muita dedicação e preocupação. A eles que são amigos além de irmãos, que admiro e tenho orgulho, agradeço com todo carinho e de todo coração.

Aos demais colegas do programa de pós-graduação, que de alguma forma participaram e colaboraram com trocas de conhecimentos.

A todos os amigos que tiveram sua participação nos momentos importantes desta etapa da minha caminhada acadêmica.

MUITO OBRIGADA!

“O conselho da sabedoria é: Procure obter sabedoria; use tudo o que você possui para adquirir entendimento”.

Provérbios 4:7

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	5
3.2. BIOMASSA FLORESTAL	7
3.3. NECROMASSA	8
3.4. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE NECROMASSA	11
3.4.1. Área fixa	11
3.4.1. Linha interceptadora	12
3.5. DIVERSIDADE NA NECROMASSA	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
4.1.1 Localização e vegetação	15
4.1.2. Clima	16
4.1.3. Solos	16
4.1.4. Caracterização das unidades amostrais	16
4.1.4.1. Métodos de Amostragem	18
4.1.4.2. Coleta de dados	19
4.2. AMOSTRAGEM E ESTIMATIVA DO VOLUME DE NECROMASSA PELO MÉTODO DE ÁREA FIXA	20
4.2.1. Necromassa lenhosa caída	20
4.2.1.1. Amostragem por área fixa	20
4.2.1.2. Classificação do estágio de decomposição da madeira morta caída	21
4.2.1.3. Classificação da madeira morta caída por espécies	21
4.2.2. Necromassa lenhosa em pé	22
4.2.2.1. Amostragem de árvores mortas em pé	22

4.2.2.2. Classificação do estágio de decomposição da madeira morta em pé	22
4.2.2.3. Classificação das árvores mortas em pé por espécies	22
4.3. AMOSTRAGEM E ESTIMATIVA DO VOLUME DE NECROMASSA PELO MÉTODO DA LINHA INTERCEPTADORA	23
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	25
4.4.1. Comparação das estimativas geradas pelos três métodos de amostragem.	25
4.5. ESTIMATIVA DO PESO DA NECROMASSA E DO CARBONO.....	28
4.5.1. Densidade da madeira morta	28
4.5.2. Determinação do peso da necromassa de madeira caída e de árvores mortas em pé	28
4.5.3. Estimativa do peso de carbono na necromassa.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE MADEIRA MORTA CAÍDA.....	30
5.1.1. Método de amostragem de área fixa com unidade amostral de 2500 m ²	30
5.1.2. Método de amostragem de área fixa com unidade amostral de 500 m ²	34
5.1.3. Método de amostragem linha interceptadora.....	38
5.2. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE ÁRVORES MORTAS EM PÉ.....	39
5.2.1. Método de amostragem de área fixa com unidades amostrais 2500 m ²	40
5.2.2. Método de amostragem de área fixa com unidades amostrais 500 m ²	42
5.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	45
5.3.1. Madeira morta Caída	45
5.3.2. Árvore morta em pé.....	52
5.3. ESTOQUE DE NECROMASSA E CARBONO.....	53
5.3.1. Peso de necromassa caída	53
5.3.2. Peso de necromassa de árvore morta em pé	54
5.3.3. Peso seco de carbono presente na necromassa.....	54
6. CONCLUSÕES.....	59
7. RECOMENDAÇÕES	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APÊNDICE	70

LISTA DE ABREVIATURAS

- AF1* Procedimento de amostragem de área fixa com unidades amostrais de 2500 m²
- AF2* Método de amostragem de área fixa com unidades amostrais de 500 m²
- LI* Método de amostragem com linha interceptadora com unidades de amostra de 50 m
- Mortas caídas
- C1* Classe de decomposição inicial
- C2* Classe de decomposição intermediária
- C3* Classe de decomposição avançada
- Árvores mortas em pé
- D1* Classe de decomposição nova
- D2* Classe de decomposição inicial
- D3* Classe de decomposição intermediária
- D4* Classe de decomposição avançada

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de unidades amostrais, tamanho das unidades, área e intensidade amostral de cada método.	18
Tabela 2. Classes de decomposição utilizadas para madeira morta caída.	21
Tabela 3. Classes de decomposição utilizadas para árvores mortas em pé.	23
Tabela 4. Estatística para inventário de processo de amostragem aleatório simples.	26
Tabela 5. Densidade da madeira morta por classe de decomposição.	28
Tabela 6. Comparação entre volumes médios de necromassa obtidos em pesquisas realizados no Brasil.	31
Tabela 7. Volume de madeira morta caída ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classe de decomposição e compartimento nas unidades amostrais de 2500 m^2	31
Tabela 8. Número de peças de madeira caída por espécie e família nas unidades amostrais de 2500 m^2	32
Tabela 9. Volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por espécie em cada classe de diâmetro de peças no grupo madeira morta caída em unidades amostrais de 2500 m^2	33
Tabela 10. Volume de madeira morta caída ($m^3 \cdot ha^{-1}$) para cada tipo de peça por espécie de maior ocorrência nas unidades amostrais de 2500 m^2	34
Tabela 11. Volume de madeira morta caída ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classe de decomposição e modalidade nas unidades amostrais de 500 m^2	35
Tabela 12. Número de peças de madeira caída (ha) por espécie e família nas unidades amostrais de 500 m^2	36
Tabela 13. Volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por espécie em cada classe de diâmetro de peças no grupo de madeira morta caída em unidades amostrais de 500 m^2	37
Tabela 14. . Volume de madeira morta caída ($m^3 \cdot ha^{-1}$) para cada tipo de peça por espécie de maior ocorrência nas unidades amostrais de 500 m^2	37
Tabela 15. Volume ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classe de decomposição estimado pelo método de amostragem linha interceptadora.	38
Tabela 16. Número de peças (ha) de madeira morta caída por espécie e família estimado pelo método de amostragem linha interceptadora.	38
Tabela 17. Volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de necromassa lenhosa caída por espécie em cada classe de diâmetro de peças pelo método de amostragem de linha interceptadora.	38
Tabela 18. Volume de necromassa lenhosa caída ($m^3 \cdot ha^{-1}$) estimado para as espécies mais	

representativas pelo método de amostragem linha interceptadora.	39
Tabela 19. Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada classe de decomposição na modalidade árvore morta em pé estimado pelo método de área fixa com unidades amostrais de 2500 m^2	40
Tabela 20. Número de árvores mortas em pé (ha) por espécie e família para unidades amostrais de 2500 m^2	41
Tabela 21. Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé por espécie em cada classe de diâmetro nas unidades amostrais de 2500 m^2	42
Tabela 22. Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé para cada classe de decomposição em unidades amostrais de 500 m^2	43
Tabela 23. Número de árvores mortas em pé por espécie e família em unidades amostrais de 500 m^2	44
Tabela 24. Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé por espécie em cada classe de diâmetro nas unidades amostrais de 500 m^2	45
Tabela 25. Estatísticas para os métodos de amostragens área fixa (500 m^2 e 2500 m^2) e linha de interceptação para estimar volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de madeira morta caída.	46
Tabela 26. Intensidade amostral estimada para um limite de erro de 10 e 15% para os três métodos de amostragem.	47
Tabela 27. Área necessária a ser amostrada para atingir erro de 10 e 15%.	48
Tabela 28. Média de Volume de madeira morta caída ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) por classe de diâmetro para cada método de amostragem.	48
Tabela 29. Comparação estatística dos métodos de amostragem.	49
Tabela 30. Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) do material lenhoso caído com diâmetro menor que 25 cm e para o total em todos os métodos de amostragem.	50
Tabela 31. Comparação estatística dos métodos e tamanhos de amostragem para o volume médio do material com diâmetro menor que 25 cm.	51
Tabela 32. Teste Dunn de comparações múltiplas para os métodos de amostragem na estimativa de volume médio de material morto caído com diâmetro menor que 25 cm.	51
Tabela 33. Porcentagem do volume de necromassa caída em cada classe de decomposição para cada método.	52
Tabela 34. Teste t para os volumes médios de árvore morta em pé em cada tamanho de unidade amostral.	53
Tabela 35. Teste t para o volume médio de árvore morta em pé ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada classe de	

decomposição.	53
Tabela 36. Peso da Necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de madeira morta caída por classe de decomposição em cada método e suas estatísticas.	53
Tabela 37. Comparação de peso de necromassa caída de diferentes tipologias florestais, obtidas por diferentes autores.	54
Tabela 38. Peso da Necromassa de árvores mortas em pé ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por classe de decomposição em cada tamanho de amostra de área fixa.	56
Tabela 39. Peso total da necromassa para cada método ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).	56
Tabela 40. Peso de carbono nas diferentes classes de decomposição para cada método de amostragem.	56
Tabela 41. Porcentagem de carbono total (morta caída e árvore morta em pé) presente em cada classe de decomposição de cada método.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das Parcelas.....	15
Figura 2. Classificação dos solos na área experimental.	16
Figura 3. Disposição das parcelas permanentes.	17
Figura 4. Esquema de um bloco. a) parcela 50 m x 50 m b) parcela 10 m x 50 m	18
Figura 5. Esquema do método de linha de interceptação	19
Figura 6. Esquema de medição das peças dentro de unidades amostrais de área fixa	20
Figura 7. Orientação para forma de árvores mortas caídas.	23
Figura 8. Esquema de inclusão ou não das toras pela linha interceptadora.....	24
Figura 9. Ponto de intersecção para medição do diâmetro no método de linha de interceptação.....	24
Figura 10. Porcentagem de classes de decomposição para o volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de madeira morta caída nas unidades amostrais de 500 m^2	35
Figura 11. Porcentagem do volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de árvores mortas em pé em classes de decomposição estimado pelo método de amostragem área fixa com unidades amostrais de 2500 m^2	40
Figura 12. Porcentagem do volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) de árvores mortas em pé estimado por classes de decomposição pelo método de amostragem área fixa com unidades amostrais de 500 m^2	43
Figura 13. Porcentagem de material maior e menor que 25 cm de diâmetro para os três métodos de amostragem.	50

RESUMO

Karina Henkel Proceke de Deus. Volume de necromassa usando diferentes métodos de amostragem em Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do Paraná.

O presente estudo teve como objetivo principal quantificar o estoque de necromassa, presente em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista a partir de diferentes métodos de amostragem. A área de estudo está inserida na Floresta Nacional de Irati, com 78% da área no município de Fernandes Pinheiro e 22% em Teixeira Soares, estado do Paraná. Os dados foram coletados em parcelas permanentes instaladas por professores do Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO. Foram avaliados três métodos de amostragem, a) área fixa com unidades amostrais de 2500 m² (50 m x 50 m) -AF1 b) área fixa com unidades amostrais 500 m² (10 m x 50 m) – AF2 e c) método de amostragem Linha Interceptadora (LI) com linhas de 50 m. Foram medidas peças de madeira morta caída e árvores mortas em pé com diâmetro ≥ 10 cm. A madeira morta foi avaliada por espécie, classe de diâmetro e classes de decomposição. Os métodos de amostragem testados foram avaliados a partir das seguintes estatísticas: Coeficiente de Variação (CV%) e Erro de amostragem relativo (Er%). Para comparações dos resultados entre os métodos foram empregados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e pós-teste de Dunn para comparações múltiplas. Os volumes de madeira morta caída estimados foram de 16,77 m³.ha⁻¹, 18,89 m³.ha⁻¹ e 16,31 m³.ha⁻¹ para os métodos AF1, AF2 e LI, respectivamente. Os volumes estimados de árvores mortas em pé para AF1 foram de 5,11 m³.ha⁻¹ e para AF2 3,67 m³.ha⁻¹. O peso de necromassa total estimado foi de 7,39 Mg.ha⁻¹ (AF1), 7,48 Mg.ha⁻¹ (AF2) e 5,26 Mg.ha⁻¹(LI). O método AF1 teve menor variação do volume de necromassa, porém o método AF2 apresentou menor erro de amostragem. Os volumes para madeira morta caída e para árvores mortas em pé não diferiram estatisticamente entre os métodos de amostragem, os quais estimaram valores similares de volumes, peso de necromassa e carbono, porém para atingir um erro de amostragem de 10% necessita-se de elevada intensidade amostral. O método LI tem maior praticidade se comparado ao método AF, no entanto para concluir qual o melhor método para estimar estoque de necromassa são necessários estudos mais aprofundados.

Palavras chave: Madeira morta, Linha Interceptadora, Amostragem em área fixa, Teste não paramétrico.

ABSTRACT

Karina Henkel Proceke de Deus. Necromass stock using different sampling procedures in a Mixed Ombrophyllous Forest in Central-South Parana State, Brazil

This study aimed to quantify the stock of necromass present in a fragment of Mixed Ombrophyllous Forest from different sampling procedures. The study area is within the Irati National Forest, municipality of Irati, Parana State, Brazil. The data were collected in permanent plots established by the Department of Forestry (UNICENTRO). We evaluated three sampling procedures, a) fixed area sampling units with 2500 m² (50 m x 50 m) – FA1, b) fixed area with sample units of 500 m² (10 mx 50 m) – FA2 and c) line intercept sampling (LIS) with lines of 50 m. Were measured pieces of wood fallen dead and dead standing trees with diameter ≥ 10 cm. The dead wood was evaluated by species, diameter and decomposition classes. The tested sampling procedures were evaluated by the following statistics: Coefficient of Variation (CV%) and relative sampling error (RSE%). For comparisons of results between sampling procedures were used the nonparametric test Kruskal-Wallis and Dunn's post-test for multiple comparisons. The volume of fallen dead wood estimated to FA1, FA2 and LIS units was 16.77 m³.ha⁻¹, 18.89 m³.ha⁻¹ and 16.31 m³.ha⁻¹, respectively. The estimated volume of dead standing wood for FA1 was 5.11 m³.ha⁻¹ and FA2 3.67 m³.ha⁻¹. The total necromass estimated weight was 7.39 Mg ha⁻¹ (FA1), 7.48 Mg ha⁻¹ (FA2) and 5.26 Mg ha⁻¹ (LIS). FA1 procedure had less variation in the volume, but the FA2 procedure showed lower sampling error. The fallen and standing dead wood volumes did not differ statistically between the procedures. The procedures estimated similar values of volume, weight of necromass and carbon, but to achieve a 10% sampling error is necessary a high sampling intensity. The LIS procedure is more practical compared to the FA procedure, however to conclude what the best procedure to estimate necromass stock are needed further study.

Keywords: Dead wood, line intercept sampling, fixed area procedure, nonparametric test.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma diversidade vegetal muito rica, em que os diferentes cenários vegetacionais, devem-se a grande extensão territorial e latitudinal e a diversidade climática. A localização geográfica desses diferentes domínios vegetacionais é condicionada por fatores climáticos, tais como temperatura, pluviosidade, umidade do ar e tipo de substrato (RIBEIRO e WALTER, 1998). No Estado do Paraná, predominam dois Biomas: o Cerrado e a Mata Atlântica.

O bioma Mata Atlântica ocupava inicialmente uma área equivalente a 21,8% (PROBIO, 2007), segundo IBGE (2013) atualmente restam cerca de 7% da cobertura florestal original. Apesar da exploração desordenada e altas taxas de perda de habitat, esse bioma apresenta uma vasta biodiversidade e elevado grau de endemismo de espécies. Estas condições colaboraram para que o bioma fosse considerado um “hotspots” de biodiversidade com prioridade de conservação (MYERS et al., 2000). Este Bioma é composto por diversos domínios florestais como: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária, Floresta Ombrófila Aberta, Estacional, Brejos Interioranos, Campos de Altitude, Restingas e Mangues (VELOSO et al., 1991). De modo geral, a Mata Atlântica é um mosaico diversificado, apresentando estruturas e composições florísticas diferenciadas, em função de diferenças no solo, relevo e características climáticas existentes na ampla área de ocorrência desse bioma no Brasil (IBAMA, 2008).

A Floresta Ombrófila Mista é um domínio florestal típico da região sul do Brasil, tendo como principal característica a presença da espécie conífera *Araucaria angustifolia*. Esta tipologia florestal também é conhecida empiricamente como Floresta com Araucária (VELOSO et al., 1991). Estas formações florestais sofreram com a devastação que reduziu a cobertura vegetal natural e atualmente restam cerca de 3% de sua área original, incluindo as florestas exploradas e matas em regeneração (MMA, 2010). De acordo com estudos realizados em 2001, pela FUPEF (Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná) a maior parte dos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná está nas regiões de Guarapuava, União da Vitória e Palmas, na região Centro Sul, onde são contínuos e formam corredores florestais.

Muitos estudos vêm sendo conduzidos nesses domínios florestais, contudo ainda há poucas informações relacionadas à estrutura e funcionamento dessas florestas, o que demanda

o conhecimento da dinâmica, que incluem os mecanismos reguladores dessa estrutura e da biodiversidade destes ecossistemas, como os estoques e a ciclagem da biomassa (VEIGA, 2010).

As florestas são extremamente importantes no estoque de carbono mundial. O dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), são conhecidos como gases de efeito estufa, denominados assim porque absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, influenciando no aquecimento global e nas consequentes mudanças climáticas (VEIGA, 2010).

Segundo Dixon et al. (1994) a vegetação florestal estoca o carbono atmosférico através do incremento da biomassa. Fontes adicionais que servem como depósito de carbono são os solos florestais e os detritos lenhosos, porém as taxas de carbono contidas na madeira morta possivelmente são subestimadas. Madeira morta é um componente crucial da estrutura florestal, além de armazenar grandes quantidades de carbono funciona como reservatório de outros nutrientes no piso florestal (HARMON et al., 1986).

Necromassa, segundo Brown (1974), De Vries (1986), Harmon et al. (1986) e Keller et al. (2004) pode ser definida como toda a massa morta presente na floresta proveniente de elementos lenhosos (madeira de tronco das árvores, galhos em estado avançado de decomposição) em ecossistemas naturais ou antropogênicos. Seu diâmetro mínimo a ser considerado no inventário pode variar de 2 a 10 cm de acordo com o objetivo do trabalho (HARMON et al., 1986; BARBOSA et al., 2008). No caso de florestas naturais, a necromassa é encontrada em abundância nas formas de árvores mortas em pé, troncos caídos e galhos grossos (HARMON et al., 1986).

O estoque de necromassa em uma floresta resulta do saldo de dois processos, produção e deterioração, e o conhecimento desses dois processos é importante para compreender a dinâmica do carbono nas florestas (PALACE et al., 2008). Em florestas maduras a necromassa representa cerca de 10 a 20% da biomassa total acima do solo, contudo, a quantificação deste componente em inventários florestais com objetivos de avaliar o estoque de carbono, tem sido, geralmente, ignorada (BROWN, 2002; DELANEY et al., 1998). Além disso, a necromassa tem funções ecológicas cruciais na manutenção da produtividade dos ecossistemas (COUTEUX e BERG, 1995; HARMON et al., 1986) e teores de matéria orgânica e nutrientes no solo (FERREIRA et al., 2001). Sua importância funcional em processos como, sucessão ecológica florestal, histórico de distúrbios naturais e históricos de

uso da terra, não depende apenas da quantidade de massa morta contida na floresta, mas também é afetada pela distribuição da necromassa em diferentes diâmetros, arranjo espacial, grau de decomposição, diferentes espécies e posição que o material lenhoso se encontra (em pé ou caído) (HARMON et al., 1986).

Florestas tropicais são consideradas importantes reservatórios de carbono florestal (MALHI et al., 1999). De modo geral, florestas têm funções e benefícios de extrema importância aos seres humanos e ao planeta, com isso atualmente é necessário contribuir com medidas de conservação e recuperação que garantam a manutenção da biodiversidade presente nos diferentes ecossistemas florestais, bem como auxiliar com estratégias para manter suas funções ambientais e climáticas que proporcionam melhoria da qualidade de vida.

Pesquisas que envolvem o compartimento florestal madeira morta ainda são escassas. No Brasil, a maioria dos estudos tem sido realizados na região da Amazônia, dentre estes se destacam, os desenvolvidos por Barbosa (2001); Chambers et al. (2000); Keller et al. (2004); Rice et al. (2004); Baker et al. (2007); Chao et al. (2009) e Cruz Filho e Silva (2009). No cerrado podem-se citar os trabalhos de Aduan (2003) e de Luccas (2011), enquanto na Mata Atlântica as pesquisas de Cunha et al. (2009); Silva (2013); Vieira et al. (2011); Cardoso et al. (2012) e Sanquetta et al. (2014).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Quantificar o estoque da necromassa (madeira morta caída e em pé) usando três métodos de amostragem em remanescente de Floresta Ombrófila mista localizada na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), na região Centro-Sul do estado do Paraná.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o estoque volumétrico de madeira morta caída pelos métodos de amostragem em área fixa (com unidades amostrais de 2500 m² e 500 m²) e linha interceptadora;
- Avaliar o estoque volumétrico de madeira morta caída nas diferentes classes de decomposição, diferentes espécies e classes de diâmetro;
- Quantificar o estoque volumétrico de árvores mortas em pé pelos métodos de amostragem de área fixa com unidades amostrais de 2500 m² e 500 m².
- Avaliar o estoque volumétrico de árvore morta em pé nas diferentes classes de decomposição, espécies e classes de diâmetro;
- Comparar os métodos de amostragem para estimar o volume de madeira morta caída e volume de árvore morta em pé;
- Estimar o peso de necromassa da madeira morta caída e árvores mortas em pé;
- Estimar o estoque de carbono contido na necromassa total.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A América do Sul abrange um vasto conjunto do território intertropical e subtropical brasileiro que inclui o contínuo norte-sul das matas atlânticas, sendo esta o segundo maior complexo de florestas tropicais brasileiras (AB'SABER, 2003). As florestas pluviais também são denominadas florestas ombrófilas (do grego “amigas das chuvas”) por praticamente não apresentar períodos secos (VELOSO et al., 1991). Estão presentes nos domínios de matas atlântica e amazônica (AB'SABER, 2003) do Brasil com ocorrência desde 4°N a 32°S e de amplitude altitudinal de 0 a 2000 m (VELOSO et al., 1991).

As Florestas Ombrófilas são classificadas em densa, aberta e mista. A Floresta Ombrófila Mista também é conhecida como “Floresta com Araucária” ou “Pinheiral” (VELOSO et al., 1991). A denominação “Mista” refere-se à presença das gimnospermas *Araucaria angustifolia* (araucária) e *Podocarpus lambertii* (pinheiro-bravo), consorciadas com angiospermas de gêneros primitivos, como *Drymis* (Winteraceae), *Ocotea Cryptocarya* e *Nectandra* (Lauraceae) (MARTINS, 2009).

Desde o início da colonização, a Floresta Ombrófila Mista foi exaustivamente explorada, sem qualquer preocupação com a sua preservação ou com a sustentabilidade dos processos extrativistas. Até a década de 1965 o Brasil exportou anualmente cerca de um milhão de m³ de madeira, deste total a porcentagem referente à araucária estava entre 85 e 90%, na época a exportação de madeiras amazônicas era insignificante comparada à araucária (HUECK, 1972).

A Floresta com Araucária ocorre principalmente no Brasil, em pequenas manchas na Argentina (extremo nordeste) e no Paraguai (leste). No Brasil, a área original foi de cerca de 200.000 km², de formato irregular, ocorrendo principalmente nos estados do Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (30%) e Rio Grande do Sul (25%) e como manchas esparsas no sul de São Paulo (3%) até o sul de Minas Gerais (1%) e Rio de Janeiro (1%) em áreas de altitude elevadas (KOCH; CORRÊA, 2002).

No estado do Paraná a área coberta por florestas era de 176.737 km², desta área 87.990 km² já haviam sido destruídos, sendo 49.190 km² nas décadas de 1931 a 1950. À destruição da mata de araucária por excessivas e desordenadas derrubadas acrescentou-se ainda a destruição por fogo, que ultrapassa centenas de milhares de hectares (HUECK, 1972).

Segundo Sanquetta (2003) no estado do Paraná o percentual atual de cobertura florestal de Floresta com Araucária é de 24%, sendo quase 13% de florestas em bom grau de conservação.

A formação mais característica da Floresta Ombrófila Mista está localizada em altitudes de 800 m (clima mais frio da região com geadas frequentes), caracterizando o nível montana (LEITE e KLEIN, 1990).

De acordo com Veloso et al. (1991), a Floresta Ombrófila Mista apresenta quatro formações distintas: aluvial, em terraços antigos ao longo dos flúvios; submontana, de 50 até mais ou menos 400 m de altitude; montana, de 400 até mais ou menos 1000 m de altitude e altomontana situada a mais de 1000 m de altitude.

No Paraná a região das araucárias se inicia no primeiro planalto, imediatamente a oeste da Serra do Mar, estendendo-se também pelos segundo e terceiro planaltos do estado. A região dos Campos Gerais, dos campos de Guarapuava, de Palmas e de Laranjeiras do Sul são associações florísticas da araucária. Os campos cerrados do Paraná também se localizam na região das araucárias (MAACK, 1968).

A diversidade de espécies latifoliadas no estrato superior varia de acordo com a área geográfica. Nos estados do Paraná e Santa Catarina predominam erva-mate (*Ilex paraguariensis*), imbuia (*Ocotea porosa*) e outras espécies de canelas (ROMARIZ, 1996).

Maack (1968) considerou como espécies importantes da Floresta Ombrófila Mista, a imbuia (*Ocotea porosa*) e a erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Além destas, esse autor destacou as diversas espécies que se associam regularmente à araucária, como: as canelas (dos gêneros *Nectandra* e *Ocotea*), as leguminosas (dos gêneros *Dalbergia* e *Machaerium*), as meliáceas (principalmente *Cedrela fissilis*), as mirtáceas (como *Campomanesia xanthocarpa*), pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*) e jerivá (*Syagrus romanzoffiana*).

Em levantamento fitossociológico na Floresta Nacional de Irati, Rode (2008) caracterizou a floresta em 6 grupos com as 7 espécies de maior valor de importância, sendo os grupos: Grupo I: Associação com *Araucaria angustifolia* I, *Myrsine umbellata*, *Cabralea canjerana*, *Casearia sylvestris*, *Psychotria vellosiana*, *Cedrela fissilis* e *Piptocarpha tomentosa*; Grupo II: Associação com *Araucaria angustifolia* II, *Psychotria vellosiana*, *Myrsine umbellata*, *Alchornea triplinervia*, *Casearia sylvestris*, *Cabralea canjerana* e *Cedrela fissilis*; Grupo III: Associação *Nectandra grandiflora*, *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea porosa*, *Ocotea puberula*, *Casearia decandra* e *Cedrela fissilis*; Grupo IV: Associação *Ocotea porosa*, *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Casearia*

decandra, *Nectandra grandiflora*, *Cedrela fissilis* e *Myrsine umbellata*; Grupo V: Associação *Ocotea odorifera*, *Araucaria angustifolia*, *Ilex paraguariensis*, *Casearia decandra*, *Nectandra grandiflora*, *Cedrela fissilis* e *Syagrus romanzoffiana*; Grupo VI: Associação *Matayba elaeagnoides*, *Araucaria angustifolia*, *Nectandra grandiflora*, *Ilex paraguariensis*, *Ocotea puberula*, *Cedrela fissilis* e *Casearia decandra*.

Rode (2008) também caracterizou essas comunidades arbóreas em grupos de espécies mais discriminantes sendo: Grupo 1: *Cabrlea canjerana*, *Citronella paniculata*; Grupo 2: *Alchornea triplinervia*; Grupo 3: *Nectandra grandiflora*; Grupo 4: *Ocotea porosa*; Grupo 5: *Ocotea odorifera*; Grupo 6: *Allophylus edulis*, *Matayba elaeagnoides*, *Cupania vernalis*.

3.2. BIOMASSA FLORESTAL

Segundo Alemdag (1982) citado por Wendling (1998), o termo biomassa florestal refere-se à quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa. Teixeira (2003) definiu a biomassa como a quantidade de material vegetal contida por unidade de área numa floresta e expressa em unidade de massa.

Biomassa, quer dizer massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. O termo biomassa florestal pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas a fração arbórea da mesma. O termo fitomassa também vem sendo empregado para especificar que se trata de biomassa de origem vegetal. No caso, para melhor especificar que se trata da porção arbórea da fitomassa, poder-se-ia utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea (SANQUETTA et al., 2004). Segundo Brigadão (1992) o termo fitomassa, é referente ao material seco da planta, que combinado com a zoomassa corresponde à biomassa.

Sanquetta (1996) afirmou que as árvores na verdade são compostas em sua maior parte por material biológico inerte, ou seja, células sem uso, que poderiam ser consideradas como tecido morto. Por isso, esse autor menciona que, no caso em questão, caberia dizer que a fitomassa arbórea em grande parte seria necromassa e não propriamente biomassa.

Segundo Satoo (1982) citado por Wendling (1998), a produção de biomassa resulta do fato de que para a sobrevivência e crescimento, organismos vivos precisam obter energia e minerais de seu meio ambiente e precisam sintetizar matéria-orgânica. A síntese de matéria-orgânica por meio da fotossíntese realizada por plantas verdes em um ecossistema é chamada de produção primária, e a soma total de matéria orgânica produzida pela fotossíntese é

chamada de produção bruta. As plantas verdes consomem um pouco do produto da fotossíntese no processo de respiração, e o remanescente é incorporado à matéria da planta: isto é chamado produção líquida. Os valores de produção bruta e produção líquida são usualmente expressos, como peso seco que no caso, são frequentemente chamados de produção de matéria seca.

Segundo Lu (2006), a biomassa florestal compreende os compartimentos acima e abaixo do solo. Fazem parte do compartimento acima do solo tanto a biomassa viva quanto a biomassa morta também conhecida como necromassa (“woody debris”).

De acordo com Martinelli et al. (1994), os componentes de biomassa geralmente estimados são: biomassa viva horizontal acima do solo (BVHAS), composta de árvores e arbustos; biomassa morta acima do solo (BMAS), composta pela serrapilheira (ou “litter”) e troncos caídos; e biomassa abaixo do solo (BAS), composta pelas raízes.

3.3. NECROMASSA

Necromassa, ou biomassa morta, pode ser definida como toda a massa morta presente em ecossistemas naturais ou antropizados (BROWN, 1997; FAO, 2006), em florestas, árvores mortas ou porções de árvores mortas são designadas como necromassa (PALACE et al., 2007; PALACE et al., 2012), podendo ser encontrada na forma de árvores mortas caídas, galhos mortos, fragmentos de madeira, tocos e árvores mortas em pé (POLO et al., 2013; WOLDENDORP et al., 2004; WOLDENDORP et al., 2002)

Diferentes termos têm sido adotados para descrever a madeira morta grossa. Infelizmente, isso tem levado à confusão e à criação de maiores barreiras para comparações (HARMON;SEXTON, 1996).

O termo “dead wood” (madeira morta) têm sido utilizado por alguns autores (PASHER; KING, 2009; SWEENEY et al., 2010; OBERLE et al., 2014), assim como “dead woody material” (material lenhoso morto) (KÖHL et al., 2008; POLO et al., 2013). Outros autores utilizam o termo “woody detritos”(HARMON et al., 2007; BUSING et al., 2008), ou ainda, outro termo que tem sido bastante empregado é o “coarse woody debris” (resíduos lenhosos grossos) (KELLER et al., 2004; KNAPP et al., 2005; MOTTA et al., 2006; GOUGH et al., 2007).

Resíduos lenhosos assumem muitas formas em ecossistemas florestais, as distinções operacionalmente mais úteis são baseadas no tamanho (comprimento e diâmetro) e na posição

do material (de pé, abatido, enterrado no solo) (HARMON; SEXTON, 1996). Resíduos lenhosos, incluem uma ampla variedade de tipos e tamanhos, dentre os tipos pode ser considerada conforme sua posição: (a) árvores mortas em pé e (b) material vegetal morto estabelecido sobre o solo, sendo que na categoria (a) se encaixam as árvores mortas em pé e os tocos de árvores, na categoria (b) estão inclusos os troncos caídos, pedaços de madeira (provenientes da desintegração de árvores mortas em pé, troncos ou ainda grandes galhos mortos), grandes galhos caídos e raízes grossas. Para a categoria tamanho dos resíduos lenhosos há uma grande dificuldade em definir tamanhos padrões e comparar estudos realizados na área, devido a ampla variedade de limites de tamanhos escolhidos pelos autores. Geralmente a necromassa tem sido definida como resíduos finos (≥ 2 cm $\leq 9,9$ cm de diâmetro) e resíduos grossos (≥ 10 cm de diâmetro) (HARMON et al., 1986).

Para definir árvores mortas em pé o termo *snag* também é utilizado, e para definir troncos de árvores caídas o termo *log* pode ser utilizado (JANISCH; HARMON, 2002; SWEENEY et al., 2010).

A dificuldade em comparar os resultados ocorre devido à variação dos tamanhos utilizados na classificação do material. Em trabalhos que estudam incêndios florestais ou combustíveis, geralmente se usa um diâmetro mínimo de 7,5 cm (HARMON et al., 1986). Recomenda-se que para a maioria das florestas o material seja dividido em material lenhoso fino e grosso, e que o diâmetro mínimo que define o ponto em que inicia o material grosso seja de 10 cm (HARMON e SEXTON, 1996).

Palace et al. (2008) propuseram que a biomassa morta acima do solo possa ser subdividida segundo classes de diâmetro, como necromassa com diâmetro maior que 2 cm e serapilheira (necromassa com diâmetro menor que 2 cm).

O IPCC (2006) sugere o uso de um diâmetro igual ou superior a 10 cm para considerar o material como madeira morta, sendo todo o material inferior a isso, considerado como serapilheira.

Pietro-Souza et al. (2012) classificaram a necromassa amostrada de acordo com o diâmetro das peças, considerando necromassa caída fina como o material de 2,0 a 9,9 cm de diâmetro, e a necromassa caída grossa como o material com diâmetro superior a 10 cm, não ficando a serapilheira (foliar e de materiais menores de 2 cm de diâmetro) incluída na classificação de necromassa. Fonseca et al. (2011) dividiram a necromassa em necromassa fina (serapilheira e material lenhoso inferior a 2 cm de diâmetro) e necromassa grossa

(material lenhoso de diâmetro igual ou maior do que 2 cm). Luccas (2011) classificou a necromassa em P (pequena), M (média) e G (grande), sendo P (2 cm – 5,9 cm de diâmetro), M (6 cm – 9,9 cm de diâmetro) e G ($\geq 10,01$ cm de diâmetro).

A madeira morta, ou necromassa, funciona como habitat para muitos organismos invertebrados (especialmente os insetos), répteis, pequenos mamíferos e peixes (MAC NALLY et al., 2001). Além disso, a necromassa pode ser considerada como substrato importante para germinação e crescimento de espécies vegetais (HARMON et al., 1986).

A madeira morta contribui com a estruturação do solo, aumentando a capacidade de retenção de água. Com isso, a necromassa ajuda a prevenir a erosão do solo, já que colabora com o desenvolvimento da cobertura vegetal superficial. Sendo assim, a avaliação qualitativa e quantitativa da necromassa, pode ser considerada um índice que reflete o histórico sucessional da comunidade (ENRONG et al., 2006). A necromassa também pode ser considerada fonte de energia e nutrientes a longo prazo, pois ela imobiliza esses nutrientes à decomposição (HARMON et al., 1986).

As estimativas de estoque total de carbono em ecossistemas florestais incluem além do conjunto de árvores vivas, vegetação de sub-bosque e solo, o conjunto de árvores mortas em pé e madeira morta caída. Deste modo, a necromassa é um componente importante no sequestro de carbono ocorrido nas florestas, sobretudo 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).

Diversos estudos vêm sendo realizados neste âmbito florestal, e com diferentes objetivos. Autores como Morelli et al. (2007); Sanquetta et al. (2014); Vieira et al. (2011); Rice et al. (2004) e Cardoso et al. (2012) realizaram estudos com foco em analisar o estoque de carbono no compartimento árvores mortas em pé e caída em diferentes regiões do Brasil. Outros autores como Harmon et al. (2013); Iwashita et al. (2013); Smith et al. (2004) e Gough et al. (2007) estudaram estoque de carbono em diferentes países.

Além da análise dos estoques de carbono na necromassa, estudos com outros objetivos vêm sendo implementados, como por exemplo, pesquisas relacionadas aos métodos de amostragem mais adequados para quantificar madeira morta. Autores como Bate et al. (2004); Gove et al. (2012); Harmon et al. (1996); Ritter et al. (2012) e Woldendorp et al. (2004), desenvolveram algumas de suas pesquisas estudando diferentes métodos de amostragem.

3.4. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE NECROMASSA

Considerando-se que o inventário florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada, faz-se necessário o uso de métodos de amostragem visando auferir a população amostrada com maior eficiência. Métodos de amostragem significa a abordagem da população referente a uma única unidade de amostra. Essa abordagem pode ser efetuada pelos métodos de área fixa ou de área variável (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Em uma revisão com mais de 100 trabalhos relacionados à necromassa acima do solo em florestas tropicais, realizada por Palace et al. (2012), esses autores puderam observar que são empregados dois métodos de amostragem, um deles é o método de linha interceptadoras e o outro é o método de parcelas de área fixa.

3.4.1. Área fixa

Neste método de amostragem a seleção dos indivíduos é feita proporcional à área da unidade e, conseqüentemente, à frequência dos indivíduos que nela ocorrem. As variações da forma e tamanho das unidades amostrais constituem as variáveis fundamentais para avaliação de sua aplicação prática (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Para mensurar resíduos lenhosos, o método de área fixa tem sido utilizado em alguns estudos. Para este método de amostragem é determinado uma área fixa, e todas as peças que se encontrarem nessa área são medidas (PALACE et al., 2008). A forma e o tamanho da parcela são pré-estabelecidas (HARMON; SEXTON, 1996), podendo ser quadráticas, retangulares ou de raio fixo (WOODALL et al., 2009), sendo incluído na amostragem o material que se encontra dentro dos limites da parcela. Além do comprimento as peças de material lenhoso também podem ter seu diâmetro central e das extremidades mensurados (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008), outro método é a medição do diâmetro a cada metro ao longo da peça (IPCC, 2003; EATON; LAWRENCE, 2006), entre outros métodos. A metodologia de medição dos diâmetros da peça irá depender da fórmula utilizada para estimativa do volume (MAAS, 2015).

O uso do método de área fixa possibilita mensurar árvores mortas em pé, obtendo-se o DAP e altura das mesmas e assumindo que a relação entre biomassa e DAP ou altura é a mesma para árvores vivas e mortas (RAVINDRANATH; OSTWALD, 2008). Polo et al. (2013) amostraram árvores mortas em pé em uma parcela de 50 m por 10 m. Miehs et al.

(2010) amostrou resíduos lenhosos com parcelas de 250 m por 4 m. Woodall e Nagel (2006) mensurou madeira morta em parcelas circulares com raio fixo de 7,32 m.

Além de árvores mortas em pé, o material lenhoso fino também pode ser mensurado por este método, utilizando pequenas parcelas de área fixa, onde a média a ser auferida será o peso do material ao invés do diâmetro, neste caso é importante coletar subamostras para determinação de teor de umidade e massa seca (HARMON; SEXTON, 1996). Eaton e Lawrence (2006) amostraram detritos lenhosos finos em microparcels de 1 m x 1 m dispostas dentro das parcelas de amostragem de material lenhoso grosso (MAAS, 2015).

Em estudo da importância da madeira morta para se estimar estoque de carbono em florestas degradadas realizado na cidade de Santarém no estado do Pará, Fiorini (2012) utilizou parcelas de 2500 m² (10 m x 250 m) (Figura 1) onde foram amostradas todas as plantas lenhosas (árvores e lianas) e palmeiras com diâmetro à altura do peito (1,3 m do solo) (DAP) maior ou igual a 10 cm. Os resíduos lenhosos foram divididos em quatro categorias: necromassa em pé grossa, necromassa em pé fina, necromassa caída grossa e necromassa caída fina. As árvores mortas em pé foram amostradas medindo-se os diâmetros (DAP \geq 10 cm) e as alturas ao longo da parcela, essa autora amostrou um total de 119 parcelas em 19 microbacias.

3.4.1. Linha interceptadora

O método de linha interceptadora (ou transecto) é muito utilizado em inventário de material lenhoso disponível em campo visando estimativas de material para combustão. A metodologia utilizada nesse método, descrita por Warren; Olsen (1964), citada por Sanquetta et al. (2009) consiste em contar o número de materiais que interceptam uma linha reta pré-estabelecida, bem como, medir a circunferência mínima pré-definida, e podendo também ser medido o comprimento destes materiais (PALACE et al., 2008), também pré-estabelecido; quanto ao comprimento das linhas os autores Rüginitz et al. (2009) recomendaram que a linha tenha ao menos 100 m de extensão.

Palace et al. (2007) relataram, em estudo realizado em florestas da Amazônia, que o método de amostragem de linha interceptadora foi seis vezes mais eficiente que o método de área fixa e levou cerca de um terço do tempo e metade da equipe no campo. A amostragem pelo método de área fixa requer mais movimentação do que o método de linha interceptadora e por isto, tornam-se mais dificultosos em floresta densa (PALACE et al., 2012).

Em guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais, é sugerido que árvores mortas em pé ou tocos mortos maiores de 10 cm de diâmetro sejam inventariadas durante a medição de árvores vivas (Inventário Florestal) ou aplicando um método de amostragem específico para esses componentes. No primeiro caso, a madeira morta em pé é medida como parte do inventário florestal de árvores vivas, utilizando a mesma metodologia, porém registrando-se algumas variáveis a parte. Entre essas, a presença de ramas e rebrotas. Para as árvores mortas com arquitetura de copa similar (presença de ramas) as árvores vivas, recomenda-se utilizar a mesma equação alométrica das árvores vivas, subtraindo a biomassa das folhas (aproximadamente entre 2 a 3% da biomassa acima do solo). Para as árvores mortas sem ramas o volume pode ser estimado medindo DAP e altura. A biomassa também pode estabelecer-se de acordo com a categoria de densidade da madeira. Para inventariar os troncos caídos, recomenda-se utilizar uma linha que de preferência intercepte o centro da parcela partindo de um ponto aleatório até o extremo oposto (RÜGNITZ et al., 2009).

Em Inventário Florestal na região Amazônica, mais precisamente na Floresta Nacional de Pau-Rosa (Maués) - Foz do Paraconi, as árvores mortas em pé foram computadas com base no processo de amostragem aleatória restrita, tendo sido instaladas 81 parcelas amostrais de 2.500 m² (20 m x 125m), das quais 24 foram permanentes e 57 temporárias. As parcelas temporárias foram alocadas em linhas de 2 km de comprimento, com 6 parcelas de 20 m x 125 m, a 200 metros de distância uma da outra. As parcelas permanentes são instaladas em conglomerados, do tipo cruz (HIGUCHI et al., 2009).

No Inventário mediram-se dentro de cada parcela todos os diâmetros à altura do peito (DAP) das árvores com mais de 10 cm de DAP. Este procedimento foi adotado tanto para árvores vivas quanto para árvores mortas em pé e caídas. Quando o objetivo era a estimativa da altura dominante usando árvores caídas foi realizada cubagem rigorosa destas e a coleta nem sempre aconteceu dentro das parcelas. Também foram coletados os dados de altura total e comercial, já no caso da estimativa da necromassa, a coleta foi rigorosamente realizada de acordo com o inventário (HIGUCHI et al., 2009).

Em Protocolo de Necromassa do Programa de Pesquisa em Biodiversidade na Amazônia (PPBio), Barbosa et al. (2009) utilizaram o método de amostragem de transecto LIS (“Line Intersect Sampling”) para inventariar o estoque de madeira morta. A linha teve comprimento de 250 m, e nela foram inseridas unidades amostrais com área de 50 m² (1 m x 50 m), medindo-se 1200 unidades amostrais. Esses autores propuseram que fossem medidas

apenas as peças de madeira caídas ao solo ou em pé na forma de árvores mortas com diâmetro > 10 cm, e afirmaram que o intenso caminhar pelas trilhas por diferentes equipes e o deslocamento natural que peças menores sofrem ao longo do tempo impede uma estimativa efetiva da produção das peças intermediárias (2 cm < diâmetro ≤ 10 cm). A recomendação das medidas a serem tomadas da madeira caída são os diâmetros de cada extremidade da peça, sendo que a média da soma das duas medidas deve ser superior a 10 cm (31,4 cm de circunferência), e o seu comprimento. No caso de árvores mortas em pé situadas ao longo das trilhas as medidas são o DAP (diâmetro à altura do peito) e a altura total do fuste residual.

3.5. DIVERSIDADE NA NECROMASSA

Em inventário Florestal da Flona do Pau-rosa, foi realizada a identificação anatômica das espécies e para isto foram coletadas 90 amostras de madeira caída, no entanto, apenas 77 puderam ser identificadas devido ao grau de degradação das amostras, que impossibilitaram a visualização dos planos de observação (Radial, Transversal e Tangencial). A diversidade de madeira morta caída amostradas compreendeu 23 famílias, subdivididas em 46 gêneros com 62 espécies. A família inventariada com maior número de indivíduos para madeira caída foi a Sapotaceae, seguida por Caesalpiniaceae, Lauraceae e Lecythydaceae (HIGUCHI et al., 2009).

No Protocolo de Necromassa do PPBio, Barbosa et al. (2009) sugerem que a identificação anatômica das espécies de madeira morta caída seja realizada retirando-se um disco da parte central da peça, classificando-o em macro-categoria taxonômica (Arecaceae – palmeiras ou Dicotiledôneas – demais árvores e cipós), e identificar o nome vulgar, que deve ser indicado por um parobotânico de campo, preferencialmente com experiência na área de estudo. Os autores ainda ressaltam que essa etapa de trabalho é uma tentativa de reconhecer a dinâmica de produção de liteira grossa pelo maior nível taxonômico possível, visto que a identificação sem o material fértil tende a fixar erros que não podem ser detectados com facilidade.

Por se tratar de indivíduos mortos há dificuldades em identificar a qual espécie a madeira morta pertence, então a necromassa pode ser classificada em diferentes grupos vegetais, como no estudo de estoque de necromassa em um Cerrado e na Floresta Ombrófila Densa Montana no estado de São Paulo, onde a necromassa foi classificada em grupos necro-vegetais: “**D**” – Dicotiledôneas (dicotiledôneas arbóreas); “**L**” – Lianas; “**B**” – Bambus; “**S**” – Samambaias e “**P**” - Palmeiras (LUCCAS, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização e vegetação

A área onde foi realizada a pesquisa está inserida na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), unidade de conservação administrada pelo Instituto Chico Mendes (ICMBio), com características bastante favoráveis a realização de estudos ecológicos da fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista (FOM). A FLONA está situada na região centro-sul do Paraná, no segundo planalto paranaense, com 78% da sua área localizada no município de Fernandes Pinheiro e 22% em Teixeira Soares, integrantes da microrregião Colonial de Irati. Está localizada entre a margem direita do rio das Antas e esquerda do rio Imbituvão, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Tibagi, a uma altitude média de 820 metros acima do nível do mar, com relevo suave ondulado (MAZZA et al., 2005).

Segundo Disperati e Oliveira Filho (2006), a FLONA de Irati, situa-se a aproximadamente 150 km oeste de Curitiba, estado do Paraná (Figura 1). Foi criada em 1942 e possui uma área total de 3.495 hectares, sendo 57,6% ocupada por florestas com predominância de araucária e 37,5% por plantios estabelecidos entre as décadas de 1940 a 1960 com *Pinus elliottii* (658,04 ha), *Araucaria angustifolia* (417,94 ha), *Pinus taeda* (96,68 ha), dentre outras.



Figura 1. Localização das Parcelas
Fonte: Rode (2008)

4.1.2. Clima

A região onde o experimento está situado apresenta clima do tipo Cfb, segundo a classificação climática de Köppen, com geadas frequentes e severas no inverno, verões amenos e sem estação seca. No período de 2009-2010 a região da FLONA apresentou temperatura média máxima de 21,4°C, e média mínima de 13,8°C, precipitação média na estação mais chuvosa de 245,4 mm e na estação com menor intensidade de chuva a média foi de 152 mm, também apresentou média de umidade relativa do ar de 83% no período observado (ANTONELI e FRANCISQUINI, 2014).

4.1.3. Solos

Na área onde o estudo foi realizado, um mapa detalhado de classificação dos solos foi elaborado pelas pesquisadoras Aline Marques Genú e Kátia Cylene Lombardi, professoras dos Departamentos de Agronomia e Engenharia Florestal da UNICENTRO. Informações detalhadas do levantamento e respectivo mapa (Figura 2) fazem parte do Relatório Técnico de Figueiredo Filho (2011) elaborado para o CNPq (não publicado).

Na área amostrada predominam quatro classes de solo, sendo elas: Cambissolo Háplico alítico típico, Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico, Cambissolo Háplico Ta distrófico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico.

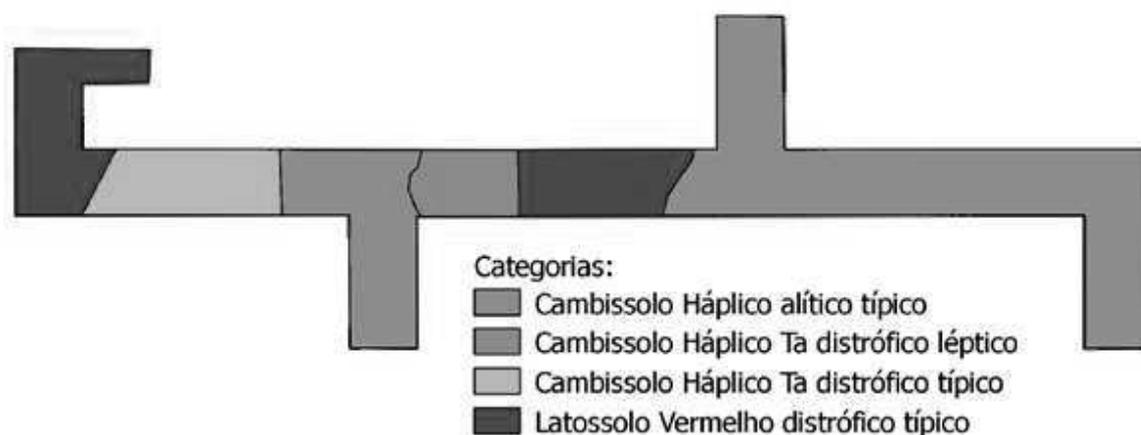


Figura 2. Classificação dos solos na área experimental.

Fonte: adaptado de POTTKER (2012)

4.1.4. Caracterização das unidades amostrais

Os dados foram coletados em parcelas permanentes instaladas por professores Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO – Campus de Irati em um

remanescente de Floresta Ombrófila Mista com 1272,90 ha existente na FLONA de Irati, mantido sem intervenção pelo menos a 70 anos. As parcelas permanentes são monitoradas a cada 3 anos por meio de inventário florestal desde 2002, sendo constituídas por 25 blocos de 1 ha (100 m x 100 m), que são divididas em parcelas com 0,25 ha (50 m x 50 m), as quais estão subdivididas em 5 faixas de controle (ou subparcelas) de 0,05 ha (10 m x 50 m) a fim de facilitar a numeração e mapeamento das árvores. A área destacada em amarelo na figura 3 representa as 14 parcelas amostradas na presente pesquisa.

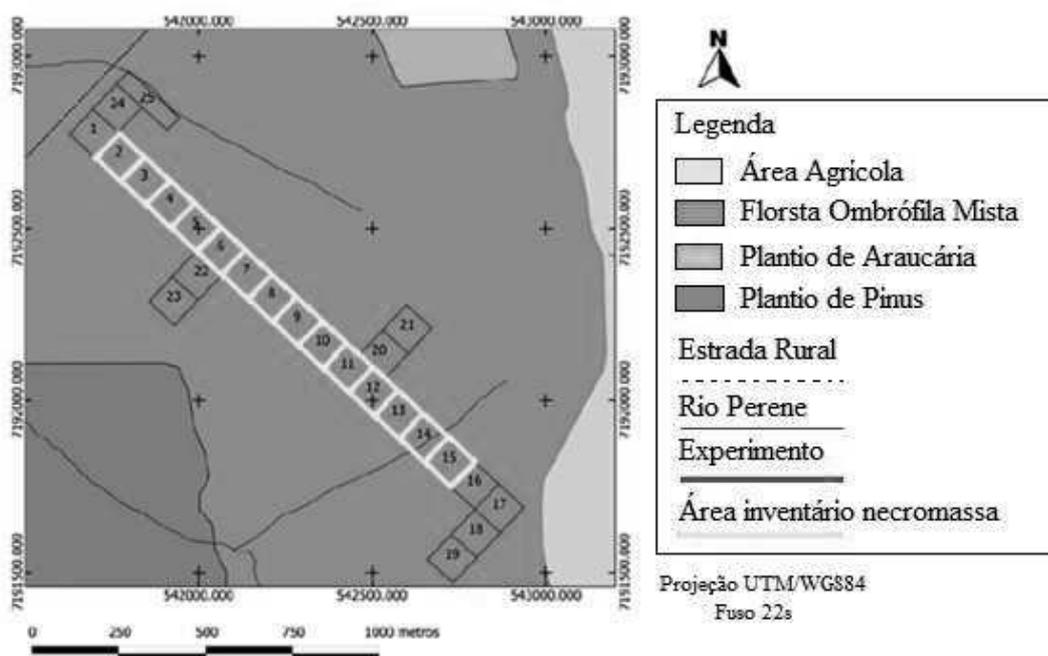


Figura 3. Disposição das parcelas permanentes.
Fonte: adaptado de POTTKER, 2012.

As parcelas permanentes que abrange uma área de 25 ha são delimitadas da seguinte forma; partindo-se de um ponto 0 no eixo X, a cada 50 m existem piquetes de concreto para demarcar o meio do bloco e o início e fim de cada parcela. Além dos piquetes de concreto também existem pequenas estacas de madeira a cada 10 m. Tanto os piquetes quanto as estacas de madeira se encontram em picadas mais limpas para facilitar o acesso e a localização das parcelas e faixas.

4.1.4.1. Métodos de Amostragem

Para esta pesquisa foram utilizados dois métodos de amostragem (Tabela 1):

1º Método - área fixa

Área fixa 1 (AF 1) com 14 unidades amostrais de 2500 m² (50 m x 50 m) que totalizam uma área amostrada de 3,5 ha (intensidade amostral 14%) e área fixa 2 (AF 2) com 42 unidades amostrais de 500 m² (10 m x 50 m) que totalizam 2,1 ha (intensidade amostral 8,4%).

2º Método – linha interceptadora (LI)

Também denominado de transectos com linhas de 50 m. Foram instaladas 70 unidades amostrais (linhas).

Tabela 1. Número de unidades amostrais, tamanho das unidades, área e intensidade amostral de cada método.

Método de amostragem	Área da unidade amostral	Nº de unidades amostrais	Área amostrada (ha)	Intensidade amostral (%)
Área fixa (AF 1)	2500 m ²	14	3,5	14
Área fixa (AF 2)	500 m ²	42	2,1	8,4
Linha interceptadora (LI)	50 m	70	-	-

a) Método de amostragem de área fixa

No método de amostragem de área fixa as unidades amostrais foram distribuídas de forma sistemática, situadas na terceira parcela de cada bloco. Foram comparados dois tamanhos de unidades amostrais, sendo o primeiro com unidades amostrais de 2500 m² de área (50 m x 50 m) e no segundo a parcela de 2500 m² foi subdividida em cinco faixas de 500 m² (10 m x 50 m), a uma distância de 10 m entre elas, no qual, três faixas foram selecionadas para compor a unidade amostral (Figura 4).

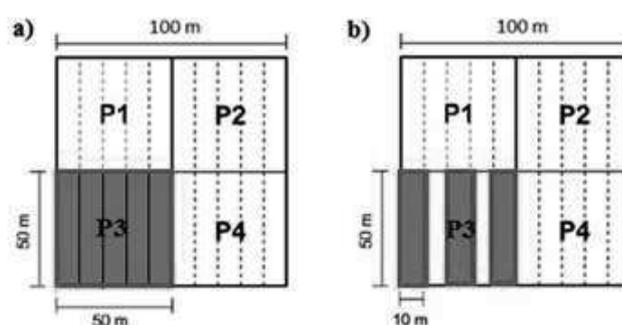


Figura 4. Esquema de um bloco. a) parcela 50 m x 50 m b) parcela 10 m x 50 m
Fonte: adaptado de RODE, 2008.

Na realização do inventário pelo método de área fixa, foram esticadas trenas de 50 m no comprimento da parcela. A primeira trena sempre era colocada no piquete de concreto o qual definia o ponto zero da unidade amostral. Outra trena era posicionada 10 m à frente da primeira, marcando o ponto 10 m, delimitando-se assim, a primeira faixa, ou parcela de 10 m x 50 m (500 m²). Ao final do inventário de cada faixa a trena que se encontrava no ponto inicial desta era transferida para a próxima estaca de madeira, que se localizava a 20 m deste ponto inicial, assim seguiu-se sucessivamente para todas as outras faixas.

b) Método de amostragem linha interceptadora

No método de amostragem de linha interceptadora as unidades amostrais em linhas foram instaladas dentro das parcelas de 2500 m², sendo cinco linhas dentro de cada parcela, estas por sua vez foram medidas sistematicamente com distância de 10 m entre elas (Figura 5).

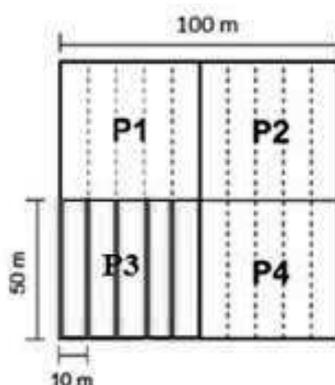


Figura 5. Esquema do método de linha de interceptação
Fonte: adaptada de RODE, 2008.

Na instalação as linhas foram definidas pelas medidas das trenas de 50 m utilizadas para delimitar as faixas dentro das parcelas de 50 m x 50 m, assim, cada trena foi considerada uma unidade amostral no método de amostragem por linha interceptadora.

4.1.4.2. Coleta de dados

Foram obtidos dados quantitativos e qualitativos de toda madeira morta disposta sobre o solo presente nas unidades amostrais, com diâmetro igual ou maior que 10 cm nas extremidades e comprimento igual ou maior que 1 m, no caso de árvores mortas em pé nas unidades amostrais de área fixa foi mensurado cada DAP igual ou maior que 10 cm e altura residual igual ou maior que 1,30 m.

4.2. AMOSTRAGEM E ESTIMATIVA DO VOLUME DE NECROMASSA PELO MÉTODO DE ÁREA FIXA

4.2.1. Necromassa lenhosa caída

4.2.1.1. Amostragem por área fixa

Para o inventário do estoque de madeira morta caída, foram tomadas medidas apenas das partes dos troncos e galhos caídos que se encontraram dentro dos limites da área amostral, seja em parcela fixa nos tamanhos de 50 m x 50 m (AF1) e 10 m x 50 m (AF2).

Para os dois tamanhos de unidades de amostra de área fixa foram utilizados os mesmos procedimentos. Durante o caminhamento nas parcelas, todo tronco, galho ou árvore inteira disposta sobre o solo que se encontravam dentro da área da unidade amostral de (10 m x 50 m), foi mensurado realizando-se a cubagem rigorosa, medindo-se o diâmetro com suta, na base mais fina e depois a cada metro sucessivamente e medindo-se o comprimento total da parte da peça que se encontrava dentro da delimitação da unidade amostral, utilizando trena. Quando parte das peças não se encontrava dentro da faixa de delimitação essas entravam na medição da faixa seguinte (Figura 6).

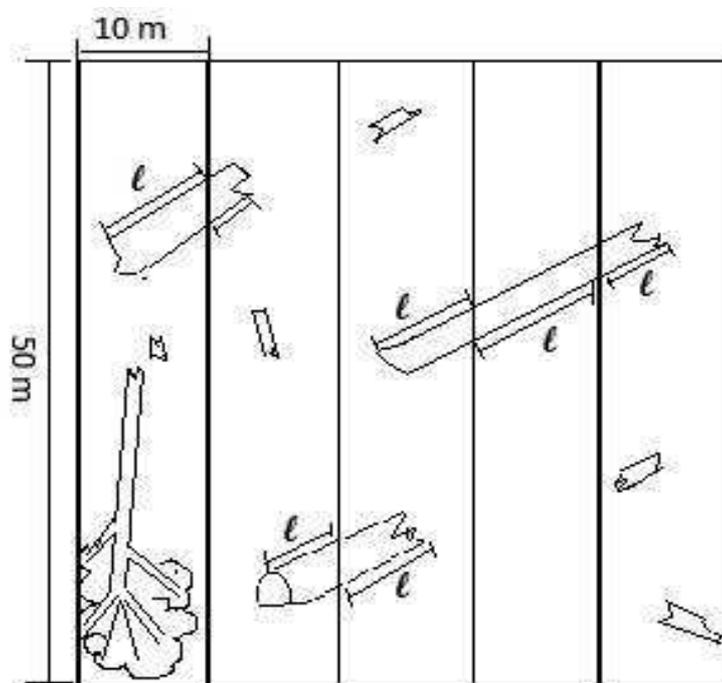


Figura 6. Esquema de medição das peças dentro de unidades amostrais de área fixa

O volume com casca individual para o método de amostragem de área fixa foi calculado por Smalian pela fórmula (1), considerando-se seções de 1 m.

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \ell \quad [1]$$

Em que:

v : volume (m³) da peça;

g_1 : área transversal (m²) da seção 1;

g_2 : área transversal (m²) da seção 2;

ℓ : comprimento (m) da seção.

4.2.1.2. Classificação do estágio de decomposição da madeira morta caída

As peças de madeira morta caída encontradas ao longo da área amostral foram classificadas quanto ao nível de decomposição de forma tátil-visual. Cada peça de madeira morta caída foi classificada conforme descrição adaptada da metodologia do Inventário Florestal Nacional – IFN (SFB 2014) (Tabela 2):

Tabela 2. Classes de decomposição utilizadas para madeira morta caída.

Classe de decomposição morta caída	Descrição da classe
C1	Decomposição inicial – Casca ainda intacta, presença de ramos e textura de madeira intacta.
C2	Decomposição intermediária – resquícios de casca, sem ramos e madeira ainda firme.
C3	Decomposição avançada – sem casca, sem ramos e com madeira em estágio de decomposição médio a avançado, aparência esfarelenta.

Fonte: Adaptado do Inventário Florestal Nacional - IFN (SFB, 2014).

4.2.1.3. Classificação da madeira morta caída por espécies

Algumas peças de madeira morta caída foram identificadas conforme sua espécie e família. A identificação ocorreu quando se encontravam placas com numeração nas peças caídas. Essas placas servem para identificar as árvores no inventário de parcelas permanentes.

Certa quantidade de peças que foram mensuradas não pôde ser identificada por não conterem placa de numeração. O estado de decomposição da madeira dificultou a identificação das peças, então essas foram agrupadas e denominadas como Não Identificadas (NI).

4.2.2. Necromassa lenhosa em pé

4.2.2.1. Amostragem de árvores mortas em pé

Foram mensurados apenas indivíduos mortos em pé que se encontravam dentro das unidades amostrais de área fixa, sendo medido o DAP (diâmetro à altura do peito) de todas as árvores com diâmetro ≥ 10 cm, e a altura residual do fuste. Quando o fuste não atingia a altura do DAP (tocos de madeira com altura inferior a 1,30 m), foi tomado o diâmetro central do indivíduo e sua altura residual, e foi considerado como toco.

O volume para árvores mortas em pé foi obtido pela equação de espécies folhosas desenvolvida no Inventário do Pinheiro no Sul do Brasil pela FUPEF (1978) (Equação 3):

$$v = 0,0000596.d^{2,14581}h^{0,71915} \quad [3]$$

Em que:

v = volume de árvore morta em pé (m^3)

d = diâmetro à altura do peito com casca (cm)

h = altura residual (m)

4.2.2.2. Classificação do estágio de decomposição da madeira morta em pé

Como há diferentes níveis de decomposição das peças de madeira morta caída e árvores mortas em pé encontradas ao longo da área amostral, esta foi classificada de forma tátil-visual. Cada árvore morta em pé foi classificada conforme o grau de decomposição segundo características adaptadas de Woldendorp (2002) (Tabela 3 e Figura 7):

4.2.2.3. Classificação das árvores mortas em pé por espécies

Algumas árvores mortas em pé foram identificadas conforme sua espécie e família. A identificação ocorreu quando se encontravam placas com numeração nas árvores mortas em pé. Estas placas servem para identificar as árvores no inventário de parcelas permanentes. As árvores mortas que não puderam ser identificadas foram agrupadas e denominadas Não Identificadas (NI).

Tabela 3. Classes de decomposição utilizadas para árvores mortas em pé.

Classe de decomposição de árvore morta em pé	Descrição da classe
D1	Material novo - Recentemente morta, apresenta alguns galhos, casca presente e aparentemente intacta e fuste rígido.
D2	Decomposição inicial - Casca solta e/ou parcialmente ausente, alguns galhos presentes, grande parte coroa quebrado, fuste ainda de pé e firme.
D3	Decomposição intermediária - Alguns galhos podem estar presentes ou não, topo pode estar quebrado (> 2 m de altura residual), casca geralmente ausente e fuste ainda está de pé, mas com alguns danos causados pela deterioração.
D4	Decomposição avançada - Galhos ausentes, casca ausente ou pouca casca, Topo quebrado (≤ 2 m de altura residual) e fortemente deteriorado, fuste com cavidades extensas e ocas, danos causados por deterioração.

Fonte: adaptado de Woldendorp (2002).

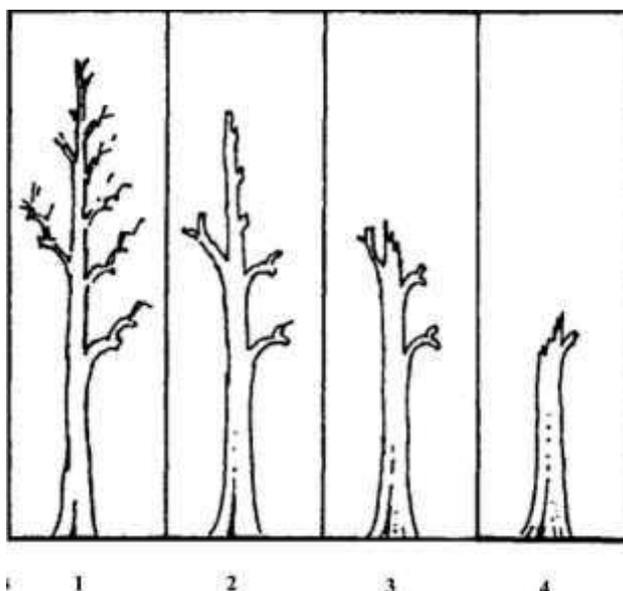


Figura 7. Orientação para forma de árvores mortas caídas.

Fonte: Woldendorp (2002)

4.3. AMOSTRAGEM E ESTIMATIVA DO VOLUME DE NECROMASSA PELO MÉTODO DA LINHA INTERCEPTADORA

Para madeira morta caída mensurada pelo método linha interceptadora, foram dispostas linhas de 50 m e todo material lenhoso, com diâmetro ≥ 10 cm, que interceptava a linha ao longo da unidade amostral, tinha seu diâmetro medido com suta no ponto de intersecção. Os critérios para mensurar os diâmetros das peças foram adaptados de técnicas sugeridas em relatório técnico de uso de linha interceptadora para amostragem de material

lenhoso por Marshall et al. (2000), a linha devia cruzar o eixo central da peça, nos casos em que a peça se encontrava no sentido longitudinal da linha, esta não era medida; quando a peça era interceptada duas vezes pela linha eram tomadas as duas medidas (Figura 8 e 9).

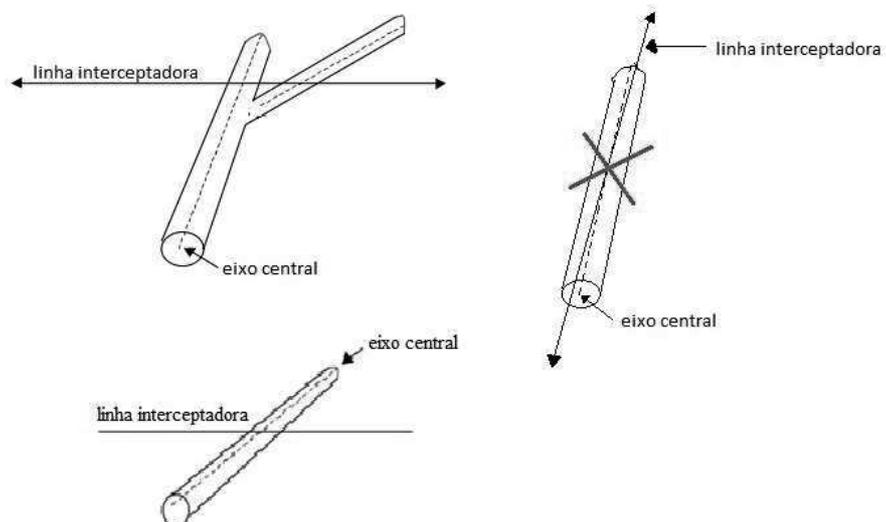


Figura 8. Esquema de inclusão ou não das toras pela linha interceptadora

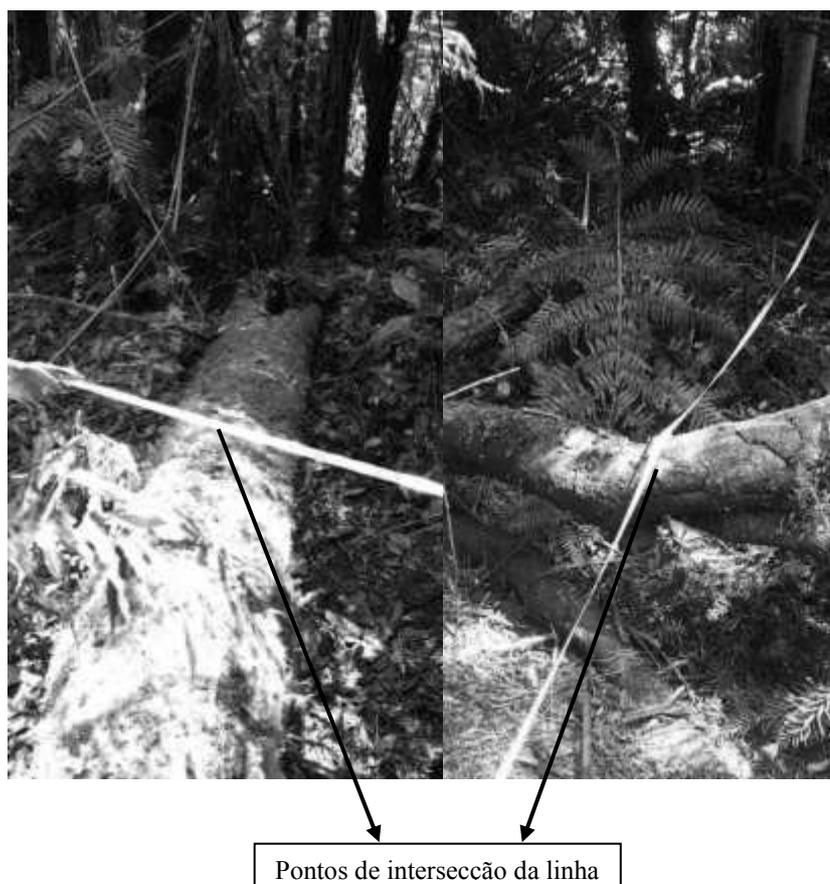


Figura 9. Ponto de interseccão para medição do diâmetro no método de linha de interceptação.

Para calcular o volume total por unidade de área pelo método de linha interceptadora, utilizou-se a equação (2) de Van Wagner (1968).

$$V(m^3 \cdot ha^{-1}) = \sum d^2 \cdot \frac{\pi^2}{8 \cdot L} \quad [2]$$

Em que:

V = volume $m^3 \cdot ha^{-1}$;

d = diâmetro das peças no ponto de interseção (cm);

L = comprimento da linha (m).

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística dos dados gerados pelos três métodos de amostragem foi realizada com o formulário da Amostragem inteiramente aleatória (Tabela 4).

Para avaliar a precisão da amostragem considerou-se um nível de probabilidade de erro de 5%, com erro amostral de 10%. Para efeito de comparação entre os métodos também foi determinada a intensidade amostral para cada método de amostragem para um limite de erro de 15%.

4.4.1. Comparação das estimativas geradas pelos três métodos de amostragem.

Para testar a normalidade dos dados, foi empregado o teste de Shapiro-Wilk, para o nível de 5% de probabilidade de erro, e verificou-se que os dados não apresentaram distribuição normal.

O teste de Bartlett, para o mesmo nível de probabilidade foi usado para testar a homogeneidade das variâncias dos dados constatando-se que as variâncias dos dados não são homogêneas.

Após essas verificações foi realizada a transformação dos dados, para que os mesmos se tornassem normalmente distribuídos e possuíssem variâncias homogêneas. No entanto, nenhuma das transformações utilizadas possibilitou a comparação de médias por análise de variância (ANOVA).

Tabela 4. Estatística para inventário de processo de amostragem aleatório simples.

Estimativas	Fórmulas
Média	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$
Variância	$S^2_x = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$
Desvio Padrão	$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$
Variância da média	$S^2_{\bar{x}} = \frac{S^2_x}{n}$
Erro padrão da média	$S_{\bar{x}} = \pm \frac{S_x}{\sqrt{n}}$
Coefficiente de variação	$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100$
Erro de amostragem	
a) Erro absoluto	$E_a = \pm t \cdot S_{\bar{x}}$
b) Erro relativo	$E_r = \pm \frac{t \cdot S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100$
Intervalo de Confiança	$IC [\bar{x} - tS_{\bar{x}} \leq \bar{X} \leq \bar{x} + tS_{\bar{x}}] = P$

Em que:

n - número de unidades amostradas;

x – variável de interesse (Volume)

t – valor de t da Tabela de Student para (n-1) graus de liberdade e nível de probabilidade de 95% ($\alpha = 0,05$).

Segundo Ferreira (2000) em certos casos, nenhuma transformação existe que possibilite o uso da análise de variância. Isto ocorre quando:

- As médias são aproximadamente iguais e as variâncias heterogêneas;
- As variâncias são homogêneas, porém os níveis dos tratamentos são heterogêneos em forma;

c) As médias variam independentemente das variâncias.

Se alguns destes casos ocorrem, a análise dos dados é realizada por meio de procedimentos não paramétricos.

Para os dados da presente pesquisa ocorre o caso (a), portanto, os valores referentes aos estoques obtidos pelos três métodos de amostragem foram comparados pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW), para um nível de 5% de probabilidade de erro. Esse teste é o análogo ao teste F utilizado na ANOVA 1 fator.

Quando as médias eram estatisticamente diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis aplicou-se o teste de comparações múltiplas de Dunn ao nível de 5% de significância.

O teste de Kruskal-Wallis e o pós teste de Dunn foram aplicados usando o suplemento “Action” para Excel, desenvolvido e mantido pela empresa ESTATCAMP, de consultoria em estatística.

O teste de Dunn é um procedimento não-paramétrico de comparação múltiplas semelhante ao teste de Tukey. De acordo com Callegari-jacques (2003), o método consiste em comparar as diferenças dos postos médios obtidos nas amostras por meio da estatística (Equação 4):

$$Q_{calc} = \frac{\bar{R}_A - \bar{R}_B}{EP} \quad [4]$$

Em que:

\bar{R}_A e \bar{R}_B : são os postos médios de duas amostras diferentes.

EP: erro padrão, dado pela equação 5:

$$EP = \sqrt{\frac{N \cdot (N + 1)}{12} \cdot \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}\right)} \quad [5]$$

Em que:

n_A e n_B : são os tamanhos das duas amostras que estão sendo comparadas.

N: total de indivíduos estudados incluindo todas as amostras do experimento.

Cada valor de Q_{calc} é comparado com um valor crítico $Q_{\alpha,k}$, onde α é o nível de significância e k o número de grupos que estão sendo comparados. Se o valor calculado for igual ou maior que o tabelado, rejeita-se a hipótese de igualdade entre os grupos.

Para analisar a necromassa morta em pé foi aplicado o teste t para amostras independentes ao nível de 5% de significância.

4.5. ESTIMATIVA DO PESO DA NECROMASSA E DO CARBONO

4.5.1. Densidade da madeira morta

Para obter o peso seco da necromassa foram adotadas densidades diferentes conforme o grau de decomposição da madeira e conforme sua posição, em pé ou caída. A densidade utilizada foi adaptada de Vieira et al. (2011) (Tabela 5):

Tabela 5. Densidade da madeira morta por classe de decomposição.

Madeira morta caída		Árvores mortas em pé	
Classe de decomposição	Densidade (g/cm ³)	Classe de decomposição	Densidade (g/cm ³)
C1	0,42	D1	0,51
C2	0,36	D2	0,40
C3	0,30	D3	0,36
		D4	0,30

Fonte: adaptado de Vieira et al. (2011)

4.5.2. Determinação do peso da necromassa de madeira caída e de árvores mortas em pé

O peso da necromassa de madeira caída e árvores mortas em pé foi calculado pela expressão (6), na qual o volume (m³.ha⁻¹) é multiplicado pela respectiva densidade da madeira morta (RÜGINTZ, 2009):

$$N = Vol \times D_b \quad [6]$$

Em que:

N = Necromassa (Mg.ha⁻¹) de madeira morta caída ou árvores mortas em pé;

Vol = Volume (m³.ha⁻¹) de madeira morta caída ou árvores mortas em pé;

D_b = Densidade básica da madeira morta (g/cm³).

4.5.3. Estimativa do peso de carbono na necromassa

Estima-se que os vegetais contenham cerca de 45 a 50% de carbono (SCHLESINGER, 1997). Neste estudo, para obter o peso de carbono multiplicou-se a necromassa pelo fator igual a 0,475, conforme recomendação de Magnussen e Reed (2004).

Para o cálculo da quantidade de carbono na necromassa foi aplicada a equação 7 descrita a seguir:

$$\Delta C = N * CF \quad [7]$$

Em que:

ΔC = quantidade de carbono na necromassa (Mg C.ha⁻¹)

N = Necromassa de madeira morta caída, ou árvores mortas em pé.

CF = Fração de carbono (t C/t MS) (Valor recomendado por Magnussen e Reed (2004) = 0,475).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE MADEIRA MORTA CAÍDA

As estimativas do volume de madeira morta caída geradas pelos 3 métodos de amostragem testados estão nos próximos subitens:

5.1.1. Método de amostragem de área fixa com unidade amostral de 2500 m²

Utilizando o método de amostragem de área fixa com unidades amostrais de 2500 m² foi mensurado um total de 595 peças no compartimento madeira morta caída com diâmetro maior que 10 cm, considerando-se uma área amostral de 3,5 ha, ou seja, uma média de 170 peças.ha⁻¹, correspondendo a um volume médio de 16,77 m³.ha⁻¹. Esse resultado é similar aos encontrados na mesma tipologia florestal por Cardoso et al. (2012) no estado de Santa Catarina de 17,88 m³.ha⁻¹ (para peças com diâmetro ≥ 10 cm) e no estado do Paraná por Ribeiro et al. (2012) de 17,88 m³.ha⁻¹ (referente a árvores mortas caídas com diâmetro ≥ 1 cm), cujo volume aumenta quando somado ao volume de galhos caídos de 9,24 m³.ha⁻¹, totalizando 27,12 m³.ha⁻¹. Outras médias estimadas para o volume de necromassa em diferentes tipologias florestais são apresentadas na Tabela 6.

O volume de madeira morta caída foi dividido em tipos de peças que inclui, árvores inteiras, troncos e galhos, que representam 10,34 m³.ha⁻¹, 3,84 m³.ha⁻¹ e 2,59 m³.ha⁻¹, respectivamente. O volume (m³.ha⁻¹) para cada classe de decomposição distribuídos nos diferentes tipos de peças de madeira morta caída, bem como a porcentagem que cada classe representa do total e o volume total de madeira morta caída está na Tabela 7.

A porcentagem do volume em cada classe de decomposição indica que a maior parte do volume de madeira morta caída tem elevado grau de decomposição, que condiz com a classe 3 (C3), representando 72% do total. As classes intermediárias (C2) e inicial (C1) representam 21 e 7%, respectivamente. Cardoso et al. (2012) observou que no inventário de necromassa realizado em Floresta Ombrófila Mista de Santa Catarina a maior parte do volume se concentrava na classe C3 referente ao material lenhoso em estágio avançado de decomposição, e menor parte do volume foi representado por material em estágio inicial de deterioração.

Tabela 6. Comparação entre volumes médios de necromassa obtidos em pesquisas realizadas no Brasil.

Tipo de Floresta	Local	Tipo de material	DI (cm)	Método de Amostragem	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	Referência
FOM	Irati, PR	Árvores mortas em pé	≥ 10	AF1 (2500 m ²)	5,11	Presente pesquisa
				AF2 (500 m ²)	3,67	
		Mortas caídas	≥ 10	AF1 (2500 m ²)	16,77	
				AF2 (500 m ²)	18,89	
				LI	16,31	
FOM	Curitiba, PR	Árvores mortas em pé	≥ 1	LI	10,99	Ribeiro et al. (2012)
		Galhos			9,24	
		Árvores mortas caídas.			17,88	
FOM	Santa Catarina	Galhos e troncos de madeira.	> 10	LI	18,73	Cardoso et al. (2012)
FED	Santa Catarina	Galhos e troncos de madeira.	> 10	LI	13,4	Cardoso et al. (2012)
FOD	Santa Catarina	Galhos e troncos de madeira.	> 10	LI	10,22	Cardoso et al. (2012)
FES	São Francisco de Itabapuana, RJ	Material lenhoso caído: Árvores; Lianas e Arecaceae.	≥ 2	LI	10,11 (Borda)	Silva (2013)
					11,33 (Interior)	
FOD	Moju, PA	Material lenhoso caído	≥ 10	LI	82,84 (Floresta explorada) 137 (Floresta não explorada)	Cruz Filho e Silva (2009)
FOD	Santarém, PA	Árvore morta em pé	≥ 10	AF	34,3	Rice et al. (2004)
		Madeira morta caída	≥ 2		151,7	
FOD	Paragominas, PA Santarém, PA	Madeira morta caída	≥ 2	LI	109 108	Keller et al. (2004)

DI: Diâmetro de inclusão; FOM: Floresta Ombrófila Mista; FED: Floresta Estacional Decidual; FOD: Floresta Ombrófila Densa; FES: Floresta Estacional Semi-decidual; FE: Floresta explorada; FNE: Floresta não explorada.

Tabela 7. Volume de madeira morta caída (m³.ha⁻¹) por classe de decomposição e compartimento nas unidades amostrais de 2500 m².

Classe de Decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)				%
	Árvores inteiras	Troncos	Galhos	Total	
C1	0,99	0,15	0,11	1,24	7
C2	2,17	0,53	0,74	3,44	21
C3	7,18	3,16	1,74	12,08	72
Total (m³.ha⁻¹)	10,34	3,84	2,59	16,77	100

C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediária; C3: Classe de decomposição avançada.

Considerando-se o limite de inclusão do material lenhoso morto caído acima de 10 cm de diâmetro foram identificadas 27 espécies apresentadas na Tabela 8, sendo descritos nome vulgar, nome científico, família e número de peças por hectare para cada espécie. Uma lista com todas as espécies encontradas nos três Métodos está disponível no apêndice 1.

Tabela 8. Número de peças de madeira caída por espécie e família nas unidades amostrais de 2500 m².

Nome científico	Nome Vulgar	Família	Nº peças /há
<i>A. Angustifolia</i>	Araucária	Araucariaceae	24,57
<i>M. hebeptala</i>	Caingá	Myrtaceae	0,57
<i>M. floribunda</i>	Cambuí	Myrtaceae	0,29
<i>N. grandiflora</i>	Canela-amarela	Lauraceae	1,43
<i>N. megapotamica</i>	Canela-imbuia	Lauraceae	2,57
<i>S. leprosus</i>	Canela-raposa	Styracaceae	0,86
<i>M. umbellata</i>	Capororocão	Myrsinaceae	0,86
<i>I. theezans</i>	Caúna	Aquifoliaceae	0,86
<i>C. fissilis</i>	Cedro	Meliaceae	0,86
<i>C. contracta</i>	Cinzeiro-preto	Rubiaceae	0,57
<i>I. paraguariensis</i>	Erva-mate	Aquifoliaceae	3,14
<i>C. xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	0,29
<i>C. decandra</i>	Guaçatunga-branca	Salicaceae	2,29
<i>C. sylvestris</i>	Guaçatunga-preta	Salicaceae	0,86
<i>C. gonocarpum</i>	Guatambu	Sapotaceae	0,29
<i>O. porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	0,86
<i>D. brasiliensis</i>	Jacarandá	Fabaceae	1,43
<i>P. vellosiana</i>	Jasmim-verdadeiro	Rubiaceae	0,86
<i>M. elaeagnoides</i>	Miguel-pintado	Sapindaceae	2,00
NI	NI	NI	120
<i>S. romanzoffiana</i>	Palmeira	Arecaceae	0,29
<i>C. dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	0,57
<i>L. fruticosa</i>	Santa-Rita	Theaceae	0,29
<i>S. hirsuta</i>	Sapopema	Elaeocarpaceae	0,29
<i>O. odorifera</i>	Sassafrás	Lauraceae	1,71
<i>A. petiolulatus</i>	Vacum-de-folha-larga	Sapindaceae	0,57
<i>P. angustifolia</i>	Vassourão-branco	Asteraceae	0,29
<i>V. discolor</i>	Vassourão-preto	Asteraceae	0,57
	Total		170

NI: Não identificadas

Na Tabela 9 observa-se o volume por classe de diâmetro para cada espécie encontrada no grupo madeira morta caída dentro das unidades amostrais de área fixa de 2500 m². De todas as peças mensuradas quatro classes foram determinadas (15, 25, 35 e 45 cm) abrangendo uma amplitude de diâmetro entre 10 e 50 cm. A classe de diâmetro 25 cm contém

maior volume de madeira morta caída (6,39 m³.ha⁻¹), seguido da classe de diâmetro 15 cm (5,99 m³.ha⁻¹), enquanto que as classes 35 e 45 cm compreendem 3,38 m³.ha⁻¹ e 1,01 m³.ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 9. Volume total (m³.ha⁻¹) por espécie em cada classe de diâmetro de peças no grupo madeira morta caída em unidades amostrais de 2500 m²

Espécie	Centro de classe de diâmetro (cm)				Volume total (m ³ .ha ⁻¹)
	15	25	35	45	
<i>A. angustifolia</i>	0,62	0,09			0,71
<i>M. hebetata</i>	0,04				0,04
<i>M. floribunda</i>	0,02				0,02
<i>N. grandiflora</i>	0,04		0,05		0,09
<i>N. megapotamica</i>	0,03	0,17			0,20
<i>S. leprosus</i>	0,03			0,37	0,40
<i>M. umbellata</i>	0,12				0,12
<i>I. theezans</i>	0,03	0,03			0,06
<i>C. fissilis</i>	0,03	0,23			0,26
<i>C. contracta</i>	0,05				0,05
<i>I. paraguariensis</i>	0,16	0,20	0,43		0,79
<i>C. xanthocarpa</i>	0,01				0,01
<i>C. decandra</i>	0,25				0,25
<i>C. sylvestris</i>	0,05	0,07			0,12
<i>C. gonocarpum</i>	0,04				0,04
<i>O. porosa</i>	0,01	0,10	0,02		0,13
<i>D. brasiliensis</i>	0,03	0,13			0,16
<i>P. vellosiana</i>	0,03	0,14	0,13		0,30
<i>M. elaeagnoides</i>	0,06		0,31	0,05	0,41
NI	4,12	4,99	2,00	0,59	11,70
<i>S. romanzoffiana</i>	0,01				0,01
<i>C. dinisii</i>	0,01	0,06			0,06
<i>L. fruticosa</i>		0,13			0,13
<i>S. hirsuta</i>		0,06			0,06
<i>O. odorifera</i>	0,08		0,44		0,52
<i>A. petiolulatus</i>	0,03				0,03
<i>P. angustifolia</i>	0,02				0,02
<i>V. discolor</i>	0,08				0,08
Total geral (m³.ha⁻¹)	5,99	6,39	3,38	1,01	16,77

NI: Não identificadas

As espécies mais representativas quanto ao volume de madeira morta caída estão listadas na Tabela 10. O grupo de espécies não identificadas representou 70% do volume total, sendo em sua maioria encontrado como árvores inteiras caídas, seguido de troncos e galhos. O volume de *Araucaria angustifolia* correspondeu a 4% do total, sendo que a maior parte era de galhos caídos. No caso das

espécies *Ilex paraguariensis* (5%), *Ocotea odorifera* (3%) e *Matayba elaeagnoides* (2%) a maior fração de volume foi representada por árvores inteiras caídas.

Tabela 10. Volume de madeira morta caída ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada tipo de peça por espécie de maior ocorrência nas unidades amostrais de 2500 m^2 .

Espécie	Árvores inteiras ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Troncos ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Galhos ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	%
<i>A. angustifolia</i>	0,13	0,07	0,50	0,71	4
<i>I. paraguariensis</i>	0,56	0,21	0,02	0,79	5
<i>O. odorifera</i>	0,52	0,01	-	0,52	3
<i>M. elaeagnoides</i>	0,36	0,01	0,05	0,41	2
Outras	1,88	0,21	0,54	2,64	16
NI	6,89	3,33	1,48	11,70	70
Total	10,34	3,84	2,59	16,77	100

NI: Não identificadas

Poucos são os estudos publicados que classificam estimativas de madeira morta por espécie, o que dificultou a discussão dos resultados obtidos nesta pesquisa. Trabalhos que disponibilizam dados de madeira morta por espécies, geralmente, referem-se à classificação de taxas de decomposição, caracterização de densidade e estimativas de biomassa e carbono. Beets et al. (2008) classificaram a decomposição e caracterizaram a densidade de madeira morta por espécie na Nova Zelândia. Um dos objetivos do trabalho desenvolvido por Herault et al. (2010) foi modelar taxas de decomposição e investigar variabilidade de densidade de madeira morta por espécie na floresta amazônica. Taylor et al. (2011) estimaram o carbono de madeira morta para diferentes espécies em florestas japonesas. Woodall et al. (2013) avaliaram a biomassa em classes de decomposição de madeira morta para espécies de florestas dos Estados Unidos, na mesma linha de estudo Yang et al. (2010) avaliaram espécies dominantes em florestas da China.

5.1.2. Método de amostragem de área fixa com unidade amostral de 500 m^2

O volume médio caído obtido com o método de área fixa com unidades amostrais de 500 m^2 foi de 18,89 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, considerando-se uma área amostral de 2,55 ha. Dentro desta área amostral foram inventariadas 370 peças de madeira morta caída com diâmetro maior que 10 cm, sendo 176,19 peças. ha^{-1} .

O estoque volumétrico de madeira morta caída estimado para cada tipo de peça e classe de decomposição nas unidades amostrais de 500 m^2 é apresentado na Tabela 11. O tipo de peça Árvore inteira caída tem volume de 11,05 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, 5,09 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ foram troncos caídos e

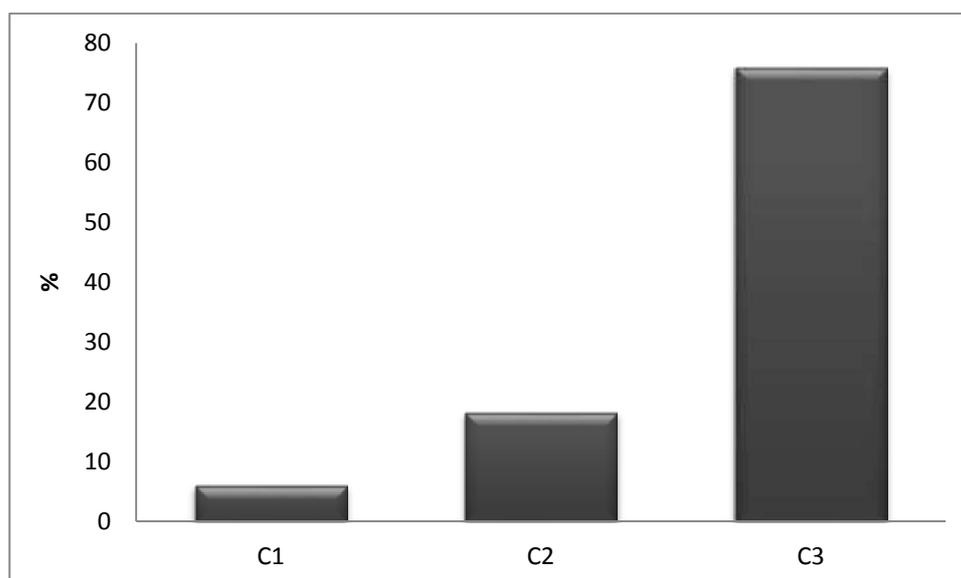
2,38 m³.ha⁻¹ são galhos.

Tabela 11. Volume de madeira morta caída (m³.ha⁻¹) por classe de decomposição e modalidade nas unidades amostrais de 500 m².

Classe de decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)			
	Árvores inteiras	Troncos	Galhos	Total
C1	0,80	0,25	0,10	1,14
C2	2,35	0,62	0,45	3,43
C3	8,87	3,43	2,02	14,32
Total Geral	12,02	4,30	2,58	18,89

C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediária; C3: Classe de decomposição avançada.

A classe de decomposição avançada (C3) apresentou valor médio de 14,32 m³.ha⁻¹ o que representa 76% do volume total, os volumes obtidos para as classes intermediária (C2) e inicial (C1) foram de 3,43 m³.ha⁻¹ (18%) e 1,14 m³.ha⁻¹ (6%), respectivamente (Figura 10).



C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediária; C3: Classe de decomposição avançada.

Figura 10. Porcentagem de classes de decomposição para o volume total (m³.ha⁻¹) de madeira morta caída nas unidades amostrais de 500 m².

Nas unidades amostrais de área fixa de tamanho 500 m² foram encontradas 22 espécies que estão listadas na Tabela 12 com seus respectivos nomes científicos, nomes vulgares, famílias e número de peças por hectare.

Tabela 12. Número de peças de madeira caída (ha) por espécie e família nas unidades amostrais de 500 m².

Nome científico	Nome vulgar	Família	Nº peças.ha ⁻¹
<i>A. angustifolia</i>	Araucária	Araucariaceae	22,38
<i>C. xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	0,48
<i>C. decandra</i>	Guaçatunga-branca	Salicaceae	2,86
<i>C. sylvestris</i>	Guaçatunga-preta	Salicaceae	0,95
<i>C. fissilis</i>	Cedro	Meliaceae	0,95
<i>C. gonocarpum</i>	Guatambu	Sapotaceae	0,48
<i>C. contracta</i>	Cinzeiro-preto	Rubiaceae	0,48
<i>D. brasiliensis</i>	Jacarandá	Fabaceae	1,90
<i>I. paraguariensis</i>	Erva-mate	Aquifoliaceae	3,81
<i>I. theezans</i>	Caúna	Aquifoliaceae	0,95
<i>L. fruticosa</i>	Santa-Rita	Theaceae	0,48
<i>M. elaeagnoides</i>	miguel-pintado	Sapindaceae	1,43
<i>M. hebetata</i>	Caingá	Myrtaceae	0,48
<i>M. umbellata</i>	capororocão	Primulaceae (Myrsinaceae)	0,95
<i>N. grandiflora</i>	Canela-amarela	Lauraceae	1,43
<i>N. megapotamica</i>	Canela-imbuia	Lauraceae	4,29
NI	NI	NI	125,71
<i>O. odorifera</i>	Sassafrás	Lauraceae	2,38
<i>O. porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	0,48
<i>P. vellosiana</i>	jasmim-verdadeiro	Rubiaceae	1,43
<i>S. hirsuta</i>	Sapopema	Elaeocarpaceae	0,48
<i>S. leprosus</i>	Canela-raposa	Styracaceae	0,48
<i>V. discolor</i>	Vassourão-preto	Asteraceae	0,95
Total			176,19

NI: Não identificadas

Nas unidades amostrais de área fixa de 500 m² também foram determinadas quatro classes de diâmetro, com amplitude de 10 a 50 cm. Das classes de diâmetros representadas, verificou-se maior volume abrangendo a classe de diâmetro 25 cm (7,5 m³.ha⁻¹) e 15 cm (6,11 m³.ha⁻¹), as classes de diâmetro maiores, 35 e 45 cm apresentaram respectivamente, 4,75 e 0,53 m³.ha⁻¹ (Tabela 13).

As espécies de maior representatividade quanto ao volume de madeira morta estimado nas unidades amostrais de 500 m² foram *Ilex paraguariensis* (6%), *Ocotea odorifera* (5%), *Araucaria angustifolia* e *Matayba elaeagnoides* (ambas 3%), enquanto que as outras 18 espécies representaram 13% do volume total, e o grupo de não identificadas 70%, exceto a *Araucaria angustifolia* que teve o volume maior na forma galhos, as outras três espécies e os dois grupos citados são representados em sua maioria por árvores inteiras caídas, sendo que a

Ocotea odorifera é representada em sua totalidade por esse tipo de peça (Tabela 14).

Tabela 13. Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) por espécie em cada classe de diâmetro de peças no grupo de madeira morta caída em unidades amostrais de 500 m^2 .

Nome científico	Centro de classe diâmetro (cm)				Volume Total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
	15	25	35	45	
<i>A. angustifolia</i>	0,48	0,15			0,63
<i>C. xanthocarpa</i>	0,01				0,01
<i>C. decandra</i>	0,32				0,32
<i>C. sylvestris</i>	0,01	0,12			0,12
<i>C. fissilis</i>	0,05				0,05
<i>C. gonocarpum</i>	0,06				0,06
<i>C. contracta</i>	0,04				0,04
<i>D. brasiliensis</i>	0,02	0,22			0,24
<i>I. paraguariensis</i>	0,19	0,17	0,72		1,08
<i>I. theezans</i>	0,03	0,05			0,08
<i>L. fruticosa</i>		0,22			0,22
<i>M. elaeagnoides</i>	0,02		0,41	0,07	0,51
<i>M. hebetata</i>	0,02				0,02
<i>M. umbellata</i>	0,16				0,16
<i>N. grandiflora</i>	0,05				0,05
<i>N. megapotamica</i>	0,06	0,28			0,34
NI	4,26	5,97	2,64	0,45	13,32
<i>O. odorifera</i>	0,14		0,73		0,87
<i>O. porosa</i>			0,04		0,04
<i>P. vellosiana</i>	0,04	0,23	0,22		0,49
<i>S. hirsuta</i>		0,10			0,10
<i>S. leprosus</i>	0,03				0,03
<i>V. discolor</i>	0,14				0,14
Total Geral ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	6,11	7,50	4,75	0,53	18,89

NI: Não identificadas

Tabela 14. . Volume de madeira morta caída ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada tipo de peça por espécie de maior ocorrência nas unidades amostrais de 500 m^2 .

Espécie	Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)				%
	Arvores inteiras caídas	Troncos	Galhos	Total	
<i>I. paraguariensis</i>	0,77	0,28	0,02	1,07	6
<i>O. odorifera</i>	0,87	-	-	0,87	5
<i>A. angustifolia</i>	0,12	0,12	0,39	0,63	3
<i>M. elaeagnoides</i>	0,48	-	0,02	0,50	3
NI	8,04	3,59	1,69	13,32	70
Outras	1,74	0,31	0,45	2,50	13
Total	12,02	4,30	2,57	18,89	100

NI: Não identificadas

5.1.3. Método de amostragem linha interceptadora

O volume de madeira morta caída estimado por meio deste método de amostragem foi de 16,31 m³.ha⁻¹. O volume foi classificado por grau de decomposição, sendo a classe de decomposição avançada a mais representativa com 11,38 m³.ha⁻¹ (70%), a intermediária com 3,75 m³.ha⁻¹ (23%) e a inicial com 1,18 m³.ha⁻¹ (7%) (Tabela 15).

Tabela 15. Volume (m³.ha⁻¹) por classe de decomposição estimado pelo método de amostragem linha interceptadora.

Classe de decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	%
C1	1,18	7
C2	3,75	23
C3	11,38	70
Total	16,31	100

C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediária; C3: Classe de decomposição avançada.

Para o método de amostragem de linha interceptadora foram encontradas 11 espécies, identificadas pelo nome científico, vulgar, família e número de peças estimado por hectare (Tabela 16). O número de peças total estimado por este método foi de 134.

Tabela 16. Número de peças (ha) de madeira morta caída por espécie e família estimadas pelo método de amostragem linha interceptadora.

Nome científico	Nome vulgar	Família	Número de peças
<i>A. angustifolia</i>	Araucária	Araucariaceae	22
<i>C. decandra</i>	Guaçatunga-branca	Salicaceae	2
<i>C. sylvestris</i>	Guaçatunga-preta	Salicaceae	2
<i>C. gonocarpum</i>	Guatambu	Sapotaceae	1
<i>C. contracta</i>	Cinzeiro-preto	Rubiaceae	1
<i>I. paraguariensis</i>	Erva-mate	Aquifoliaceae	2
<i>M. elaeagnoides</i>	miguel-pintado	Sapindaceae	1
<i>N. grandiflora</i>	Canela-amarela	Lauraceae	1
NI	NI	NI	97
<i>O. odorifera</i>	Sassafrás	Lauraceae	1
<i>O. porosa</i>	Imbuia	Lauraceae	3
<i>S. leprosus</i>	Canela-raposa	Styracaceae	1
Total			134

NI: Não identificadas

O volume de madeira morta por espécie para o método de amostragem de linha interceptadora também foi distribuído em cinco classes de diâmetros com amplitude de 10 a 60 cm. A classe 15 cm apresentou maior volume (6,8 m³.ha⁻¹), seguindo-se as demais classes em uma tendência decrescente (Tabela 17).

Tabela 17. Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de necromassa lenhosa caída por espécie em cada classe de diâmetro de peças pelo método de amostragem de linha interceptadora.

Espécie	Centro de classe de diâmetro (cm)					Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)
	15	25	35	45	55	
<i>A. angustifolia</i>	1,01					1,01
<i>C. decandra</i>	0,11					0,11
<i>C. sylvestris</i>	0,17					0,17
<i>C. gonocarpum</i>		0,14				0,14
<i>C. contracta</i>	0,04					0,04
<i>I. paraguariensis</i>	0,14					0,14
<i>M. elaeagnoides</i>	0,06					0,06
<i>N. grandiflora</i>	0,04					0,04
NI	4,98	3,15	2,27	1,71	0,88	12,99
<i>O. odorifera</i>	0,08					0,08
<i>O. porosa</i>	0,17	0,29				0,46
<i>S. leprosus</i>					1,07	1,07
Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}$)	6,80	3,58	2,27	1,71	1,95	16,31

NI: Não identificadas

As espécies de maior representatividade quanto ao volume de madeira morta estimado nas unidades amostrais de 500 m^2 foram *Ilex paraguariensis* (5%), *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera* (ambas 4%) e *Matayba elaeagnoides* (3%). As outras 23 espécies representaram 15% do volume total e o grupo de não identificadas com 69%. Salienta-se que para as quatro espécies e os dois grupos citados, o maior volume foi encontrado na forma árvore inteira caída (Tabela 18).

Tabela 18. Volume de necromassa lenhosa caída ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) estimado para as espécies mais representativas pelo método de amostragem linha interceptadora.

Nome científico	Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	%
<i>O. porosa</i>	12,99	80
<i>O. odorifera</i>	1,07	7
<i>A. angustifolia</i>	1,01	6
NI	0,46	3
Outras	0,78	5
Total	16,31	100

NI: Não identificadas

5.2. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE VOLUMÉTRICO DE ÁRVORES MORTAS EM PÉ

As árvores mortas em pé foram estimadas pelo método de amostragem de área fixa com dois tamanhos distintos de parcela e os resultados estão nos itens seguintes:

5.2.1. Método de amostragem de área fixa com unidades amostrais 2500 m²

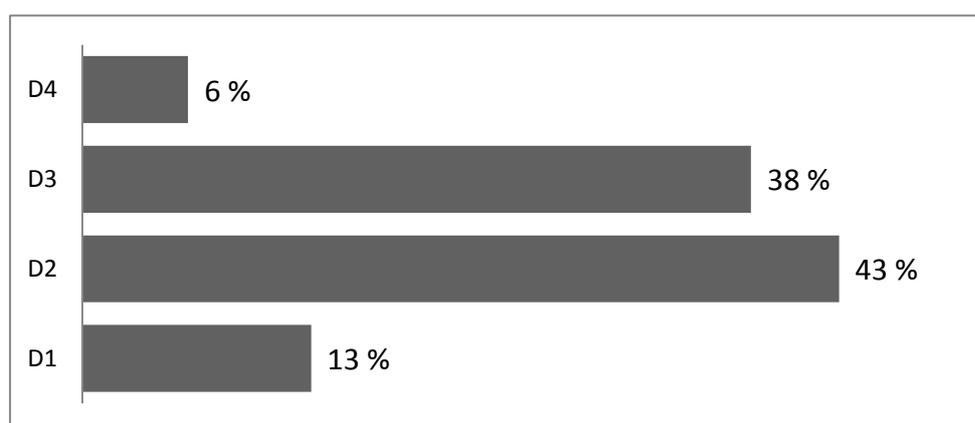
Na área amostrada (3,5 ha) pelo método de área fixa com unidades amostrais de 2500 m² foram encontradas 101 árvores mortas em pé com DAP maior que 10 cm, o que equivale a 23,76 árvores por hectare, correspondendo a um volume de 11,12 m³.ha⁻¹. O volume (m³.ha⁻¹) de cada árvore morta em pé foi classificada conforme seu grau de decomposição bem como o percentual que cada classe representa em relação ao volume total de árvores mortas em pé (Tabela 19)

Tabela 19. Volume (m³.ha⁻¹) para cada classe de decomposição na modalidade árvore morta em pé estimado pelo método de área fixa com unidades amostrais de 2500 m².

Classe de Decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	%
D1	0,65	13
D2	2,21	43
D3	1,93	38
D4	0,32	6
Total	5,11	100

D1: Classe de decomposição de material novo; D2: Classe de decomposição inicial; D3: Classe de decomposição intermediária; D4: Classe de decomposição avançada.

A porcentagem do volume de árvores mortas em pé para as quatro classes de decomposição estão na Figura 11. Do volume total 43% apresentou grau intermediário (D2), 38% está presente na classe D3 que indica grau elevado de decomposição e tronco com altura residual maior que 2 m e 6% representam a classe D4 que corresponde ao material com grau elevado de deterioração e altura residual do tronco menor que 2 m. A classe inicial (D1) correspondeu a 13% do volume total de árvores mortas em pé.



D1: Classe de decomposição material novo; D2: Classe de decomposição inicial; D3: Classe de decomposição intermediária; D4: Classe de decomposição avançada.

Figura 11. Porcentagem do volume total (m³.ha⁻¹) de árvores mortas em pé em classes de decomposição estimado pelo método de amostragem área fixa com unidades amostrais de 2500 m²

As espécies encontradas nas unidades amostrais de área fixa 2500 m² foram descritas por nome científico, nome vulgar, família e número de indivíduos mortos em pé por unidade de área, registrando-se no total 22 espécies (Tabela 20).

Tabela 20. Número de árvores mortas em pé (ha) por espécie e família para unidades amostrais de 2500 m².

Nome científico	Nome Vulgar	Família	Número de árvores /há
<i>A. edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	0,29
<i>C. xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	0,57
<i>C. decandra</i>	Guaçatunga-branca	Salicaceae	0,29
<i>C. obliqua</i>	Guaçatunga-vermelha	Salicaceae	0,29
<i>C. sylvestris</i>	Guaçatunga-preta	Salicaceae	0,29
<i>C. fissilis</i>	Cedro	Meliaceae	0,29
<i>C. dinisii</i>	Pimenteira	Canellaceae	0,29
<i>C. sellowianum</i>	Canela-branca	Lauraceae	0,29
<i>C. contracta</i>	Cinzeiro-preto	Rubiaceae	0,29
<i>D. brasiliensis</i>	Jacarandá	Fabaceae	0,57
<i>I. paraguariensis</i>	Erva-mate	Aquifoliaceae	0,29
<i>I. theezans</i>	Caúna	Aquifoliaceae	0,57
<i>M. elaeagnoides</i>	miguel-pintado	Sapindaceae	0,57
<i>M. splendens</i>	guamirim-preto	Myrtaceae	0,57
<i>M. umbellata</i>	capororocão	Primulaceae (Myrsinaceae)	2,29
<i>N. grandiflora</i>	Canela-amarela	Lauraceae	0,29
<i>N. megapotamica</i>	Canela-imbuia	Lauraceae	0,29
NI	NI	NI	6,00
<i>O. odorifera</i>	Sassafrás	Lauraceae	0,29
<i>P. angustifolia</i>	Vassourão-branco	Asteraceae	0,29
<i>P. crucis</i>	Cambroé	Salicaceae	0,57
<i>P. vellosiana</i>	jasmim-verdadeiro	Rubiaceae	0,29
<i>V. petiolaris</i>	Vassourão	Asteraceae	0,29
Total Geral			16,00

NI: Não identificadas

O volume de necromassa lenhosa de cada espécie foi distribuído em suas respectivas classes de diâmetro, com amplitude variando entre 10 e 100 cm (Tabela 21). A única espécie encontrada na classe de diâmetro 85 cm foi a Erva-mate (*Ilex paraguariensis*).

Tabela 21. Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé por espécie em cada classe de diâmetro nas unidades amostrais de 2500 m^2 .

Espécie	Centro de classe de diâmetro (cm)							Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}$)
	15	25	35	45	55	65	85	
<i>A. edulis</i>				0,09				0,09
<i>C. xanthocarpa</i>					0,61			0,61
<i>C. decandra</i>	0,03							0,03
<i>C. obliqua</i>		0,13						0,13
<i>C. sylvestris</i>	0,03							0,03
<i>C. fissilis</i>				0,27				0,27
<i>C. dinisii</i>		0,06						0,06
<i>C. sellowianum</i>	0,02							0,02
<i>C. contracta</i>	0,01							0,01
<i>D. brasiliensis</i>		0,06		0,35				0,41
<i>I. paraguariensis</i>							0,93	0,93
<i>I. theezans</i>	0,01	0,07						0,08
<i>M. elaeagnoides</i>		0,09	0,16					0,24
<i>M. splendens</i>	0,04							0,04
<i>M. umbellata</i>	0,18							0,18
<i>N. grandiflora</i>		0,10						0,10
<i>N. megapotamica</i>			0,19					0,19
NI	0,12	0,25	0,42		0,17	0,48		1,43
<i>O. odorifera</i>	0,02							0,02
<i>P. angustifolia</i>	0,02							0,02
<i>P. crucis</i>	0,04							0,04
<i>P. vellosiana</i>		0,11						0,11
<i>V. petiolaris</i>		0,08						0,08
Total Geral	0,52	0,95	0,76	0,70	0,78	0,48	0,93	5,11

NI: Não identificadas

5.2.2. Método de amostragem de área fixa com unidades amostrais 500 m^2

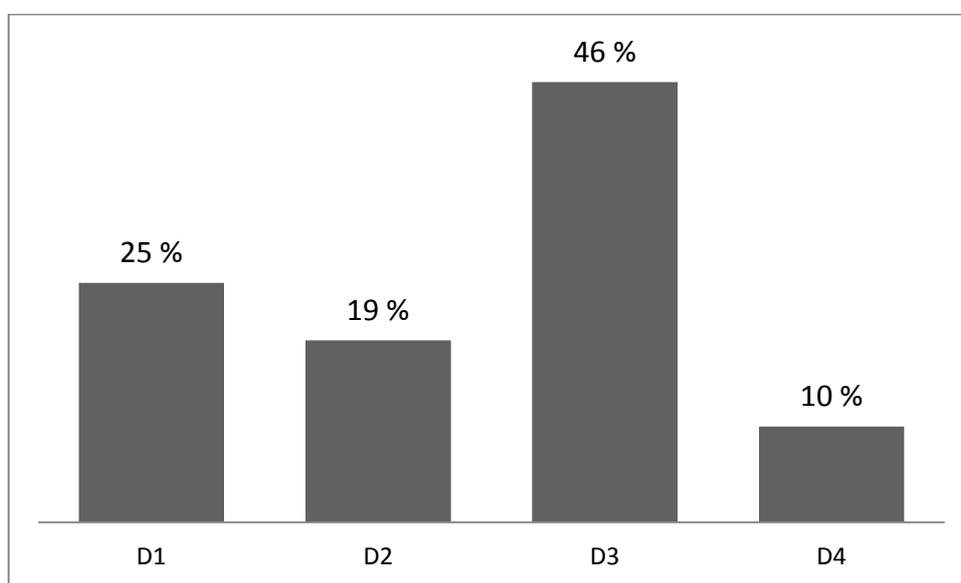
Na área amostrada (2,1 ha) pelo método área fixa com unidades amostrais de 500 m^2 foram encontradas 33 árvores mortas em pé com DAP maior que 10 cm, o que equivale a 15,71 árvores por hectare, correspondendo a um volume de $3,67 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. O volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de cada árvore morta em pé foi classificada conforme seu grau de decomposição bem como o percentual que cada classe representa em relação ao volume total de árvores mortas em pé (Tabela 22).

Tabela 22. Volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé para cada classe de decomposição em unidades amostrais de 500 m^2 .

Classe de decomposição	Volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)
D1	0,93
D2	0,70
D3	1,69
D4	0,35
Total	3,67

D1: Classe de decomposição de material novo; D2: Classe de decomposição inicial; D3: Classe de decomposição intermediária; D4: Classe de decomposição avançada.

A porcentagem do volume de árvores mortas em pé referente às quatro classes de decomposição é mostrada na Figura 12. A classe D3 apresentou 46% do volume total, indicando que a maior parte das árvores mortas em pé se encontra em elevado grau de decomposição. A classe D4 também aponta elevado grau de deterioração, mas, além disso, indica que as árvores tem altura residual menor que 2 m. Nesta classe encontrou-se o equivalente a 10% do volume total. A segunda classe mais representativa foi a de decomposição inicial (D1) com 25%. Os 19% restantes estão na classe de decomposição intermediária (D3).



D1: Classe de decomposição material novo; D2: Classe de decomposição inicial; D3: Classe de decomposição intermediária; D4: Classe de decomposição avançada.

Figura 12. Porcentagem do volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé estimado por classes de decomposição pelo método de amostragem área fixa com unidades amostrais de 500 m^2 .

Um total de 14 espécies foi encontrado nas unidades amostrais de 500 m², as quais foram identificadas pelos seus nomes científicos, vulgares, família, além da estimativa do número de árvores por unidade de área (Tabela 23). As espécies mais frequentes foram o capororocão (*Myrsine umbellata*) e o guamirim-preto (*Myrcia splendens*).

Tabela 23. Número de árvores mortas em pé por espécie e família em unidades amostrais de 500 m²

Nome científico	Nome Vulgar	Família	Nº de árvores /há
<i>A. edulis</i>	Vacum	Sapindaceae	0,48
<i>C. xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	0,48
<i>C. obliqua</i>	Guaçatunga-vermelha	Salicaceae	0,48
<i>C. sellowianum</i>	Canela-branca	Lauraceae	0,48
<i>C. contracta</i>	Cinzeiro-preto	Rubiaceae	0,48
<i>D. brasiliensis</i>	Jacarandá	Fabaceae	0,48
<i>M. elaeagnoides</i>	miguel-pintado	Sapindaceae	0,48
<i>M. splendens</i>	guamirim-preto	Myrtaceae	0,95
<i>M. umbellata</i>	Capororocão	Primulaceae (Myrsinaceae)	1,43
<i>N. megapotamica</i>	Canela-imbuia	Lauraceae	0,48
NI	NI	NI	7,62
<i>O. odorifera</i>	Sassafrás	Lauraceae	0,48
<i>P. crucis</i>	Cambroé	Salicaceae	0,48
<i>P. vellosiana</i>	jasmim-verdadeiro	Rubiaceae	0,48
<i>V. petiolaris</i>	Vassourão	Asteraceae	0,48
Total Geral			15,71

NI: Não identificadas

O volume (m³.ha⁻¹) de cada espécie em diferentes classes de diâmetros com amplitude entre 10 e 60 cm está na Tabela 24. A espécie com maior volume é o Jacarandá (*Dalbergia brasiliensis*) com 0,58 m³.ha⁻¹.

Tabela 24. Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) de árvores mortas em pé por espécie em cada classe de diâmetro nas unidades amostrais de 500 m^2 .

Espécie	Centro de classe de diâmetro (cm)					Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}$)
	15	25	35	45	55	
<i>A. edulis</i>				0,14		0,14
<i>C. xanthocarpa</i>					0,30	0,30
<i>C. obliqua</i>		0,22				0,22
<i>C. sellowianum</i>	0,03					0,03
<i>C. contracta</i>	0,02					0,02
<i>D. brasiliensis</i>				0,58		0,58
<i>M. elaeagnoides</i>		0,14				0,14
<i>M. splendens</i>	0,06					0,06
<i>M. umbellata</i>	0,19					0,19
<i>N. megapotamica</i>			0,32			0,32
NI	0,18	0,24	0,57		0,28	1,27
<i>O. odorifera</i>	0,03					0,03
<i>P. crucis</i>	0,02					0,02
<i>P. vellosiana</i>		0,19				0,19
<i>V. petiolaris</i>		0,14				0,14
Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}$)	0,53	0,93	0,89	0,73	0,59	3,67

NI: Não identificadas

5.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

5.3.1. Madeira morta Caída

As estatísticas descritivas dos dados obtidos no inventário realizado pelos três métodos de amostragem estão apresentadas na Tabela 25.

Os coeficientes de variação obtidos para os três métodos de amostragem foram elevados, indicando que o estoque de resíduos lenhosos não é distribuído de forma homogênea dentro da floresta.

No inventário florestal de Santa Catarina, Cardoso et al (2012) estimaram volume de resíduo lenhoso sob o solo em Floresta Ombrófila Mista usando 254 linhas (transectos) de 10 m e obtiveram um coeficiente de variação de 149,06%. Outros trabalhos mencionam a alta variabilidade na distribuição espacial dos resíduos lenhosos (BOND-LAMBERTY et al., 2002; MAAS, 2015).

Tabela 25. Estatísticas para os métodos de amostragem área fixa (500 m² e 2500 m²) e linha de interceptação para estimar volume (m³.ha⁻¹) de madeira morta caída.

Estimativas	Método de amostragem área fixa		Método de amostragem linha interceptadora
	50 m x 50 m (0,25ha)	10 m x 50 m (0,05 ha)	LI
Nº de unidades amostrais	14	42	70
Nº de unidades amostrais ótimo para erro de 10%	92	219	529
Área amostrada (ha)	3,5	2,1	-
Intensidade de amostragem	14	8,8	-
Volume médio (m ³ .ha ⁻¹)	16,77	18,89	16,31
Variância (m ³ .ha ⁻¹) ²	65,6	201,25	364,77
Nº de peças por hectare	170	176,19	-
Desvio Padrão (m ³ .ha ⁻¹)	8,1	14,19	19,10
Variância da média (m ³ .ha ⁻¹) ²	4,69	4,79	5,21
Erro padrão médio (m ³ .ha ⁻¹)	2,16	2,19	2,28
Coefficiente de variação (%)	48,29	75,09	117,10
Erro de amostragem			
Absoluto (m ³ .ha ⁻¹)	4,68	4,42	4,55
Relativo (%)	27,88	23,4	27,92
Intervalo de confiança	P (16,77 ± 4,68) = 95% P (18,89 ± 4,42) = 95%		P (16,31 ± 4,55) = 95%

Woldendorp et al. (2004) avaliaram diferentes métodos de amostragem, para estimar madeira morta caída em sistema florestal na Austrália. Os métodos utilizados foram área fixa com unidades amostrais de 100 m² (10 m x 10 m), 400 m² (20 m x 20 m) e 2500 m² (50 m x 50 m) e linha interceptadora (LI) com diferentes comprimentos (10, 20, 40, 60 e 80 m). Esses autores observaram que a variação relativa (CV) do volume de necromassa é elevada e altamente relacionada à intensidade amostral. Para o método de amostragem com unidades amostrais quadradas menores (100 m²) o CV foi mais elevado (240%) se comparado com unidades amostrais quadradas maiores (2500 m²) com 33% de coeficiente de variação. Para o método de amostragem LI o CV diminuiu conforme o comprimento da linha aumentou, variando de 360% para linha de 10 m para 135% em linha de 80 m. Esses autores ressaltaram que para chegar a um CV de 85% precisariam utilizar linhas de 300 m.

Bate et al. (2004) estudaram o desempenho de métodos de amostragem para estimar características de material lenhoso para a vida selvagem em povoamentos florestais mistos de coníferas no estado do Oregon e Montana. Baseado em seus resultados e testes estatísticos os autores relataram que a escolha do melhor método depende do objetivo do inventário e das condições da floresta, contudo indicaram que o método de amostragem AF em faixas foi mais preciso e eficiente que LI para estimar volume e densidade de material lenhoso com diâmetro

≥ 15 cm. Woldendorp et al. (2004) apontaram que parcelas de área fixa de forma quadrada são mais apropriadas para mensurar madeira morta em sistemas florestais e acrescentou que em locais que apresentam baixa quantidade de peças e de pequeno comprimento, as linhas de interceptação de comprimento prático, resultam em valores altos para CV.

Em contraste Miehs et al. (2010) compararam a eficácia dos métodos de amostragem LI e área fixa em faixa para mensurar material lenhoso com diâmetro ≥ 5 cm em florestas de Eucalipto susceptíveis ao fogo e indicaram que a variabilidade dos dados para o método LI foi 20% menor que para AF em faixa, porém ressaltaram que linhas menores que 100 m não são suficientes para estimar volume de madeira morta nos sistemas florestais estudados, sendo que o CV obtido para amostra de 450 m foi de 51,2% e para 700 m de 29,9%.

O erro de amostragem percentual para as médias de volume por hectare ficou acima do desejado, que seria de 10%. O menor erro de 23,40% foi obtido para o método de amostragem AF 2 para 42 unidades amostrais, seguido de 27,88% de erro para 14 unidades amostrais de AF 1 e 27,92% de erro para LI considerando 70 unidades amostrais (Tabela 25).

Em estudo realizado em Floresta Ombrófila Mista na cidade de São João do Triunfo, Paraná, a autora Maas (2015) obteve erro de 58,43% na estimativa de volume de madeira morta considerando 60 unidades amostrais de LI com 10 m de comprimento.

Para a mesma tipologia florestal, Cardoso et al. (2012) admitiram um erro de 15% para estimativa de volume e necromassa de madeira morta devido a heterogeneidade da variável analisada, no entanto, obtiveram erro acima do desejável utilizando o método de amostragem LI, sendo 16,36% para material com diâmetro abaixo de 20 cm e 25,76% para o total.

Na presente pesquisa foram definidos limites de erros de 10 e 15%. Todavia, a intensidade amostral não foi atendida, ocasionando erros de amostragem maiores do que os limites estabelecidos (Tabela 26).

Tabela 26. Intensidade amostral estimada para um limite de erro de 10 e 15% para os três métodos de amostragem.

Métodos de Amostragem e Tamanho de parcelas	Nº de unidades amostrais necessárias para o erro amostral		Nº de unidades amostrais mensuradas	Erro amostral relativo (%)
	10%	15%		
AF 1 (2500 m ²)	92	42	14	27,88
AF 2 (500 m ²)	219	99	42	23,40
LI 50 m	529	236	70	27,92

AF: área fixa; LI: linha interceptadora.

Cardoso et al. (2013) analisaram a intensidade amostral para diferentes comprimentos de linha considerando erro amostral de 10 e 15%, em Floresta Ombrófila Mista no estado de Santa Catarina e Paraná. Esses autores indicaram que a intensidade amostral ideal diminuiu com o aumento do comprimento da linha. Para as florestas estudadas no estado de Santa Catarina, a redução da intensidade amostral foi em torno de 32% entre linhas de 10 m e 20 m considerando ambos os erros amostrais, e para florestas no Paraná, da Embrapa Floresta, observando os mesmos comprimentos de linhas e erros amostrais, a intensidade de amostragem reduziu cerca de 20%.

Com relação à área amostral necessária a ser inventariada pelo método de área fixa para atender um erro de 10 e 15%, as unidades amostrais de 500 m² demandaram menor área amostral se comparadas às unidades de 2500 m², sendo uma vantagem operacional (Tabela 27).

Tabela 27. Área necessária a ser amostrada para atingir erro de 10 e 15%.

Métodos de Amostragem	Área amostrada (ha)	Nº de unidades amostrais necessárias para o erro amostral		Área necessária (ha)	
		10%	15%	10%	15%
		LI 50 m	-	529	236
AF 1 (2500 m²)	3,5	92	42	23	10,5
AF 2 (500 m²)	2,1	219	99	10,95	4,95

AF: área fixa; LI: linha interceptadora.

O número de peças por hectare para as unidades amostradas de 2500 m² foi de 170 e o volume médio correspondente foi de 16,77 m³.ha⁻¹; em unidades amostrais de 500 m² foi estimado um total de 176,19 peças.ha⁻¹ ou 18,89 m³.ha⁻¹; e no método de linha interceptadora o volume médio foi de 16,31 m³.ha⁻¹ (Tabela 28). Lista com os volumes de cada unidade amostral está disponível no apêndice 2.

Tabela 28. Média de Volume de madeira morta caída (m³.ha⁻¹) por classe de diâmetro para cada método de amostragem.

Métodos de amostragem	Classe de diâmetro (cm)					Volume total (m ³ .ha ⁻¹)	Nº de peças. ha ⁻¹
	15	25	35	45	55		
AF 1 (2500 m²)	5,99	6,39	3,38	1,01	-	16,77	170
AF 2 (500 m²)	6,11	7,5	4,75	0,53	-	18,89	176,19
LI	6,8	3,58	2,27	1,71	1,95	16,31	-

AF: área fixa; LI: linha interceptadora.

Em protocolo para estimativa de carbono e madeira morta na Austrália, McKenzie et al. (2010) recomendaram que em situações onde são encontradas quantidades ≤ 160 peças.ha⁻¹, todas deverão ter suas dimensões mensuradas, podendo utilizar amostragem de área fixa, porém, se a quantidade de peças dentro das parcelas for significativa (> 160 peças.ha⁻¹), as variáveis por unidade de área poderão ser estimadas pela técnica de linha interceptadora. Com base nestas recomendações, a área estudada na presente pesquisa poderia ter suas variáveis estimadas pelo método de linha interceptadora, uma vez que o número de peças estimado por unidade de área em ambos os tamanhos de unidades amostrais de área fixa foi de aproximadamente 170 peças.ha⁻¹.

Os resultados de volume médio estimado entre os métodos e tamanhos de unidades amostrais foram muito próximos, e não apresentaram diferenças ao nível de $\alpha = 5\%$ de significância pelo teste estatístico de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$; p-valor: 0,0869) (Tabela 29). Os resultados e gráfico de resíduos do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis estão disponíveis nos apêndices 3 e 4.

Tabela 29. Comparação estatística dos métodos de amostragem.

Métodos	Volume médio	X^2	p-valor
AF1	16,77	5,99 ^{ns}	0,0869
AF2	18,89		
LI	16,31		

AF: área fixa; LI: linha interceptadora; ns: não significativo ao nível de significância $\alpha = 5\%$

Euri et al. (2007) estudaram madeira morta na floresta amazônica e compararam o estoque obtido pelos métodos de área fixa, com parcelas de 1 ha (100 m x 100 m) e (20 m x 50 m), e linha interceptadora com 100 m (sendo um total de 400 m em cada parcela de 1 ha). Em seus resultados o volume estimado pelo método linha interceptadora (62,26 m³.ha⁻¹) foi maior que o estimado pelo método de área fixa com parcelas de 1 ha (33,47 m³.ha⁻¹), porém não foi considerado estatisticamente diferente.

Na Tabela 28 pode-se observar um maior volume de madeira morta caída nas classes de diâmetro 15 e 25 cm, tanto para o método de área fixa quanto para o de linha de interceptadora. Isto indica que as peças encontradas na área amostral são representadas em sua maioria por galhos e troncos de material lenhoso de menor diâmetro.

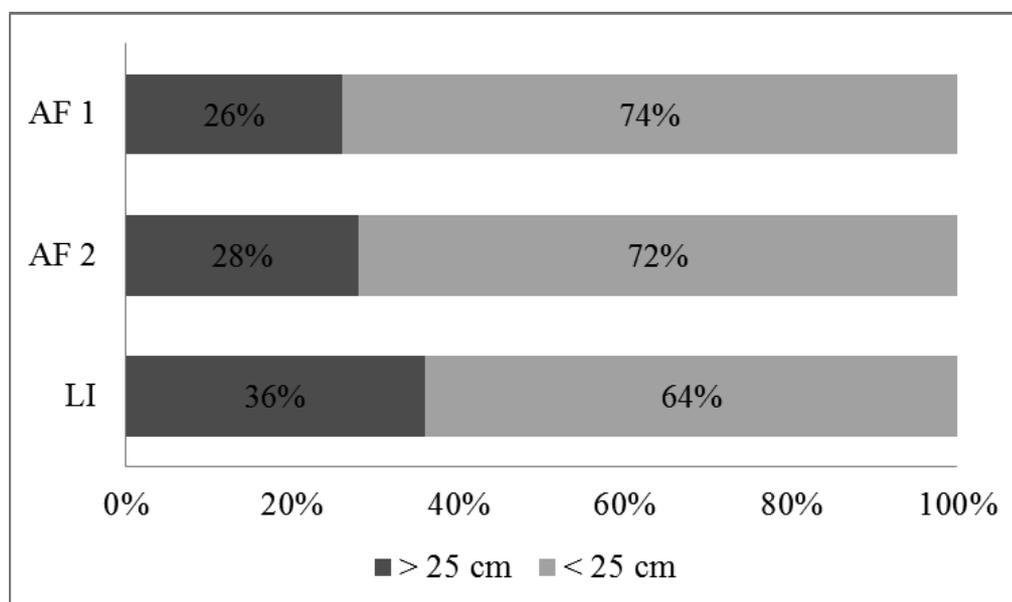
O volume referente ao material lenhoso caído com diâmetro menor que 25 cm para os diferentes métodos e tamanhos de unidades amostrais, juntamente com a porcentagem que este grupo representa do volume total estão na Tabela 30.

Tabela 30. Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) do material lenhoso caído com diâmetro menor que 25 cm e para o total em todos os métodos de amostragem.

Métodos de Amostragem	Volume (m^3/ha)	
	< 25 cm	Total
AF 1 (2500 m^2)	12,38	16,77
AF 2 (500 m^2)	13,61	18,89
LI (50 m)	10,38	16,31

AF: área fixa; LI: Linha interceptadora

No método de amostragem de área fixa em unidades de amostra de área 2500 m^2 e 500 m^2 , 74 e 72% do volume total é representado por material com diâmetro maior que 25 cm, respectivamente, já o método por linha interceptadora apresentou um percentual um pouco menor (64%) (Figura 13).



AF 1: Área fixa 2500 m^2 ; AF 2- Área fixa 500 m^2 ; LI - Linha interceptadora de 50 m

Figura 13. Porcentagem de material maior e menor que 25 cm de diâmetro para os três métodos de amostragem.

Os volumes médios obtidos para o material lenhoso caído com diâmetro menor de 25 cm apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre os métodos de amostragem ao nível de significância $\alpha = 5\%$ pelo teste de Kruskal-Wallis ($0,05 > p > 0,01$) (Tabela 31). Os resultados da estatística do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para o volume médio de madeira morta caída menor que 25 cm é apresentado no apêndice 5.

O volume de material lenhoso morto com diâmetro menor de 25 cm sob o solo teve alta variação na área amostrada, sendo que entre os métodos de amostragem testados, o de

linha de interceptação apresentou o maior coeficiente de variação (121,3%), e entre os dois tamanhos de área fixa a maior variação ocorreu em parcelas de área menor (73,24%) (Tabela 31).

Tabela 31. Comparação estatística dos métodos e tamanhos de amostragem para o volume médio do material com diâmetro menor que 25 cm.

Método de Amostragem	Volume médio	CV %	Erro (%)	X ²	p-valor
Área fixa 1 (2500 m ²)	12,38	48	27,71	5,99*	0,0193
Área fixa 2 (500 m ²)	13,61	73,24	22,82		
Linha interceptadora (50 m)	10,39	121,3	28,92		

*significativo ao nível de significância $\alpha=5\%$

No inventário realizado em Santa Catarina Cardoso et al. (2012), em fragmento de Floresta Ombrófila Mista, a madeira morta caída com diâmetro ≥ 1 cm foi amostrada pelo método linha interceptadora com unidades amostrais de 10 m e resultou em um erro amostral de 16,36% e coeficiente de variação 94,65% para peças menores de 20 cm de diâmetro. Nesta pesquisa, com o mesmo método amostral, considerando madeira morta caída ≥ 10 cm de diâmetro em unidades amostrais de 50 m, apresentou resultados mais elevados tanto para o erro amostral (28,92%) quanto para o CV (121,3%).

Para identificar a diferença entre os volumes médios estimados para cada método foi realizado o teste Dunn de comparações múltiplas e constatou-se a diferença estatística na comparação dos volumes médios entre o método de área fixa com unidades de amostra de 500 m² (13,61 m³.ha⁻¹) e o método linha interceptadora (10,39 m³.ha⁻¹) (Tabela 32). Quanto às comparações múltiplas entre os métodos AF 1 e AF 2 e AF 1 e LI os resultados são inconclusivos. Resultados da estatística do teste Dunn estão disponíveis no apêndice 6.

Tabela 32. Teste Dunn de comparações múltiplas para os métodos de amostragem na estimativa de volume médio de material morto caído com diâmetro menor que 25 cm.

Método	Soma dos postos	Posto médio	Comparação dos grupos
AF 1	1044	74,57	a
AF 2	3082	73,38	a b
LI	3875	55,36	a

*Abordagens seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de significância de 5%

O volume total foi dividido por classe de decomposição para ambos os métodos, e apesar da diferença ter sido mínima entre os métodos, ao aplicar o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis constatou-se que em cada classe de decomposição pelo menos uma

comparação entre as médias é estatisticamente diferente ao nível de significância 5%.

A composição do volume de madeira morta caída por classe de decomposição indica que para ambos os métodos, mais de 70% do volume se encontra em estado avançado de deterioração, e apenas cerca de 7% é referente a material mais novo, e o material em classe intermediária de decomposição abrange de 18 a 23% do volume nos diferentes métodos (Tabela 33).

Tabela 33. Porcentagem do volume de necromassa caída em cada classe de decomposição para cada método.

Classe de decomposição	AF1		AF2		LI	
	Vol (m ³ .ha ⁻¹)	%	Vol (m ³ .ha ⁻¹)	%	Vol (m ³ .ha ⁻¹)	%
C1	1,24	7	1,14	6	1,18	7
C2	3,44	21	3,43	18	3,75	23
C3	12,08	72	14,32	76	11,38	70
Total	16,77	100	18,89	100	16,31	100

C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediária; C3: Classe de decomposição avançada.

Euri et al. (2007) classificaram a madeira morta em 5 graus de decomposição, e ao comparar os dois métodos, área fixa e linha de interceptadora, obtiveram resultados diferentes. Para o método de área fixa a maior parte do volume de material lenhoso, cerca de 29%, encontraram-se em estado avançado de decomposição, geralmente apodrecida e desmanchava facilmente com o contato com as mãos (classe 5). Para o método de linha de interceptação, mais da metade do volume estimado, cerca de 53%, representava peças em estado intermediário de decomposição, ou seja, a madeira não era mais sólida porém não desmancha com o toque (classe 3). No geral, o volume obtido pelo método de área fixa apresentou uma distribuição mais homogênea entre as classes de decomposição, já para linha interceptadora algumas classes se sobressaíram às outras.

5.3.2. Árvore morta em pé

O volume de árvores mortas em pé foi estimado apenas para o método de área fixa, sendo que na presente pesquisa dois tamanhos de unidades amostrais foram avaliados. Para unidades amostrais de 2500 m² (AF 1) o volume estimado foi de 5,11 m³.ha⁻¹ e para unidades de amostras de 500 m² (AF 2) foi de 3,67 m³.ha⁻¹. Estes volumes foram distribuídos de acordo com sua classe de diâmetro que abrangeram uma amplitude de 15 a 85 cm em AF 1 e 15 a 55 cm em AF2. Os volumes médios obtidos pelos dois métodos não foram estatisticamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de $\alpha=5\%$ de significância (p-valor: 0,4813) (Tabela

34). Os resultados do teste t para o volume de árvore morta em pé estão disponíveis em apêndice 7.

Tabela 34. Teste t para os volumes médios de árvore morta em pé em cada tamanho de unidade amostral.

Amostragem	Classe de diâmetro (cm)							Volume total (m ³ .ha ⁻¹)	p-valor	T
	15	25	35	45	55	65	85			
AF 1	0,52	0,95	0,76	0,70	0,78	0,48	0,93	5,11	0,4813	0,71
AF 2	0,53	0,93	0,89	0,73	0,59	-	-	3,67		

AF 1: área fixa (2500 m²); AF 2: área fixa (500 m²); * significativo ao nível de 5% para o teste t; t: valor de t student tabelado.

Também não houve diferença pelo teste t ao nível de 5% de significância ao se classificar o volume médio de árvore morta em pé conforme seu grau de decomposição (Tabela 35). Resultados dos testes t para comparação do volume nas diferentes classes de diâmetros estão disponíveis nos apêndices 8, 9, 10 e 11.

Tabela 35. Teste t para o volume médio de árvore morta em pé (m³.ha⁻¹) para cada classe de decomposição.

Classe de decomposição	Volume (m ³ .ha ⁻¹)		p-valor	T
	AF 1	AF 2		
D1	0,65	0,93	0,8179	0,23 ^{ns}
D2	2,21	0,70	0,1097	1,63 ^{ns}
D3	1,93	1,69	0,8204	0,23 ^{ns}
D4	0,32	0,34	0,9567	0,05 ^{ns}
Total	5,11	3,67		

D1: Classe de decomposição de material novo; D2: Classe de decomposição inicial; D3: Classe de decomposição intermediária; D4: Classe de decomposição avançada; ns: não significativo ao nível de 5% para o teste t; t: valor de t student tabelado.

5.3. ESTOQUE DE NECROMASSA E CARBONO

5.3.1. Peso de necromassa caída

Os pesos de necromassa de madeira morta caída estimados para os métodos de área fixa (2500 m² e 500 m²) e linha de interceptação foram de 5,38 Mg.ha⁻¹; 6,01 Mg.ha⁻¹ e 5,26 Mg.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 36).

Tabela 36. Peso da Necromassa (Mg.ha⁻¹) de madeira morta caída por classe de decomposição em cada método e suas estatísticas.

Classe de decomposição	Densidade (g.cm ⁻³)	Necromassa (Mg.ha ⁻¹)		
		AF 1	AF 2	LI
C1	0,42	0,52	0,48	0,50
C2	0,36	1,24	1,23	1,35
C3	0,30	3,62	4,30	3,41
Total		5,38	6,01	5,26

C1: Classe de decomposição inicial; C2: Classe de decomposição intermediário; C3: Classe de decomposição avançada.

Silva (2013) encontrou 4,62 Mg.ha⁻¹ de peso de necromassa grossa caída (diâmetro ≥ 10

cm) amostrada pelo método LI em Floresta Estacional Semidecidual do Rio de Janeiro, sendo semelhante ao encontrado neste estudo ($5,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$). No inventário florestal de Santa Catarina, Cardoso et al. (2012) obtiveram resultados mais elevados para o peso de necromassa grossa caída com diâmetro $\geq 10 \text{ cm}$, sendo $7,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Mista; $4,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa e $4,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$ em Floresta Estacional Semidecidual. Sanqueta et al. (2014) estimaram peso de necromassa para material lenhoso morto com diâmetro $> 7,5 \text{ cm}$ de $8,98 \text{ Mg.ha}^{-1}$ para Floresta Estacional Semidecidual no Paraná (Tabela 37).

Ao comparar com valores de necromassa obtidos para a região amazônica, os resultados estimados neste trabalho são inferiores, sendo que na Floresta Ombrófila Densa, Rice et al. (2004) encontraram peso de necromassa (caída e em pé) de 48 Mg.ha^{-1} e Keller et al. (2004) obtiveram $55,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$ para necromassa caída.

Luccas (2010) estudou a variação do estoque de necromassa de árvores mortas em pé e material morto caído com diâmetro fino (diâmetro $2,0 - 9,9 \text{ cm}$) e grosso ($\geq 10 \text{ cm}$) no período de um ano em Floresta Ombrófila Densa na região de São Paulo, sendo que os resultados variaram entre $2,66 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $3,44 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (Tabela 37).

5.3.2. Peso de necromassa de árvore morta em pé

A necromassa em pé foi estimada apenas para o método de área fixa, sendo que nas unidades amostradas de 2500 m^2 o peso estimado foi de $2,01 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e em unidades de 500 m^2 foi de $1,47 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (Tabela 38).

O peso total da necromassa (morta caída e morta em pé) foi estimado para o método de área fixa em unidades amostrais de 2500 m^2 em $7,39 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e em unidades de 500 m^2 $7,48 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (Tabela 39).

5.3.3. Peso seco de carbono presente na necromassa

O peso de carbono proveniente de material lenhoso sob o solo foi estimado para os métodos de área fixa com unidades de amostra de 2500 e 500 m^2 e linha interceptadora, sendo $2,56 \text{ Mg.ha}^{-1}$; $2,85 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $2,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$, respectivamente. Para árvores mortas em pé o peso estimado foi de $0,95 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $0,70 \text{ Mg.ha}^{-1}$ para unidades de área fixa de 2500 m^2 e 500 m^2 na devida ordem (tabela 40).

Tabela 37. Comparação de peso de necromassa caída de diferentes tipologias florestais, obtidas por diferentes autores.

Tipo de Floresta	Local	Tipo de material	DI (cm)	Necromassa (Mg/ha)	Referência
FOM	Irati, PR	Madeira morta caída: troncos galhos, árvores inteiras caídas.	≥ 10	AF1 - 5,38	Presente estudo
				AF2 - 6,01	
		Árvores mortas em pé		LI - 5,26	
				AF1 - 2,01	
				AF2 - 1,47	
FES	Região do Parque Nacional do Iguaçu, PR	Madeira morta caída	≥ 7,5	8,98	Sanqueta et al., 2014
FES de Tabuleiro Borda Interior	São Francisco de Itabapuana, RJ	Madeira morta caída	≥ 10	4,62	Silva, 2013
				4,62	
FOM	Santa Catarina	Madeira morta caída	≥ 10	7,9	Cardoso et al., 2012
FED				4,3	
FOD				4,6	
FOD (Terras Baixas)	Parque Estadual da Serra do Mar, SP	Madeira morta caída	≥ 7,5	9,95 – 0,65	Vieira et al., 2011
FOD (Submontana)	Parque Estadual da Serra do Mar, SP	Madeira morta caída	≥ 7,5	9,33 – 1,52	Vieira et al., 2011
FOD (Montana)	Parque Estadual da Serra do Mar, SP	Madeira morta caída	≥ 7,5	16,85 – 2,28	Vieira et al., 2011
FOD	Parque E. da Serra do mar em São Luiz da Paraitinga, SP	Madeira morta caída e árvores mortas em pé		2,66 – 3,44	Luccas, 2011
Cerrado	Parque E. de Vassununga em Santa Rita do Passa Quatro, SP	Madeira morta caída e árvores mortas em pé		2,82 – 4,89	Luccas, 2011
FOD	Santarém, PA	Madeira morta caída	≥ 10	48	Rice et al., 2004
		Árvores mortas e pé	≥ 2		
FOD	Paragominas, PA	Madeira morta caída	≥ 10	55,2	Keller et al., 2004
FOD	Santarém, PA	Madeira morta caída	≥ 10	50,7	Keller et al., 2004

Tabela 38. Peso da Necromassa de árvores mortas em pé ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por classe de decomposição em cada tamanho de amostra de área fixa.

Classe de decomposição	Necromassa	
	AF 1	AF 2
D1	0,33	0,47
D2	0,88	0,28
D3	0,70	0,61
D4	0,09	0,10
Total	2,01	1,47

C1: Classe de decomposição de material novo; C2: Classe de decomposição inicial; C3: Classe de decomposição intermediária; C4: Classe de decomposição avançada; * significativo ao nível de 5% para o teste t; t: valor de t student tabelado.

Tabela 39. Peso total da necromassa para cada método ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Grupo	Necromassa ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	AF1	AF2	LI
Morta caída	5,38	6,01	5,26
Árvore morta em pé	2,01	1,47	-
Total	7,39	7,48	5,26

AF 1: área fixa (2500 m^2); AF 2: área fixa (500 m^2); LI: linha interceptadora.

Tabela 40. Peso de carbono nas diferentes classes de decomposição para cada método de amostragem.

Carbono ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)						
Morta caída				Árvore Morta em pé		
Classe de decomposição	AF 1	AF 2	LI	Classe de decomposição	AF 1	AF 2
C1	0,25	0,23	0,24	D1	0,13	0,22
C2	0,59	0,59	0,64	D2	0,43	0,13
C3	1,72	2,04	1,62	D3	0,34	0,30
-	-	-	-	D4	0,05	0,05
Total	2,56	2,85	2,5	Total	0,95	0,7

C: classes de decomposição; AF: área fixa; LI: linha interceptadora.

Em ambos os métodos mais de 50% do carbono total da necromassa é representado por material lenhoso em estado de decomposição avançada. Na classe de decomposição intermediária o carbono representa cerca de 20% do total em ambos os métodos testados, e o material em estado de decomposição inicial se encontra numa faixa de percentagem menor, sendo entre 9 e 13% do total e 1% é referente a classe extra de decomposição avançada de árvores mortas em pé (Tabela 41).

Tabela 41. Porcentagem de carbono total (morta caída e árvore morta em pé) presente em cada classe de decomposição de cada método.

Classe de decomposição madeira morta caída e árvore morta em pé	AF 1		AF 2		LI	
	Carbono (Mg.ha ⁻¹)	%	Carbono (Mg.ha ⁻¹)	%	Carbono (Mg.ha ⁻¹)	%
Classe 1	0,4058	12	0,4529	13	0,2354	9
Classe 2	1,0083	29	0,7198	20	0,6413	26
Classe 3	2,0529	58	2,3298	66	1,6217	65
Classe 4	0,0449	1	0,0489	1	-	-
Total	3,51	100	3,55	100	2,50	100

C: classes de decomposição (morta caída e árvore morta em pé); AF: área fixa; LI: linha interceptadora.

Em estudo em florestas intactas e exploradas na Amazônia, 5 classes de decomposição foram propostas por Keller et al. (2004), dentre estas, a classe 3 (parcialmente decomposta) foi a que apresentou maior peso de necromassa, variando de 22 a 49% entre os sítios avaliados, com exceção da área avaliada que havia sido recentemente explorada que apresentou 43% da necromassa em classes de decomposição inicial (classes 1 e 2 – material relativamente fresco). Os autores Chao et al. (2009) dividiram a necromassa em 3 classes, intacta, parcialmente decomposta e podre, e também obtiveram resultados que indicaram maior quantidade de necromassa na classe parcialmente decomposta (15,2 e 39 Mg.ha⁻¹), seguido da classe intacta (10,1 e 18,4 Mg.ha⁻¹) e podre (2 e 1,1 Mg.ha⁻¹) nas regiões do noroeste e nordeste da Amazônia, respectivamente.

Em parcelas permanentes instaladas nas florestas da Venezuela os autores Delaney et al. (1998) classificaram a necromassa em boa, intermediária e podre. Determinaram que 45% do total da necromassa está presente na forma podre, 44% na classificação intermediária e apenas 11% tem classificação boa. Os autores associam a maior quantidade de necromassa nas classes intermediária e podre ao clima úmido das florestas, ressaltando que em florestas de clima seco as quantidades nessas classes de decomposição foram menores, mesmo que não houvesse diferença significativa entre as regiões estudadas.

Baseando-se nas estimativas de biomassa total acima do solo, de árvores com dap maior que 10 cm, obtida para Florestas Ombrófila Mista por alguns autores como Mognon, (2011) (186,75 Mg.ha⁻¹), Watzlawick et al. (2012) (250,90 Mg.ha⁻¹), Caldeira et al. (2004) (210,4 Mg.ha⁻¹) o percentual de necromassa caída estimado por ambos os métodos de amostragem é de cerca de 3% da biomassa total acima do solo. Considerando-se a necromassa de árvores mortas em pé para os métodos de área fixa este percentual passa a ser de 4%.

Brown (1997) afirmou que em florestas maduras o estoque de biomassa de madeira

morta (necromassa) pode variar de 5 a 40% do total da biomassa presente acima do solo. Em outras pesquisas realizadas na Amazônia, em média 9% da biomassa total é referente a necromassa, podendo variar entre 2 e 17% (HOUGHTON et al., 2001; BROWN, 2002). Segundo Delaney et al. (1998) em florestas úmidas a necromassa varia de 10 a 20% da biomassa total e em áreas de transição de florestas úmidas para seca, essa porcentagem pode ser menor que 4%.

A necromassa grossa em Floresta Ombrófila Densa na Amazônia representa cerca de 18 e 24% do estoque de biomassa acima do solo (KELLER et al., 2004; RICE et al., 2004). Em floresta atlântica estacional semidecidual do Rio de Janeiro, Silva (2013) considerou que a necromassa, tanto grossa quanto fina, representa 7% da biomassa total acima do solo. Vibrans et al. (2011) encontraram que a necromassa caída e em pé, a partir de 1 cm de diâmetro representa 12,8% da biomassa total acima do solo para Floresta Ombrófila Mista, 12,2% em Floresta Estacional Decidual e 10,1% em Floresta Ombrófila Densa.

Comparando com os trabalhos que estudaram fragmentos da mata atlântica (Silva, 2013; Vibrans et al., 2011) a porcentagem de necromassa que representa a biomassa total estimada para este trabalho, foi menor, esta diferença pode ser devido as diversas densidades por classe de decomposição que foram adotadas pelos autores, bem como diferentes metodologias para estimativa de volume.

Em qualquer um dos casos expostos, nas diferentes tipologias florestais de diferentes autores, a porcentagem de necromassa que representa a biomassa total é expressiva e contribui com os estoques de carbono total da floresta.

6. CONCLUSÕES

- A estimativa de volume de madeira morta caída por unidade de área para o método de amostragem de área fixa com unidades amostrais de 500 m² apresentou maior volume (18,89 m³.ha⁻¹) com relação aos outros métodos, área fixa com unidades de amostra de 2500 m² (16,77 m³.ha⁻¹) e linha interceptadora (16,31 m³.ha⁻¹).
- O volume estimado de madeira morta caída para o método linha interceptadora foi semelhante ao estimado pelo método de amostragem de área fixa.
- O método de amostragem área fixa tem vantagem por estimar volume de árvore morta em pé dentro das unidades amostrais, já o método de linha interceptadora necessita de adaptações em sua abordagem para incluir esse tipo de material.
- O volume de árvores mortas em pé estimado foi maior no método área fixa com unidades amostrais de 2500 m² (5,11 m³.ha⁻¹), enquanto que para unidades amostrais de 500 m² foi de 3,67 m³.ha⁻¹.
- O volume de madeira morta caída teve menor variação em unidades amostrais de área fixa de 2500 m² (CV: 48,29%).
- O estoque volumétrico tanto para madeira morta caída quanto para árvores mortas em pé estimados pelos diferentes métodos de amostragem não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância.
- Quando comparados os resultados do inventário de madeira morta caída nos diferentes métodos de amostragem, o menor erro amostral obtido para estimativa de volume foi para unidades amostrais de área fixa de 500 m².
- O método de linha interceptadora apresentou maior erro amostral (27,92%) e maior coeficiente de variação (117,10%).
- Ambos os métodos de amostragem exigem elevada intensidade amostral para atender erro amostral de 10% na estimativa de volume da necromassa.
- Considerando a dificuldade em determinar o grau de decomposição da madeira morta de forma tátil-visual, as três classes propostas para madeira morta caída são suficientes para distinguir o material em campo.

7. RECOMENDAÇÕES

- Para avaliar os métodos de amostragem com maior precisão é recomendado fazer censo da área a ser amostrada, tendo assim um padrão de comparação para decidir qual o melhor método para amostrar madeira morta caída e árvores mortas em pé.
- Para concluir se o método de linha interceptadora é eficiente, é necessário obter informações do tempo médio dispensado para realizar a coleta de dados.
- Para uma estimativa precisa de peso de necromassa e carbono em formações florestais específicas faz-se necessária a coleta de amostras a campo, nas diferentes classes de decomposição adotadas, determinação da densidade e análises químicas em laboratório.
- Uma das funções da madeira morta é o habitat de diferentes organismos, um levantamento de macrofauna presente na necromassa contribui para gerar conhecimento sobre a biodiversidade de insetos e outros seres vivos em diferentes domínios florestais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB´SABER, A.N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. Sao Paulo: Atelie Editorial, 159p. 2003. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/94538576/AB-SABER-Aziz-Nacib-Os-dominios-de-natureza-no-Brasil-potencialidades-paisagisticas#scribd>>. Acesso em: 18/03/2014.
- ADUAN, R. E. Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O Caso do Cerrado Brasileiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Documentos EMBRAPA Cerrados. 30 p. 2003.
- ANTONELI, V.; FRANCISQUINI, V. M. (n.d.). Influência de alguns dados meteorológicos na produção de serapilheira na FLONA (Floresta Nacional) de Irati. **Ambiência**, Guarapuava, v.10, Suplemento 1, p.267– 280. Ago. 2014.
- BAKER, T.R.; CORONADO, E.N.H.; PHILLIPS, O.L.; MARTIN, J.; VAN DER HEIJDEN, G.M.F.; GARCIA, M.; ESPEJO S.J. Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest. **Community ecology**, p.495–504, fev. 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.
- BARBOSA, R.I. **Savanas da Amazônia: Emissão de Gases do Efeito Estufa Material Particulado Pela Queima e Decomposição da Biomassa Acima do Solo, sem a Troca do Uso da Terra, em Roraima, Brasil**. Manaus: Inpa. 236 p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) Inpa/fua, Manaus, AM. 2001.
- BATE, L. J.; TORGERSEN, T. R.; WISDOM, M. J.; GARTON, E. O. Performance of sampling methods to estimate log characteristics for wildlife. **Forest Ecology and Management**, Moscow, v.199, p.83–102. Abril, 2004.
- BEETS, P. N.; HOOD, I. A.; KIMBERLEY, M. O.; OLIVER, G. R.; PEARCE, S. H.; GARDNER, J. F. Coarse woody debris decay rates for seven indigenous tree species in the central North Island of New Zealand. **Forest Ecology and Management**, New Zealand, v.256, p.548–557. 2008.
- BOND-LAMBERTY, B.; WANG, C.; GOWER, S. T. Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D23, p. WFX 1–1–WFX 1–10, 2002.
- BRIGADÃO, C. Dicionário de ecologia. Rio de Janeiro: ToopBooks, 1992. 340p.
- BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer**. Roma: FAO Forestry Paper, 134. 55p. 1997.
- BROWN, S. Measuring carbon in forests: Current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v.116, p.363–372. Jul. 2002.

BUSING, R. T.; WHITE, R. D.; HARMON, M. E.; WHITE, P. S. Hurricane disturbance in a temperate deciduous forest: patch dynamics, tree mortality, and coarse woody detritus. **Plant Ecology**, v. 201, n. 1, p. 351–363, 2008.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255p.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**, 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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.

CHAO, K.-J.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; PEACOCK, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; MONTEAGUDO, A.; TORRES-LEZAMA, A. After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. **Biogeosciences Discussions**, v.6, p.1979–2006. 2009.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; VELLOSO, A.C.X. Biomassa e Estoque de Carbono e Nutrientes em Florestas Montanas de Mata Atlântica na região Norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.33, p.1175 – 1185. 2009.

CRUZ FILHO, D.; SILVA, J.N.M. (2009). 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 Mojú , Amazônia. **Acta Amazônica**, v.39 (3), p.527–532, 2009.

DELANEY, M.; BROWN, S.; LUG, A. E. The Quantity and Turnover of Dead Wood in Permanent Forest Plots in Six Life Zones of Venezuela. **Biotropica**, v.30(1), p.2–11. 1998.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. 2006. Copas de Araucaria Observadas em Fotografias Aéreas 70 mm Colorido Normal em Escala Muito Grande (1:1000). In: Anais do VII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal / Orgs. Attilio Antonio Disperati, João Roberto dos Santos. FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, PR. Out. 2006.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, S. M.; TREXLER, M. C.; and WISNIEWSKI, J. Carbon pools and ux of global carbon forest ecosystems. **Science**, v.263, p.185–190. 1994.

EATON, J. M.; LAWRENCE, D. 2006. Woody debris stocks and fluxes during succession in a dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.232(1-3), p.46–55. Maio, 2006.

ENRONG, Y.; XIHUA, W.; JIANJUN, H. **Concept and Classification of Coarse Wood Debris in Forest Ecosystems**. *Front. Biol. China* 1:76–84. 2006.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *Global forest resources assessment 2005*. Roma: FAO, 2006. (FAO Forestry Paper, 147).

FERREIRA, P.V. *Estatística experimental aplicada à agronomia*. 3ª ed. Maceió, EDUFAL. 2000. 422p.

FERREIRA, S.J.F, CRESTANA, S., LUIZÃO, F.J., MIRANDA, S.A.F. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. *Acta Amazônica*. v.31(3), p.381 – 396, 2001.

FIGUEIREDO FILHO, A. Relatório técnico: **Comparação da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista e uma vegetação arbórea estabelecida sob um plantio de *Araucariaangustifolia* no Centro Sul do estado do Paraná**. 2011. 36 p. Não publicado.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F., & SAWCZUK, A. R. Crescimento, Mortalidade, Ingresso e Distribuição Diamétrica Em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta*, v.40(2005), p.763–776, fev. 2010.

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. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FONSECA, W.; REY BENAYAS, J. M.; ALICE, F. E. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, v. 262, n. 8, p. 1400–1408, 2011.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ (FUPEF). 1978. *Inventário florestal. do Pinheiro no sul do Brasil*. Curitiba, 327 p.

GOUGH, C. M.; VOGEL, C. S.; KAZANSKI, C.; NAGEL, L.; FLOWER, C. E.; CURTIS, P. S. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest. *Forest ecology and management*, v.244, p.60–67. Mar. 2007.

GOVE, J. H.; DUCEY, M. J.; VALENTINE, H. T.; WILLIAMS, M. S. Forest Ecology and Management A distance limited method for sampling downed coarse woody debris. *Forest Ecology and Management*, v.282, p.53–62. Jul. 2012.

HARMON, M. E.; FASTH, B.; WOODALL, C. W.; SEXTON, J. Carbon concentration of standing and downed woody detritus: Effects of tree taxa, decay class, position, and tissue type. *Forest Ecology and Management*, v. 291, p. 259–267, jan. 2013.

HARMON, M. E.; WOODALL, C. W.; FASTH, B.; SEXTON, J. **Woody Detritus Density and Density Reduction Factors for Tree Species in the United States: A Synthesis**. 2007.

HARMON, M. E.; SEXTON, J. **Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems**. Seattle, Abril, 1996.

HARMON, M. E.; FRANKLIN, J.F.; SWANSON, F.J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S.V.; LATTIN, J.D.; ANDERSON, N.H.; CLINE, S.P.; AUMEN, N.G.; SEDELL, J.R.; LIENKAEMPER, G.W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K.W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v.15 p.133–302. 1986.

HÉRAULT, B.; BEAUCHÊNE, J.; MULLER, F.; WAGNER, F.; BARALOTO, C.; BLANC, L.; MARTIN, J.M. Modeling decay rates of dead wood in a neotropical forest. **Oecologia**, v.164(1), p.243–51. Mar. 2010.

HIGUCHI N.; HIGUCHI M. I. G.; LIMA A. J. N.; MENDES A. P. O.; FERREIRA H.; OLIVEIRA P. M, de. Inventário Florestal da Floresta Nacional de Pau-rosa (Maués) – foz do Paraoni. PRONEX Manejo Florestal Sustentável na Amazônia, FAPEAM e CNPq, 97p, Manaus – AM. 2009.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. 466p.

HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon : a comparison of estimates. **Global Change Biology**, v.7, p.731-746, 2001.

IBAMA, 2008. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>> acesso em: 16.01.2013.

IBGE, 2013. Biomas do Brasil. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/biomas>> acesso em: 25.04.2013.

IPCC. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2003.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAIISHI, T.; et al. (Ed.); **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. v. 177. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2003.

IPCC. **Agriculture, Forestry and Other Land Use. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v.4. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. EGGELSTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.); **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2006.

IWASHITA, D. K., LITTON, C. M., & GIARDINA, C. P. Forest Ecology and Management Coarse woody debris carbon storage across a mean annual temperature gradient in tropical montane wet forest. **Forest Ecology and Management**, v.291, p.336–343. Jan. 2013.

JANISCH, J. E.; HARMON, M. E. Successional changes in live and dead wood carbon stores: implications for net ecosystem productivity. **Tree physiology**, v. 22, n. 2-3, p. 77–89, Jan. 2002.

- KNAPP, E. E.; KEELEY, J. E.; BALLENGER, E. A.; BRENNAN, T. J. Fuel reduction and coarse woody debris dynamics with early season and late season prescribed fire in a Sierra Nevada mixed conifer forest. **Forest Ecology and Management**, v.208(1-3), p.383–397.jan. 2005.
- KOCK, Z.; CORRÊA, M.C. Araucária: a floresta do Brasil meridional. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002.
- KÖHL, M.; STÜMER, W.; KENTER, B.; RIEDEL, T. Effect of the estimation of forest management and decay of dead woody material on the reliability of carbon stock and carbon stock changes—A simulation study. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 229–236, 2008.
- LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. *In*: Geografia do Brasil : Região Sul. v. 2. Rio de Janeiro : IBGE. 1990.
- LU, D. The Potential and Challenge of Remote Sensing-based Biomass Estimation. *International Journal of Remote Sensing*, v.27, p.1297-1328. 2006.
- LUCCAS, F. S. Estoques de Necromassa em um Cerrado *sensu stricto* em uma Floresta Ombrófila Densa Montana no Estado de São Paulo. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2011.
- MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: José Olympio. 1968.
- MAAS, G.C.B. **Compartimentação do estoque de carbono em floresta ombrófila mista**. 2015 (não publicado). 169p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015.
- MAGNUSSEN, S.; REED, D. **Modelling for estimation and monitoring**. Knowledge Reference for National Forest Assessments: FAO-IUFRO, 2004.
- MARTINELLI, L.A.; MOREIRA, M.Z.; BROWN, I.F.; VICTORIA, R.L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. Seminário Emissão X Sequestro de CO₂ uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro. **Anais..** Rio de Janeiro: CURD, 1994, p.197-221.
- MARTINS, S.V. 2009. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Editora UFV, Viçosa.
- MAZZA, C. A. da S.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, J. E. SIG Aplicado à Caracterização Ambiental de uma Unidade de Conservação Floresta Nacional de Irati, Paraná. *In*: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21, INPE, p. 2251-2258. abril 2005
- MCKENZIE, N.; RYAN, P.; FOGARTY, P.; WOOD, J. **Sampling , Measurement and Analytical Protocols for Carbon Estimation in Soil , Litter and Coarse Woody Debris**. national carbon accounting system technical report no.14. Set. 2000.

MIEHS, A.; YORK, A.; TOLHURST, K.; DI, J.; BELL, T. Sampling downed coarse woody debris in fire-prone eucalypt woodlands. *Forest Ecology and Management*, Victória, Austrália, v.259, p.440–445. Out. 2010.

MMA. 2010. Mata atlântica: manual de adequação ambiental. Brasília, DF. SBF, 96p.

MMA 2000. Avaliação de ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e campos sulinos. Brasília, DF. SBF, 40p.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbono como serviço ambiental prestrado por um fragmento de floresta ombrófila mista montana localizada no sul do estado do Paraná.** 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MORELLI, S.; PALETTO, A.; TOSI, V. Il legno morto dei boschi: indagine sulla densità basale del legno di alcune specie del Trentino. *Foresta*, v.4 (4), p.395-406. 2007

MOTTA, R.; BERRETTI, R.; LINGUA, E.; PIUSSI, P. Coarse woody debris, forest structure and regeneration in the Valbona Forest Reserve, Paneveggio, Italian Alps. **Forest Ecology and Management**, v.235(1-3), p.155–163. Ago.2006.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities, v.403, p.853–858. Fev. 2000.

OBERLE, B.; DUNHAM, K.; MILO, A. M.; WALTON, M.; YOUNG, D.F.; ZANNE, A.E. Progressive, idiosyncratic changes in wood hardness during decay: Implications for dead wood inventory and cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 323, p. 1–9. Jul.2014.

PALACE M., KELLER M., HURTT G., FROLKING S. A Review of Above Ground Necromass in Tropical Forests, **Tropical Forests**, Department of Geography of Maryland. p.215-252. 2012.

PALACE, M.; KELLER, M.; SILVA, H. Necromass production: Studies in undisturbed and logged Amazon forests. **Ecological Applications**, v.18(4), p.873–884. 2008.

PALACE, M.; KELLER M.; ASNER G.P.; SILVA J.N.M.; PASSOS C. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 238, 309-318. 2007.

PASHER, J.; KING, D. J. Mapping dead wood distribution in a temperate hardwood forest using high resolution airborne imagery. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1536–1548, 2009.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal.** Curitiba: UFPR, 1997. v.1, 316p.

PIETRO-SOUZA, W.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; FARIAS, L. DO N.; SILVA, N. DE M.; BARBOSA, D. S. Produção de necromassa e de serapilheira em área de preservação permanente pertencente ao rio são lourenço, campo verde – mt. **Engenharia ambiental**, v. 9, n. 1, p. 47–66, 2012.

POLO, J. A.; HALLGREN, S. W.; LESLIE, D. M. Effect of long-term understory prescribed burning on standing and down dead woody material in dry upland oak forests. **Forest Ecology and Management**, v.291, p.128–135. Jan. 2013.

POTTKER, G.S. **Distribuição espacial de espécies da floresta ombrofila mista na flona de Irati, Paraná**. 2012. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR. 2012.

RAVINDRANATH, N. H.; OSTWALD, M. **Carbon Inventory Methods**. Springer, 2008.

RIBEIRO, A.; PÉLICO NETTO, S.; STALL, D.; LEÃO, R. Á.; NASCIMENTO, F. A. F. DO. Proposta metodológica para realização de um inventário florestal de necromassa : um estudo de caso Proposed methodology for implementation of coarse woody debris forest inventory : a case study. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 121–127, 2012.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. **In**: S. M.Sano, S. P. Almeida (eds.). Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA. p.89 –168. 1998.

RICE, A. H.; PYLE, E. H.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L.; PALACE, M., KELLER, M.; CAMARGO, P.B. de; PORTILHO, K.; MARQUES, D.F.; WOFYSY, S. C. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. **Ecological Applications**, v.14 (4 SUPPL.), 2004.

RITTER, T. & SABOROWSKI, J. Point transect sampling of deadwood: A comparison with well-established sampling techniques for the estimation of volume and carbon storage in managed forests. **European Journal of Forest Research**, v.131, p.1845–1856. Jun. 2012.

RODE, R. **Avaliação florística e estrutural de um floresta ombrófila mista e de uma vegetação arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos**. 2008. 159 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2008.

ROMARIZ, D.A. **Aspectos da vegetação do Brasil**. São Paulo, Edição da Autora, 1996, 60p.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais**. 1ª ed. Belém, Brasil. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/ Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). P.81. 2009.

SANQUETTA, C. R.; PAULA, A.; CORTE, D.; PINTO, C.; ANTÔNIO, L.; MELO, N. Biomass and carbon in non-woody vegetation , dead wood and litter in iguaçu national park, p.185–194, 2014.

SANQUETA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CÔRTE, A.P.D.; FERNANDES, L.A.V.; SIQUEIRA, J.D.P.; 2009. Inventários Florestais: Planejamento e Execução. 2ª Edição – Revista e Ampliada. Curitiba Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Ed.); **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, p.77–93. 2004.

SANQUETTA, C. R. Os números atuais da cobertura florestal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2003. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/os_numeros_atuais_da_cobertura_florestal_do_parana.html> Acesso em: 18 fev. 2015.

SCHLESINGER, W. H.; LICHTER, J. Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. **Nature**, v. 411, n. 6836, p. 466–469, 2001.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Manual de Campo. Procedimentos para Coleta de Dados Biofísicos e Socioambientais**. 2014.

SANQUETTA, C. R. Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal. Curitiba: FUPEF S'erie Did'atica n. 8, 1996.

SILVA, R.M. da, Maria; COSTA, J.M.N.; RUIVO, M.L.P.; LÔLA DA COSTA, A.C.; ALMEIDA, S.S. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna. **Acta Amazônica**, v.39(3), p.573–582, 2009.

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 – uenf, Campos dos Goytacazes, RJ. 2013.

SMITH, J. E.; HEATH, L. S.; WOODBURY, P. B. How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. **Journal of Forestry**, p.25–31. Ago. 2004.

SWEENEY, O. F. M.; MARTIN, R. D.; IRWIN, S.; KELLY, T.C.; O'HALLORAN, J.; WILSON, M.W.; McEVOY, P.M. A lack of large-diameter logs and snags characterises dead wood patterns in Irish forests. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 10, p. 2056–2064, 2010.

TAYLOR, P., TAKAHASHI, M., ISHIZUKA, S., UGAWA, S., SAKAI, Y., & SAKAI, H. Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils. **Soil Science and Plant Nutrition**. Japão, p.37–41. Dez. 2011.

TEIXEIRA, L.M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus**. 2003. 61p. Dissertação - (Mestrado em Silvicultura Tropical) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2003.

VAN WAGNER, C. E. The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. **Forest Science**, v. 14, n. 1, p. 20–26, 1968.

VEIGA, L. G. **Estoque de Madeira Morta ao Longo de um Gradiente Altitudinal de Mata Atlântica no Nordeste do Estado de São Paulo**. 2010. 70p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2010.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificacao da Vegetacao Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. IBGE, Brasilia, DF.1991.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINS, S. C.; VEIGA, L. G.; Scaranello, M. A.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B. DO; NETO, E. S.; SANTOS, F. A. M., JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. 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.

WARREN, W. G.; OLSEN, P. F. A Line Intersect Technique for Assessing Logging Waste. **Forest Science**, Society of American Foresters, v. 10, n. 3, p. 267–276, 1964.

WENDLING, J.L.G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para Árvores de *euterpe edulis* mart. plantadas a céu aberto**. 1998. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 1998.

WOLDENDORP, G.; KEENAN, R. J.; BARRY, S.; SPENCER, R. D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, v.198, p.133–148. Mar. 2004.

WOLDENDORP, G.; SPENCER, R. D.; KEENAN, R. J. **An Analysis of Sampling Methods for Coarse Woody Debris in Australian Forest Ecosystems**. v.6, 84 p.Nov. 2002.

WOODALL, C. W.; WALTERS, B. F.; OSWALT, S. N.; DOMKE, G. M.; TONEY, C., & GRAY, A. N. Biomass and carbon attributes of downed woody materials in forests of the United States. **Forest Ecology and Management**, v.305, p.48–59. Jun. 2013.

WOODALL, C. W.; RONDEUX, J.; VERKERK, P.J.; STÄHL G. Estimating Dead Wood During National Forest Inventories : A Review of Inventory Methodologies and Suggestions for Harmonization. **Environmental Management**, v.44, p.624–631. Ago. 2009.

WOODALL, C. W. & NAGEL, L. M. Coarse woody type : A new method for analyzing coarse woody debris and forest change. **Forest Ecology and Management**, v.227, p.115–121. Fev. 2006.

YANG, F.; LI, Y.; ZHOU, G.; WENIGMANN, K. O.; ZHANG, D.; WENIGMANN, M.; LIU, S.; ZHANG, Q. Dynamics of coarse woody debris and decomposition rates in an old-growth forest in lower tropical China. **Forest Ecology and Management**, v.259(8), p.1666–1672. Jan. 2010.

APÊNDICE

Apêndice 1. Espécies encontradas na forma de madeira morta caída e árvore morta em pé.

Nome Científico	Nome Vulgar	Família
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. <i>et al.</i>) Hieron. ex Niederl.	Vacum	Sapindaceae
<i>Allophylus petiolulatus</i> Radlk.	Vacum-de-folha-larga	Sapindaceae
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Araucária	Araucariaceae
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	Guabiroba	Myrtaceae
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Guaçatunga-branca	Salicaceae
<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	Guaçatunga-vermelha	Salicaceae
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Guaçatunga-preta	Salicaceae
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro	Meliaceae
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	Guatambu	Sapotaceae
<i>Cinnamodendron dinisii</i> Schwacke	Pimenteira	Canellaceae
<i>Cinnamomum sellowianum</i> (Nees & Mart.) Kosterm.	Canela-branca	Lauraceae
<i>Coussarea contracta</i> (Walp.) Müll.Arg.	Cinzeiro-preto	Rubiaceae
<i>Dalbergia brasiliensis</i> Vogel	Jacarandá	Fabaceae
<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Erva-mate	Aquifoliaceae
<i>Ilex theezans</i> Mart. ex Reissek	Caúna	Aquifoliaceae
<i>Laplacea fruticosa</i> (Schrad.) Kobuski	Santa-Rita	Theaceae
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	miguel-pintado	Sapindaceae
<i>Myrcia hebeptala</i> DC.	Caingá	Myrtaceae
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	guamirim-preto	Myrtaceae
<i>Myrciaria floribunda</i> (H.West ex Willd.) O.Berg	Cambuí	Myrtaceae
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	capororocão	Primulaceae (Myrsinaceae)
<i>Nectandra grandiflora</i> Nees	Canela-amarela	Lauraceae
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-imbuia	Lauraceae
<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	Sassafrás	Lauraceae
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	Imbuia	Lauraceae
<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme	Vassourão-branco	Asteraceae
<i>Prockia crucis</i> P.Browne ex L.	Cambroé	Salicaceae
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-bravo	Rosaceae
<i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	jasmim-verdadeiro	Rubiaceae
<i>Sloanea hirsuta</i> (Schott) Planch. ex Benth.	Sapopema	Elaeocarpaceae
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	Canela-raposa	Styracaceae
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Palmeira	Arecaceae
<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob.	Vassourão-preto	Asteraceae
<i>Vernonanthura petiolaris</i> (DC.) H. Rob.	Vassourão	Asteraceae

Apêndice 2. Volumes ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) de cada unidade amostral em cada método de amostragem

Unidades Amostrais	Método de Amostragem		
	AF 1	AF 2	LI
1	18,66	41,10	72,53
2	21,91	7,82	0,00
3	9,15	12,33	22,56
4	13,15	5,32	13,78
5	7,28	39,48	9,33
6	18,37	31,27	24,02
7	18,41	17,10	0,00
8	13,11	21,28	50,04
9	10,07	2,22	14,63
10	37,15	22,24	2,57
11	22,89	2,40	8,26
12	18,01	5,43	8,78
13	5,57	12,01	0,00
14	21,07	3,05	0,00
15	-	6,73	0,00
16	-	23,16	44,39
17	-	22,31	74,64
18	-	26,91	8,02
19	-	31,44	8,20
20	-	17,01	0,00
21	-	23,25	11,41
22	-	10,74	0,00
23	-	6,52	0,00
24	-	13,26	3,15
25	-	10,48	13,74
26	-	4,23	21,33
27	-	15,41	22,93
28	-	52,56	5,26
29	-	41,65	4,98
30	-	62,22	22,41
31	-	20,86	67,82
32	-	13,42	3,55
33	-	30,24	0,00
34	-	16,09	14,35
35	-	28,54	0,00
36	-	8,98	2,47
37	-	17,21	2,47
38	-	3,07	5,55
39	-	0,00	0,00
40	-	14,23	0,00

41	-	35,32	20,45
42	-	14,63	0,00
43	-	-	2,99
44	-	-	9,30
45	-	-	39,48
46	-	-	32,49
47	-	-	40,47
48	-	-	27,67
49	-	-	13,77
50	-	-	7,26
51	-	-	45,58
52	-	-	48,91
53	-	-	3,26
54	-	-	13,63
55	-	-	39,48
56	-	-	18,01
57	-	-	10,37
58	-	-	0,00
59	-	-	36,76
60	-	-	25,60
61	-	-	2,47
62	-	-	0,00
63	-	-	0,00
64	-	-	7,30
65	-	-	0,00
66	-	-	48,28
67	-	-	47,42
68	-	-	27,79
69	-	-	5,55
70	-	-	4,17
Média	16,77	18,89	16,31

AF 1: área fixa de 2500 m² (50 m x 50 m) AF 2: área fixa de 500 m² (10 m x 50 m)

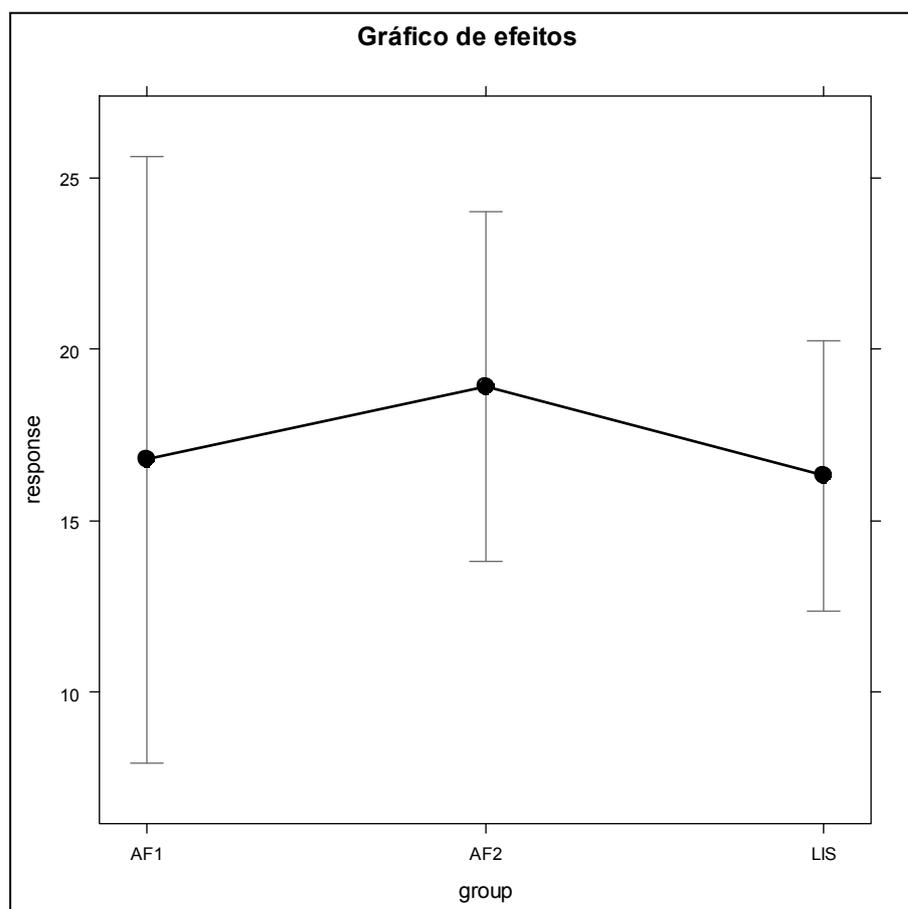
Apêndice 3. Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para o volume total médio estimado para os diferentes métodos de amostragem.

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
Kruskal-Wallis qui-quadrado	4,89
Graus de Liberdade	2
P-valor	0,0869

<i>Fatores</i>	<i>Limite Inferior</i>	<i>Efeito</i>	<i>Limite Superior</i>
AF1	7,94	16,77	25,60
AF2	13,79	18,89	23,99
LIS	12,36	16,31	20,26

AF1: área fixa (2500 m²); AF2: área fixa (500 m²); LI: Linha interceptadora.

Apêndice 4. Gráfico de efeitos do teste de Kruskal-Wallis para o volume total médio nos diferentes métodos testados.



Apêndice 5. Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para o volume médio com diâmetro menor que 25 cm estimado para os diferentes métodos de amostragem de madeira morta caída.

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
Kruskal-Wallis qui-quadrado	7,89
Graus de Liberdade	2
P-valor	0,0193

<i>Comparações Múltiplas</i>			
Fatores Comparados	Diferença Observada	Diferença Crítica	Diferença
AF 1 - AF 2	1,19	26,98	Não
AF 1 - LI	19,21	25,59	Não
AF 2 - LI	18,02	17,06	Sim

Apêndice 6. Pós-teste de comparações múltiplas de Dunn para o volume médio com diâmetro menor que 25 cm estimado para os diferentes métodos de amostragem de madeira morta caída.

Comparação	Diferença Observada	na;nb	EP	Q _{calc}	Q _{0,05;3}	Diferença
AF 1 - AF 2	1,19	14;42	11,27	0,11	< 2,39	Não
AF 1 - LI	19,21	14;70	10,69	1,80	< 2,39	Não
AF 2 - LI	18,02	42;70	7,13	2,53	> 2,3	Sim

Apêndice 7. Teste t de comparação de volume médio de árvores mortas em pé estimados em dois tamanhos de unidades amostrais de área fixa.

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES

DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
T	0,709134236
Graus de Liberdade	54
P-valor	0,481291765
Média no grupo 1:	5,114513198
Média no grupo 2:	3,667194502
Média 1 - Média 2:	1,447318696
Desvio padrão amostral do grupo 1:	4,990985858
Desvio padrão amostral do grupo 2:	7,050398123
Desvio padrão agrupado:	6,613484932
Hipótese Alternativa: Diferente de	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	5,539208676

Apêndice 8. Teste t de comparação de volume médio na classe de decomposição 1 (D1) de árvores mortas em pé estimados em dois tamanhos de unidades amostrais de área fixa.

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES
DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
Graus de Liberdade	54
P-valor	0,817915766
Média no grupo 1:	0,653940147
Média no grupo 2:	0,92889859
Desvio padrão amostral do grupo 1:	2,026923763
Desvio padrão amostral do grupo 2:	4,269793379
Desvio padrão agrupado:	3,851132625
Hipótese Alternativa: Diferente de	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	2,10781118

Apêndice 9. Teste t de comparação de volume médio na classe de decomposição 2 (D2) de árvores mortas em pé estimados em dois tamanhos de unidades amostrais de área fixa.

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES
DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
T	1,626291035
Graus de Liberdade	54
P-valor	0,109710123
Média no grupo 1:	2,210792255
Média no grupo 2:	0,70423331
Média 1 - Média 2:	1,506558945
Desvio padrão amostral do grupo 1:	4,268169529
Desvio padrão amostral do grupo 2:	2,468141129
Desvio padrão agrupado:	3,00180523
Hipótese Alternativa: Diferente de	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	3,363833418

Apêndice 10. Teste T de comparação de volume médio na classe de decomposição 3 (D3) de árvores mortas em pé estimados em dois tamanhos de unidades amostrais de área fixa.

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES

DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
T	0,228193458
Graus de Liberdade	54
P-valor	0,820357753
Média no grupo 1:	1,934586274
Média no grupo 2:	1,691243267
Média 1 - Média 2:	0,243343007
Desvio padrão amostral do grupo 1:	2,935089275
Desvio padrão amostral do grupo 2:	3,604849412
Desvio padrão agrupado:	3,455495484
Hipótese Alternativa: Diferente de	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	2,381324342

Apêndice 11. Teste T de comparação de volume médio na classe de decomposição 4 (D4) de árvores mortas em pé estimados em dois tamanhos de unidades de área fixa.

TESTE T - AMOSTRAS INDEPENDENTES

DADOS DO PROCESSO

<i>Informação</i>	<i>Valor</i>
Graus de Liberdade	54
P-valor	0,956740026
Média no grupo 1:	0,315194522
Média no grupo 2:	0,342819335
Desvio padrão amostral do grupo 1:	0,661709284
Desvio padrão amostral do grupo 2:	1,847860342
Desvio padrão agrupado:	1,642549232
Hipótese Alternativa: Diferente de	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	0,988651902