



BASE METODOLÓGICA E MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DE
ESTOQUES DE CARBONO EM PROJETOS AFOLU, V1.0
PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO
TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.



**BASE METODOLÓGICA E MÉTODOS PARA
ESTIMATIVA DE ESTOQUES
DE CARBONO EM PROJETOS AFOLU
VERSÃO 1.0
PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO**

TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.



IDENTIFICAÇÃO

DOCUMENTO	Base Metodológica e Métodos para Estimativa dos Estoques de Carbono em Projetos AFOLU
VERSÃO	1.0
PARTE INTEGRANTE	Programa de Certificação
STATUS	Em Consulta Pública
DATA DA PUBLICAÇÃO	01/04/2025
PADRÃO	Tero Carbon Avaliações e Certificações S.A. (contato@terocarbon.com)
PROGRAMA	Soluções Baseadas na Natureza (NBS)
SETOR	Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra (AFOLU)
TIPO	Todos

LISTA DE ACRÔNIMOS

AGB	Biomassa acima do solo, em Inglês, <i>Above-Ground Biomass</i>
AFOLU	Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra, em Inglês, <i>Agriculture, Forestry, and Other Land Uses</i>
ANOVA	Análise de Variância, em Inglês, <i>Analysis of Variance</i>
BGB	Biomassa abaixo do solo, em Inglês, <i>Below-Ground Biomass</i>
CAP	Circunferência à Altura do Peito
DAB	Diâmetro da Base
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DCP	Documento de Concepção de Projeto, em Inglês, <i>Project Design Document – PDD</i>
EVI	Índice de Vegetação Melhorado, em Inglês, <i>Enhanced Vegetation Index</i>
IF	Inventário Florestal
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em Inglês, <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MRV	Mensuração, Relato e Verificação, em Inglês, <i>Measurement, Reporting, and Verification</i>
NBS	Soluções Baseadas na Natureza, em Inglês, <i>Nature-based Solutions</i>
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, em Inglês, <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	Infravermelho Próximo, em Inglês, <i>Near-Infrared</i>
REDD+	Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal, incluindo a conservação e aumento dos estoques de carbono, em Inglês, <i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, including the conservation and enhancement of carbon stocks</i>



SAR	Radar de Abertura Sintética, em Inglês, <i>Synthetic Aperture Radar</i>
VVB	Organismo de Validação/Verificação, em Inglês, <i>Validation/Verification Body</i>



LISTA DE PROGRAMAS

Programa de Certificação
Programa de Metodologias
Programa de Ativos



LISTA DE DOCUMENTOS AUXILIARES

NOME	PROGRAMA
Definições	Todos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. ESTIMATIVA DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO: INTEGRAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E SENSORIAMENTO REMOTO (TIER-3)	10
2.1. Diretrizes Gerais do Tier 3	11
2.2. Coleta de Dados de Campo	11
2.2.1. Definição das Unidades Amostrais	11
2.2.2. Parâmetros Mensurados	12
2.2.3. Cálculo da Biomassa	12
2.3. Integração com Sensoriamento Remoto	13
2.3.1. Aquisição e Processamento de Imagens	13
2.3.2. Calibração dos Modelos	13
2.3.3. Extrapolação e Mapeamento	13
2.4. Validação e Verificação	14
2.5. Requisitos da Documentação	14
3. ESTIMATIVA DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO: MÉTODOS BASEADOS EXCLUSIVAMENTE EM SENSORIAMENTO REMOTO (TIER-2)	15
3.1. Diretrizes Gerais para o Uso de Sensoriamento Remoto	15
3.2. Fonte de Dados e Tecnologias	15
3.3. Construção de Modelos Precisos	16
3.4. Homologação dos Softwares	16
3.5. Validação e Verificação	17
3.6. Transparência e Acessibilidade	17
4. BASE METODOLÓGICA: COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA	17
5. BASE METODOLÓGICA: QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA	19
5.1. Método Direto (Destrutivo)	19
5.2. Método Indireto (Não Destrutivo)	19
5.2.1. Equações Alométricas	20
5.3. Erros e Incertezas na Estimativa de Biomassa	21
5.4. Fundamentação Estatística: Amostragem e Incerteza	21
5.4.1. Lei dos Grandes Números	21
5.4.2. Teoria do Limite Central	22
6. BASE METODOLÓGICA: VARIÁVEIS DE INTERESSE	22
7. BASE METODOLÓGICA: FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS	25
7.1. Estratificação	27
7.1.1. Estratificação pela Variância	27
7.1.2. Estratificação por Idade ou Classe	27

7.1.3. Validação Estatística da Estratificação	28
7.1.4. Estatística Estratificada	28
8. BASE METODOLÓGICA: EXTRAPOLAÇÃO (SCALE UP)	29
8.1. Georreferenciamento: A Base para a Extrapolação	30
8.2. Integração de Dados de Campo e Sensoriamento Remoto	30
8.3. Do Local ao Regional: Expandindo as Estimativas	31
9. ALOMETRIA DE BIOMASSA E CARBONO: FLORESTA TROPICAL	31
9.1. Método Destrutivo: Base para Equações Alométricas	32
9.2. Equações Alométricas para a Amazônia: ZF2 (INPA)	33
9.3. Fator de Correção (fc): Adaptação para Outras Regiões	34
9.4. Conversão de Biomassa para Carbono	34
9.5. Nota aos Desenvolvedores	35
9.6. Confiabilidade dos Modelos	35
10. ALOMETRIA DE BIOMASSA E CARBONO: ÁRVORE DE CAFÉ	35
10.1. Método Destrutivo: Base para Equações Alométricas	36
10.2. Equações Alométricas para a Região de Monte Carmelo - MG	37
10.3. Conversão de Biomassa para Carbono	37
10.4. Nota aos Desenvolvedores	38
10.5. Considerações Finais	38
11. LITERATURA CONSULTADA E BASE TEÓRICA	39

1. INTRODUÇÃO

A **Base Metodológica e Métodos para Estimativa dos Estoques de Carbono em Projetos AFOLU** foi estruturada para garantir a integridade ambiental, a transparência e a credibilidade dos créditos e estoques de carbono certificados. Em projetos AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra), a precisão na estimativa dos estoques de biomassa e carbono é um elemento central para assegurar a solidez dos ativos ambientais e fortalecer a confiança do mercado. A correta Mensuração, Relato e Verificação (MRV) dos estoques de carbono é essencial para garantir a rastreabilidade dos resultados e o alinhamento com as melhores práticas internacionais, como as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

O IPCC define três níveis metodológicos — conhecidos como **Tiers** — para a quantificação de carbono, variando em complexidade, custo e precisão:

- **Tier 1** – Utiliza fatores de emissão padrão e dados genéricos disponíveis em literatura científica, sem necessidade de dados locais. É o método mais simples e acessível, mas apresenta maior incerteza nas estimativas.
- **Tier 2** – Adota fatores de emissão específicos para a região ou projeto e incorpora dados locais para melhorar a acurácia dos cálculos.
- **Tier 3** – Emprega modelos avançados, séries temporais de dados, inventários florestais detalhados e sistemas de monitoramento dinâmicos, combinando dados de campo com análises geoespaciais.

A **Tero Carbon** adota o **Tier 3** como **padrão para certificação** de ativos ambientais, assegurando o mais alto nível de precisão e integridade dos créditos de carbono. Esse nível requer a integração de dados de campo com técnicas avançadas de geoprocessamento — como imagens de satélite, LiDAR e outras tecnologias — para extrapolar resultados e monitorar estoques ao longo do tempo.

No entanto, com o compromisso de ampliar o acesso de pequenos projetos ao mercado global de carbono, a **Tero Carbon** também aceita métodos que utilizam exclusivamente **geoprocessamento**, desde que os softwares empregados estejam devidamente **calibrados com dados de campo** e homologados pela Tero Carbon. Esta abordagem, embora simplificada em relação ao Tier 3 completo, permite que projetos de menor escala tenham acesso ao mercado sem comprometer a integridade dos ativos.

Os desenvolvedores que optarem por modelos baseados em geoprocessamento deverão:

- Submeter seus softwares ao processo de **homologação** da Tero Carbon.
- Demonstrar os métodos de **calibração** e os **compartimentos de biomassa** considerados.
- Apresentar medidas de **incerteza** (ex.: desvio padrão e intervalo de confiança).
- Fornecer um documento técnico (em **português e inglês**) com detalhes gerais do método, garantindo transparência, mas sem expor informações proprietárias sensíveis.

Durante o processo de **validação**, a Tero Carbon aceitará os resultados gerados pelos modelos submetidos. Contudo, na etapa de **verificação**, será realizada uma auditoria presencial com coletas de campo para confrontar os dados estimados e assegurar a conformidade dos resultados apresentados.

Este guia metodológico orienta desenvolvedores de projetos, consultores, verificadores independentes e demais partes interessadas na quantificação de estoques de carbono em projetos AFOLU. Ao estabelecer diretrizes claras e alinhadas com os **Tiers do IPCC**, a Tero Carbon fortalece a transparência, a rastreabilidade e a integridade dos créditos certificados, consolidando sua missão de ampliar o acesso de projetos de diferentes escalas ao mercado global de carbono.

2. ESTIMATIVA DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO: INTEGRAÇÃO DE DADOS DE CAMPO E SENSORIAMENTO REMOTO (TIER-3)

O método de **Tier 3**, conforme estabelecido pelas diretrizes do **IPCC (2006)**, representa o mais alto nível de precisão para estimativas de biomassa e carbono, sendo caracterizado pelo uso de **modelos avançados, séries temporais de dados** e a integração de dados coletados em campo com técnicas de **sensoriamento remoto**. A **Tero Carbon** adota o Tier 3 como padrão para a certificação de ativos ambientais devido à sua robustez metodológica e capacidade de refletir a dinâmica real dos estoques de carbono em projetos AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra).

Este capítulo apresenta as diretrizes para a aplicação do Tier 3 no âmbito do Programa de Certificação – Soluções Baseadas na Natureza (NBS), estabelecendo

requisitos mínimos para a coleta de dados, processamento, análise e reporte de informações.

2.1. Diretrizes Gerais do Tier 3

A metodologia Tier 3 exige a combinação de diferentes fontes de dados e técnicas avançadas para garantir maior precisão e acurácia nas estimativas. O processo inclui:

- **Coleta de dados de campo** por meio de diagnósticos quali- quantitativos (inventários florestais ou agrícolas), considerando aspectos como biomassa aérea, subterrânea (raízes) e de liteira (quando aplicável).
- **Georreferenciamento** das unidades e pontos amostrais, com precisão mínima de 10 m (dez metros), assegurando a correta correspondência com imagens de sensoriamento remoto.
- **Sensoriamento remoto**, utilizando imagens de satélite, LiDAR, drones ou radar de abertura sintética (**SAR**), ampliando a escala e a frequência do monitoramento.
- **Modelos estatísticos e geoespaciais** para extrapolação dos dados de campo, promovendo análises espacializadas e redução das incertezas.

Essa integração permite monitorar a variação espacial e temporal dos estoques de carbono, aumentando a acurácia e reduzindo a incerteza das estimativas.

2.2. Coleta de Dados de Campo

A etapa de campo é essencial para a calibração dos modelos de sensoriamento remoto e deve seguir protocolos rigorosos.

2.2.1. Definição das Unidades Amostrais

As unidades amostrais (de área fixa ou não) devem ser alocadas aleatoriamente e/ou sistematicamente para capturar a variabilidade da área estudada. É recomendável:

- Instalar **unidades amostrais permanentes** e/ou temporárias, devidamente georreferenciadas com precisão (5 a 10 m de erro).

- Definir o número de unidades amostrais com base na heterogeneidade da área e na densidade de biomassa:
 - Para populações com distribuição normal, mínimo de três (3) unidades amostrais (por estrato);
 - Para populações que não apresentam distribuição normal, mínimo de trinta (30) unidades amostrais (por estrato);

Importante: quanto maior for a amostragem (maior o número de unidades amostrais) menor tende a ser o erro amostral (precisão).

2.2.2. Parâmetros Mensurados

Durante a coleta de dados, devem ser registrados parâmetros fundamentais para estimativas robustas de biomassa e carbono:

- **Diâmetros:**
 - Diâmetro à 1,3m do chão (DAP), quando aplicável;
 - Diâmetro da base da planta (DAB), quando aplicável;
 - Diâmetro de copa (*DCopa*), quando aplicável.
- **Alturas:**
 - Total, da base da planta até o ponto mais alto da mesma;
 - Do fuste/tronco, da base até o início da copa (quando aplicável).
- **Outros Parâmetros:**
 - Espécie botânica (ou grupo funcional, quando aplicável);
 - Densidade da madeira (quando aplicável).

2.2.3. Cálculo da Biomassa

Os dados coletados em campo alimentam equações alométricas para estimativas de biomassa. Essas equações podem ser:

- Regionais ou específicas do projeto, considerando fatores ambientais locais;
- Aplicadas para diferentes compartimentos: biomassa aérea, biomassa subterrânea, liteira, entre outros.

2.3. Integração com Sensoriamento Remoto

A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto amplia a cobertura espacial e temporal das estimativas, permitindo mapeamentos detalhados e atualizações periódicas.

2.3.1. Aquisição e Processamento de Imagens

Para garantir a qualidade dos dados, é essencial realizar um processamento rigoroso das imagens. Os passos incluem:

- Escolha de **sensores adequados**, como LiDAR para dados estruturais, imagens multiespectrais (**Sentinel-2, Landsat 8**) e radar (**Sentinel-1**) para áreas de cobertura densa.
- Aplicação de **correções geométricas e radiométricas** para alinhamento espacial e padronização dos dados.

2.3.2. Calibração dos Modelos

A calibração dos modelos preditivos é um passo crítico para garantir a precisão das estimativas. O processo envolve:

- Relacionar variáveis derivadas do sensoriamento remoto (ex.: NDVI, altura da copa) com os dados de campo;
- Aplicar técnicas estatísticas e de *machine learning* (ex.: regressão múltipla, *random forest*) para construir modelos robustos;
- Ter acesso a dados de biomassa (fresca e/ou secada) reais, determinados por métodos destrutivos ou estimados por meio de equações específicas.

2.3.3. Extrapolação e Mapeamento

Após a calibração, os modelos são aplicados em toda a área do projeto para gerar mapas contínuos de biomassa e carbono. As etapas incluem:

- Criação de mapas temáticos em escalas compatíveis com o escopo do projeto.

- Cálculo da incerteza e dos intervalos de confiança para todas as estimativas.

2.4. Validação e Verificação

A qualidade dos resultados deve ser assegurada por meio de processos rigorosos de validação e verificação.

- A **validação interna** deve ser realizada pelo Desenvolvedor antes da submissão dos dados para certificação, utilizando parcelas independentes das usadas na calibração.
- A **verificação externa** inclui visitas de campo realizadas por auditores da **Tero Carbon** (Organismo de Verificação - VVB), que coletam dados para comparar com os resultados do modelo.
- Caso as incertezas ultrapassem os limites permitidos, ajustes metodológicos deverão ser aplicados.

2.5. Requisitos da Documentação

Para garantir a rastreabilidade e a transparência do processo, o desenvolvedor deve apresentar:

- Relatório técnico detalhado descrevendo todas as etapas do método aplicado;
- Detalhamento do processo de calibração e validação;
- Especificação dos compartimentos de biomassa considerados;
- Parâmetros de incerteza (ex.: desvio padrão, intervalo de confiança);
- Documento de Concepção do Projeto - DCP (PT/EN) explicando a metodologia em linguagem acessível, assegurando transparência sem revelar informações sensíveis.

3. ESTIMATIVA DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO: MÉTODOS BASEADOS EXCLUSIVAMENTE EM SENSORIAMENTO REMOTO (TIER-2)

A utilização de tecnologias de **sensoriamento remoto** para a estimativa de biomassa e carbono representa uma alternativa prática e escalável para projetos que enfrentam limitações de recursos para coletas de campo extensivas. Esses métodos permitem a análise de grandes áreas geográficas, otimizando o tempo e os custos operacionais. Contudo, devido à ausência de dados de campo no processo inicial, é essencial que os modelos empregados sejam calibrados com base em dados existentes e submetidos a rigorosos processos de homologação.

A **Tero Carbon** adota o **Tier 3** como padrão para certificação de ativos ambientais, porém, visando democratizar o acesso ao mercado de carbono e apoiar pequenos projetos, também reconhece métodos baseados exclusivamente em sensoriamento remoto, desde que homologados e com processos claros de calibração e validação.

3.1. Diretrizes Gerais para o Uso de Sensoriamento Remoto

Os métodos que utilizam apenas sensoriamento remoto devem assegurar a robustez técnica das estimativas, minimizando incertezas e promovendo a transparência nos resultados. As diretrizes básicas incluem:

- Utilização de imagens de alta resolução espacial e temporal;
- Calibração dos modelos preditivos com dados de campo existentes ou dados secundários confiáveis;
- Estabelecimento de métricas de incerteza, como desvio padrão e intervalo de confiança;
- Possibilidade de auditoria e verificação dos resultados por entidades independentes.

3.2. Fonte de Dados e Tecnologias

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitam a extração de informações espaciais e temporais sobre a vegetação, permitindo estimar os

estoques de biomassa com base em parâmetros observáveis nas imagens. Entre os principais insumos estão:

- **Satélites Ópticos (ex: Sentinel-2, Landsat):** Úteis para monitorar vegetação (NDVI, EVI) em florestas e culturas;
- **Lidar:** Tecnologia que fornece informações tridimensionais da estrutura da vegetação, possibilitando uma avaliação mais detalhada da biomassa;
- **Outras Tecnologias de Sensoriamento Remoto:** Emprego de sensores hiperespectrais, radar e drones, que podem complementar a análise dos dados;
- **Dados Auxiliares:** Integração com informações edafoclimáticas (solo, clima) para modelos robustos.

3.3. Construção de Modelos Precisos

A construção de modelos precisos requer um processo de calibração rigoroso. O desenvolvedor deve:

- Utilizar bases de dados públicas ou privadas contendo informações de biomassa obtidas por inventários florestais ou agrícolas.
- Aplicar técnicas de *machine learning* (ex.: *Random Forest*, Redes Neurais) para identificar padrões entre os dados de sensoriamento remoto e os estoques de biomassa.
- Definir o compartimento de biomassa avaliado (ex.: biomassa aérea viva, subterrânea, liteira) e garantir a coerência metodológica.

Os modelos devem apresentar indicadores de desempenho (ex.: R^2 , RMSE) e incluir medidas de incerteza.

3.4. Homologação dos Softwares

Todo *software* utilizado para estimativas deve ser submetido ao processo de **homologação** da **Tero Carbon**. O processo inclui:

- Apresentação de documentação técnica detalhada;
- Demonstração do processo de calibração e validação dos modelos;

- Análise de incertezas e metodologias aplicadas;
- Testes de consistência realizados por auditores técnicos.

Somente após a homologação o *software* poderá ser utilizado em projetos certificados.

3.5. Validação e Verificação

Apesar da ausência de coleta de dados em campo no processo inicial, a verificação in loco continua obrigatória durante a fase de certificação. O auditor externo contratado pela Tero Carbon, **(Organismo de Verificação —VVB)** realizará visitas para:

- Coletar amostras em campo e comparar com as estimativas do *software*.
- Avaliar se o desvio entre os dados de campo e os estimados está dentro dos limites aceitáveis.
- Reajustar os modelos, se necessário, em caso de discrepâncias significativas.

3.6. Transparência e Acessibilidade

Os desenvolvedores dos modelos e softwares devem disponibilizar um documento público (PT/EN) explicando o método empregado, sem revelar detalhes sensíveis, mas garantindo clareza sobre o processo de estimativa e os princípios que fundamentam o cálculo do estoque de carbono.

Essa transparência fortalece a integridade dos ativos ambientais certificados e amplia a aceitação dos créditos de carbono no mercado internacional.

4.BASE METODOLÓGICA: COMPARTIMENTOS DA BIOMASSA

A Biomassa vegetal é um dos temas mais discutidos nos últimos anos, principalmente relacionado com o seu papel sobre a mudança climática global.

Segundo o IPCC, as florestas, agricultura e outros sistemas, que podem absorver e armazenar carbono, são chamados de “sumidouros”.

A biomassa ou fito massa é definida como a quantidade, expressa em unidades de massa, do conteúdo de material vegetal por unidade de área em uma floresta ou plantio (Araújo *et al.*, 1999). Sendo assim, estimativas de biomassa vegetal são informações imprescindíveis nas questões ligadas às áreas de mudança climática, para estimar o balanço de carbono da interação biosfera-atmosfera (Higuchi, 2001).

Usando os teores de água e carbono, por exemplo, a biomassa das culturas e das florestas podem ser transformadas em carbono da vegetação, que é a principal variável considerada nos projetos ligados à mudança climática global. Entretanto, pouco se sabe sobre a importância da biomassa nas culturas agrícolas, especialmente do café e seu papel nos serviços ecossistêmicos.

A biomassa é definida como o peso da árvore, expresso em quilos (kg) para medições individuais ou em toneladas (t) quando se refere a estoques agregados (IPCC, 2006). Em estudos de larga escala, como estimativas em nível regional ou nacional — por exemplo, em áreas tropicais ou em toda a Amazônia — os estoques de biomassa são frequentemente apresentados em unidades abreviadas, conforme o padrão do IPCC (2006):

- **Megagrama (Mg)** ou **Megatonelada (Mt)** para milhões de toneladas;
- **Gigagrama (Gg)** ou **Gigatonelada (Gt)** para bilhões de toneladas;
- **Teragrama (Tg)** ou **Teratonelada (Tt)** para trilhões de toneladas;
- **Petagrama (Pg)** ou **Petatonelada (Pt)** para quatrilhões de toneladas.

De acordo com o *Guia de Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa* do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), a biomassa florestal é classificada em três compartimentos principais:

- **Biomassa acima do solo (AGB)**: inclui tronco, galhos, folhas, flores e frutos;
- **Biomassa abaixo do solo (BGB)**: corresponde às raízes;
- **Biomassa total**: soma da biomassa acima e abaixo do solo ($AGB + BGB$).

Essas divisões são fundamentais para uma avaliação precisa dos estoques de carbono em projetos do setor AFOLU (Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra) voltados para o mercado de carbono.

Como exemplo, Silva (2007) destaca que em árvores da região de Manaus, aproximadamente **41,6%** do peso total corresponde à água. Após a secagem, cerca de **48,5%** da massa secada é composta por carbono. Isso implica que, no peso total de uma árvore viva, cerca de **40%** é água e **30%** é carbono — uma informação essencial para o cálculo de estoques de carbono e o desenvolvimento de estratégias de mitigação de emissões.

5. BASE METODOLÓGICA: QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA

A quantificação da biomassa total — composta pela biomassa acima e abaixo do solo — pode ser realizada por **métodos diretos** ou **indiretos**.

5.1. Método Direto (Destrutivo)

O método direto consiste no corte e pesagem do material vegetal em uma área previamente delimitada. Apesar de fornecer medidas precisas para a área avaliada, este método apresenta algumas limitações:

- **Tendenciosidade na amostragem:** a escolha da área a ser cortada pode não representar fielmente a variabilidade da floresta, levando a estimativas imprecisas quando extrapoladas para escalas maiores.
- **Alto custo e impacto ambiental:** além de ser oneroso, o método destrói a vegetação amostrada, inviabilizando a medição contínua das mesmas plantas.

Devido a essas limitações, o método direto é pouco aplicável em projetos de carbono em larga escala, sendo mais utilizado para calibrar modelos indiretos.

5.2. Método Indireto (Não Destrutivo)

O método indireto emprega modelos matemáticos para estimar a biomassa de plantas em pé, utilizando variáveis de fácil medição em campo. Esses modelos são derivados de análises de regressão e resultam em equações chamadas de alométricas (Higuchi e Carvalho, 1994).

5.2.1. Equações Alométricas

O termo *alometria*, de origem grega (*allos* = outra, *metron* = medida), refere-se ao estudo das relações entre o tamanho de diferentes partes de um organismo e o organismo como um todo. No contexto florestal e agrônômico, a alometria explora a correlação entre características estruturais da árvore — como diâmetro, altura e copa — e sua biomassa total (Niklas, 1994).

As equações alométricas para estimativa de biomassa são derivadas, muitas vezes, dos modelos utilizados para cálculo de volume de madeira (Santos, 1996) e geralmente apresentam elevados coeficientes de determinação ($r^2 > 0,95$), indicando alta precisão. As variáveis independentes mais empregadas incluem:

- **Diâmetro à Altura do Peito (DAP)** — medido a 1,30 m do solo;
- **Altura total da árvore.**

Um dos modelos mais conhecidos é o proposto por West et al. (1999):

$$M = a * D^b$$

onde:

M = massa seca acima do solo;

D = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo);

a = coeficiente de escala; e

b = expoente da escala.

Esse modelo se baseia na teoria da distribuição de recursos nas plantas vasculares, através de um sistema de galhos hierárquicos. Inicialmente, assumia-se a existência de um expoente universal (múltiplos de $\frac{1}{4}$); entretanto, estudos posteriores demonstraram que tal regularidade não se aplica a todas as tipologias vegetais (Zianis e Mencuccini, 2004; Pilli et al., 2006). Apesar disso, o modelo permanece amplamente utilizado pela sua simplicidade e pela capacidade de substituir métodos destrutivos.

5.3. Erros e Incertezas na Estimativa de Biomassa

Ao empregar o método indireto, é essencial considerar dois tipos principais de erro:

- **Erros não amostrais:** relacionados a falhas durante a coleta de dados (ex.: medições imprecisas ou seleção inadequada de amostras). Esses erros podem ser minimizados através do rigor nos procedimentos de campo e da aplicação correta dos protocolos metodológicos. É importante ressaltar que análises estatísticas sofisticadas não conseguem compensar dados coletados de forma inadequada.
- **Erros amostrais:** surgem ao se medir apenas uma fração da população, o que introduz incertezas nas estimativas. Em projetos de carbono, a avaliação da incerteza associada à média estimada é tão relevante quanto a própria média. Essa incerteza pode ser representada por uma **função de densidade probabilística**, indicando a variação e a confiabilidade dos valores obtidos.

A magnitude da incerteza depende diretamente da **qualidade** e da **quantidade** dos dados coletados, bem como dos métodos de inferência empregados.

5.4. Fundamentação Estatística: Amostragem e Incerteza

Dois teoremas fundamentais sustentam a análise estatística aplicada à quantificação de biomassa:

5.4.1. Lei dos Grandes Números

A **Lei dos Grandes Números** estabelece que, ao aumentar o número de observações independentes, a média amostral se aproxima do valor real da população. Em termos práticos:

“Se um evento de probabilidade ‘p’ é observado repetidamente em ocasiões independentes, a frequência relativa do evento converge para ‘p’ à medida que o número de repetições se torna suficientemente grande.”

Portanto, quanto maior o número de amostras (**$n \geq 30$**), mais confiável será a média estimada em relação ao verdadeiro valor da população.

5.4.2. Teoria do Limite Central

O **Teorema do Limite Central** afirma que:

“Se uma variável aleatória X puder ser representada pela soma de n variáveis aleatórias independentes, sob certas condições gerais, então essa soma terá distribuição aproximadamente normal para n suficientemente grande.”

Isso significa que as médias das amostras tendem a se distribuir de forma normal em torno da média populacional, independentemente do formato original da distribuição dos dados. Com isso, é possível aplicar métodos estatísticos clássicos e utilizar a **tabela-z** para calcular probabilidades, desde que o tamanho da amostra seja adequado.

Em uma distribuição normal:

- **68,27%** dos dados estão entre ± 1 desvio padrão da média;
- **95,45%** entre ± 2 desvios padrões;
- **99,73%** entre ± 3 desvios padrões.

Portanto, ao aumentar o número de amostras, reduz-se o desvio padrão e melhora-se a precisão das estimativas.

6. BASE METODOLÓGICA: VARIÁVEIS DE INTERESSE

A quantificação do estoque de carbono em florestas tropicais e culturas agrícolas depende da análise de diferentes variáveis, que podem ser classificadas em **dependentes** e **independentes**.

- **Variáveis Independentes** são aquelas de **fácil mensuração**, obtidas diretamente em campo ou por meio de ferramentas e tecnologias de sensoriamento remoto. São utilizadas como base para estimar as variáveis dependentes, por meio de **equações alométricas**.
- **Variáveis Dependentes** são aquelas de **difícil ou inviável medição direta** em campo e, portanto, precisam ser estimadas a partir das variáveis independentes. Estas variáveis representam o foco principal dos projetos de quantificação de biomassa e carbono.

A **Tabela 1** apresenta as principais variáveis consideradas na estimativa do estoque de carbono em áreas de floresta e em culturas agrícolas.

Tabela 1. Relação de variáveis consideradas para determinar o estoque de carbono em uma área de floresta tropical e em culturas agrícolas.

NOME DA VARIÁVEL	TIPO	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Área da cultura	Independente	Hectare (ha)	Unidade básica para estimativas de carbono. 1 hectare = 10.000 m ²
Reflectância espectral	Independente	Nanômetro (nm)	Dados obtidos por sensoriamento remoto para extrapolação dos estoques de carbono em grandes áreas
Resolução espacial	Independente	Metro (m)	Tamanho do pixel em imagens de satélite, indicando o nível de detalhamento da superfície (ex.: 30 cm oferece mais detalhes que 1 m)
Circunferência ou Diâmetro à Altura do Peito (CAP/DAP)	Independente	Centímetro (cm)	Diâmetro do tronco medido a 1,30 m do solo. Caso haja impedimentos físicos, pode ser medido em outra altura
Altura total (Ht) e comercial (Hc)	Independente	Metro (m)	Ht é a altura até o topo da copa; Hc refere-se à altura do tronco utilizável até o início da copa
Altura dominante (Hdom)	Dependente	Metro (m)	Média das alturas dos 10% dos indivíduos mais altos em uma área amostral
Fator de correção (fc)	Dependente	-	Correção aplicada quando a equação alométrica foi desenvolvida em áreas com características estruturais diferentes da área estudada

NOME DA VARIÁVEL	TIPO	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Biomassa fresca aérea (BFabg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Massa da parte aérea da árvore (tronco, galhos, folhas, flores, frutos e sementes), incluindo a água contida na estrutura vegetal
Biomassa fresca abaixo do solo (BFblg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Massa das raízes da árvore, considerando a água presente na estrutura
Biomassa fresca total (BFtot)	Depen-dente	Tonelada (t)	Soma da biomassa fresca aérea e abaixo do solo
Biomassa seca aérea (AGB)	Depen-dente	Tonelada (t)	Massa seca da parte aérea da árvore, após a retirada da água
Biomassa seca abaixo do solo (BGB)	Depen-dente	Tonelada (t)	Massa seca das raízes da árvore, sem considerar o conteúdo de água
Biomassa seca total (BStot)	Depen-dente	Tonelada (t)	Soma da biomassa seca aérea e abaixo do solo
Carbono aéreo (Cabg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Quantidade de carbono estocado na parte aérea da árvore
Carbono abaixo do solo (Cblg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Quantidade de carbono estocado nas raízes da árvore
Carbono total (Ctot)	Depen-dente	Tonelada (t)	Soma do carbono estocado na parte aérea e nas raízes
Dióxido de Carbono equivalente aéreo (CO₂e.abg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Quantidade de carbono na parte aérea convertida em dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e), utilizando o fator de conversão padrão (1 t de C = 3,67 t de CO ₂ e)

NOME DA VARIÁVEL	TIPO	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Dióxido de Carbono equivalente abaixo do solo (CO₂e.blg)	Depen-dente	Tonelada (t)	Quantidade de carbono nas raízes convertida em dióxido de carbono equivalente
Dióxido de Carbono equivalente total (CO₂e.tot)	Depen-dente	Tonelada (t)	Soma do dióxido de carbono equivalente estocado na parte aérea e nas raízes

A correta identificação e utilização das variáveis de interesse é essencial para garantir a precisão nas estimativas de biomassa e carbono. As variáveis independentes devem ser medidas com rigor técnico para que as variáveis dependentes sejam calculadas de forma confiável, reduzindo incertezas nos resultados.

7. BASE METODOLÓGICA: FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

A quantificação dos estoques de biomassa e carbono em florestas e culturas agrícolas requer o uso de **ferramentas estatísticas de inferência** para assegurar a precisão dos resultados e reduzir incertezas. A estatística oferece métodos fundamentais para a **coleta, análise e interpretação de dados**, possibilitando a realização de estimativas confiáveis.

A seguir, a **Tabela 2** apresenta os principais parâmetros estatísticos utilizados, acompanhados de suas descrições e respectivas fórmulas matemáticas.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos, suas descrições e fórmulas matemáticas.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
Média	Valor médio obtido pela somatória de todas as observações dividida pelo número total de observações	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
Variância (s²)	Mede a dispersão dos dados em relação à média. Calculada pela soma dos desvios quadráticos dividida pelo número de observações menos um	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$
Desvio Padrão (s)	Raiz quadrada da variância. Indica o grau de dispersão dos valores em torno da média	$s = \pm\sqrt{s^2}$
Erro Padrão da Média (s_{x̄})	Mede a precisão da média amostral em relação à média populacional. Quanto menor o erro padrão, mais representativa é a amostra	$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Intervalo de Confiança (IC)	Determina a faixa na qual a média populacional deve se situar com um nível de confiança pré-definido (geralmente 95%)	$\bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Soma dos Quadrados Corrigidos da variável Y (SQ_{CY})	Mede a variação total dos valores da variável dependente em relação à sua média	$CQC_y = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$
Soma dos Quadrados Corrigidos da variável X (SQ_{CX})	Mede a variação total dos valores da variável independente em relação à sua média	$SQC_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}$
Soma dos Produtos Corrigidos (SPC_{XY})	Mede a relação entre as variações das variáveis independente e dependente. Utilizada no cálculo do coeficiente de correlação	$SPC_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \times \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n}$
Coeficiente de Correlação (r)	Avalia o grau de associação linear entre as variáveis independente e dependente. O valor varia entre -1 (correlação negativa) e +1 (correlação positiva)	$r = \frac{SPC_{xy}}{\sqrt{SQC_x SQC_y}}$

7.1. Estratificação

A **estratificação** é uma técnica estatística cujo principal objetivo é **reduzir a variância** dentro dos grupos (estratos), **aumentar a precisão das estimativas** e **otimizar o processo de amostragem**. Em estudos que visam quantificar o estoque de biomassa e carbono em florestas ou culturas agrícolas, como o café, a estratificação permite uma representação mais fiel da heterogeneidade espacial e estrutural da área de estudo.

Existem dois métodos principais para estratificar uma cultura agrícola ou uma floresta: **pela variância dos dados** ou **por idade/classe florestal**. A escolha do método depende das características do local, dos objetivos do estudo e dos recursos disponíveis.

7.1.1. Estratificação pela Variância

Esse método utiliza dados preliminares para definir os estratos com base na variabilidade observada. Embora seja uma técnica direta, ela apresenta algumas limitações:

- **Necessidade de uma amostragem preliminar**, o que pode demandar tempo e recursos adicionais;
- **Baixa relação custo/benefício**, especialmente em áreas amplas ou de difícil acesso;
- **Risco de gerar estimativas tendenciosas**, caso a amostragem inicial não represente adequadamente a variabilidade da área.

Esse método é mais sensível a amostras não representativas, podendo comprometer a precisão dos resultados finais.

7.1.2. Estratificação por Idade ou Classe

Este método utiliza **tecnologias de sensoriamento remoto** e **geoprocessamento** para identificar diferentes estratos com base em características estruturais, como idade ou classes florestais. O uso de imagens de satélite de diferentes sensores — por exemplo, bandas RGB e Infravermelho Próximo (NIR) — possibilita uma análise mais detalhada da vegetação.

As principais vantagens desse método incluem:

- **Otimização da amostragem** por meio de um planejamento prévio mais eficiente;
- **Aumento da confiabilidade das estimativas**, reduzindo as incertezas associadas aos resultados;
- **Redução de custos a longo prazo**, ao minimizar a necessidade de amostragens intensivas em campo.

A capacidade de identificar padrões espaciais por meio do sensoriamento remoto torna esse método mais robusto, especialmente em grandes áreas ou em florestas com alta variabilidade estrutural.

7.1.3. Validação Estatística da Estratificação

Apesar das evidências visuais obtidas por sensoriamento remoto indicarem possíveis diferenças entre idades ou classes florestais, é essencial comprovar a **significância estatística** dessas distinções. Para isso, recomenda-se a aplicação da **Análise de Variância (ANOVA)**, que avalia se há diferenças significativas entre as médias dos estratos.

Se a ANOVA indicar variabilidade estatisticamente significativa, a estratificação é considerada válida. Caso contrário, a aplicação de diferentes estratos na amostragem e na inferência estatística se torna desnecessária.

Quando a ANOVA identifica diferenças relevantes, é aconselhável realizar um **teste de post hoc**, como o **Teste de Tukey**, que permite comparar diretamente os estratos e identificar quais grupos apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si.

7.1.4. Estatística Estratificada

As fórmulas matemáticas para estatística de inferência (**Tabela 3**), considerando a estratificação da amostragem, é apresentado por Péllico Netto e Brena (1997), são elas:

Tabela 3. Parâmetros estatísticos estratificados, suas descrições e fórmulas matemáticas.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	FÓRMULA
Média por estrato	Média aritmética por estrato amostrado	$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} X_{ih}}{n_h}$
Média estratificada	Média ponderada conforme os estratos amostrados	$\bar{x}_{st} = \sum_{h=1}^L w_h \bar{x}_h$
Variância por estrato	Variância da população, por estrato amostrado	$s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$
Variância estratificada	Variância da população ponderada conforme os estratos amostrados	$s_{st}^2 = \sum_{h=1}^L w_h s_h^2$
Variância da média estratificada	Variância ponderada da média da população amostrada	$s_{x_{(st)}}^2 = \sum_{h=1}^L w_h^2 \times \frac{s_h^2}{n_h}$
Erro padrão estratificado	Erro padrão ponderado da população amostrada	$s_{x_{(st)}} = \sqrt{s_{x_{(st)}}^2}$
Erro amostral estratificado	Erro amostral ponderado da estimativa de inferência para a população amostrada	$E_r = \pm \frac{t \times s_{x_{(st)}}}{\bar{x}_{(st)}} \times 100$
Intervalo de confiança (95%)	Amplitude de variação da média estimada, com uma probabilidade de 95%	$I. C. = \bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

8. BASE METODOLÓGICA: EXTRAPOLAÇÃO (SCALE UP)

A **extrapolação** — ou *scale up* — é um processo utilizado para expandir as estimativas obtidas em parcelas amostrais para áreas maiores, garantindo que os resultados locais possam representar paisagens regionais ou até mesmo globais. No contexto de inventários florestais e agrícolas, como na cultura do café e em florestas tropicais, esse processo demanda a integração de dados de campo com tecnologias de sensoriamento remoto, respeitando critérios técnicos que assegurem a acurácia e a representatividade das estimativas.

8.1. Georreferenciamento: A Base para a Extrapolação

O ponto de partida para um processo de extrapolação eficiente é o **georreferenciamento preciso** das árvores e parcelas amostrais. A correta localização espacial permite correlacionar as informações coletadas em campo com imagens de sensores remotos em diversas escalas de mapeamento.

A qualidade do georreferenciamento é influenciada por diversos fatores:

- **Tipo de equipamento GPS utilizado** — diferentes modelos oferecem variações significativas na precisão dos dados coletados;
- **Procedimento de coleta de dados** — técnicas adequadas minimizam erros associados ao posicionamento;
- **Cobertura de satélites disponível** no momento da coleta — que pode limitar a precisão em áreas de densa vegetação;
- **Cobertura florestal** — áreas com dossel fechado podem afetar o sinal de GPS, reduzindo a exatidão das coordenadas (JUN; GUENSLER; OGLE, 2006; RODRÍGUEZ-PÉREZ; ÁLVAREZ; SANZABLANEDO, 2007; SIGRIST; COPPIN; HERMY, 1999).

8.2. Integração de Dados de Campo e Sensoriamento Remoto

A extrapolação só é possível por meio da **integração dos dados obtidos em campo com imagens de satélite ou aerofotogrametria**, o que amplia a área de análise sem a necessidade de intensificar o esforço amostral. Essa integração depende diretamente da qualidade espacial e espectral das imagens utilizadas.

Dois fatores-chave influenciam essa etapa:

- **Resolução espacial** — quanto maior a resolução (ou seja, quanto menor o pixel), mais detalhadas serão as informações capturadas. Para estimativas de carbono, imagens de alta resolução permitem análises mais precisas em escala local, enquanto imagens de menor resolução são mais adequadas para análises regionais.
- **Escala de mapeamento** — a escolha adequada da escala influencia a qualidade da extrapolação. Mapas locais exigem detalhamento maior, enquanto abordagens regionais podem aceitar menor resolução, desde que os padrões espaciais sejam preservados.

O uso combinado de **multi-sensores** — como imagens ópticas, radar e LiDAR — é altamente recomendado para aprimorar as estimativas de biomassa e carbono, uma vez que cada sensor capta informações complementares da paisagem (LU *et al.*, 2012).

8.3. Do Local ao Regional: Expandindo as Estimativas

A extrapolação de dados não se limita à escala local. Por meio do uso de sensoriamento remoto e técnicas avançadas de geoprocessamento, é possível expandir as análises para níveis regionais e até nacionais. Esse processo, no entanto, exige o controle rigoroso dos **erros associados** à modelagem e à interpretação dos dados (IPCC, 2010).

Estudos como os de **Trumbore, Brando e Hartmann (2015)** e **Zhang *et al.* (2014)** destacam a importância de abordagens multi-escala e multi-sensor para obter estimativas confiáveis em diferentes cenários florestais e agrícolas. O controle do erro durante o *scale up* é essencial para garantir que as incertezas se mantenham dentro de limites aceitáveis, especialmente quando os dados são utilizados em políticas públicas ou em mercados de carbono.

9. ALOMETRIA DE BIOMASSA E CARBONO: FLORESTA TROPICAL

A **alometria florestal** é uma ferramenta utilizada para estimar a biomassa e o carbono estocado em florestas tropicais. Por meio de equações alométricas, é possível relacionar variáveis de fácil mensuração em campo, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e, em alguns casos, a altura total, com a biomassa total de uma árvore. Essas equações evitam a necessidade de métodos destrutivos em larga escala, otimizando custos e preservando o ambiente.

A seguir, são apresentados os principais conceitos, métodos e equações recomendadas para florestas tropicais, com destaque para dados oriundos da **Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF2)** do **INPA**, localizada em Manaus, Amazonas.

9.1. Método Destrutivo: Base para Equações Alométricas

O método clássico para desenvolver equações alométricas consiste na **derrubada e pesagem direta** das árvores em parcelas de área fixa (**Figura 1**). Após a derrubada, as árvores são seccionadas em diferentes compartimentos — **copa, tronco e sistema radicular** — para facilitar a pesagem (SILVA, 2007). Essa abordagem, embora forneça dados precisos, apresenta limitações significativas:

- **Baixa representatividade** devido ao número reduzido de parcelas amostradas;
- **Custo elevado e complexidade logística** em áreas densas de floresta;
- **Risco ambiental**, dado o caráter destrutivo do método.



Figura 1. Imagens das atividades de campo do método destrutivo de determinação do peso total, acima e abaixo dos solos de uma árvore.

Mesmo com essas limitações, o método destrutivo permanece como a base para a calibração de equações alométricas amplamente aceitas em estudos científicos (ARAÚJO *et al.*, 1999; SILVA, 2007; LIMA *et al.*, 2012).

9.2. Equações Alométricas para a Amazônia: ZF2 (INPA)

Na Amazônia, diversos estudos geraram equações robustas para estimativas de biomassa e carbono. Para florestas tropicais, a Tero Carbon recomenda o uso das equações desenvolvidas para o sítio **ZF2**, dadas suas amplas validações científicas e forte aderência aos padrões de precisão exigidos.

As equações sugeridas para florestas tropicais da região de Manaus são:

$$BStot = 2,7179 \times DAP^{1,8774} \times 0,584 \times fc, \text{ onde } R^2 = 0,94 \text{ e } Syx\% = 3,91.$$

$$AGB = 2,2737 \times DAP^{1,9156} \times 0,584 \times fc, \text{ onde } R^2 = 0,85 \text{ e } Syx\% = 4,20.$$

$$BGB = 0,0469 \times DAP^{2,4754} \times 0,533 \times fc, \text{ onde } R^2 = 0,95 \text{ e } Syx\% = 5,12.$$

onde:

BStot = biomassa seca total (Kg);

AGB = biomassa seca acima do solo (Kg);

BGB = biomassa seca abaixo do solo (Kg);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

fc = fator de correção;

*R*² = coeficiente de determinação (qualidade do ajuste); e

Syx% = erro padrão da estimativa (%).

9.3. Fator de Correção (fc): Adaptação para Outras Regiões

Caso o projeto seja desenvolvido em áreas com diferentes características estruturais em relação ao sítio ZF2, recomenda-se a aplicação de um **fator de correção (fc)**.

O **fc** ajusta as equações para refletir a estrutura vertical da floresta local e é calculado pela relação entre a altura dominante do sítio amostrado (**Hdom_i**) e a altura dominante do sítio ZF2 (**Hdom_{ZF2} = 30,2 m**), conforme a fórmula:

$$fc = \frac{Hdom_i}{Hdom_{ZF2}}$$

onde:

fc = fator de correção;

Hdom_i = altura dominante estimada para o sítio “i” amostrado; e

Hdom_{ZF2} = altura dominante do sítio ZF2 = 30,2m¹.

A altura dominante (**Hdom**) é a média das alturas das 10% das árvores mais grossas da amostra, seguindo a abordagem proposta por Higuchi (2015).

9.4. Conversão de Biomassa para Carbono

A biomassa estimada pelas equações deve ser convertida em carbono utilizando fatores específicos de conversão, levando em consideração as diferentes partes da árvore:

$$Cabg = AGB \times 0,485$$

$$Cblg = BGB \times 0,464$$

$$Ctot = Cabg + Cblg$$

onde:

Cabg = carbono acima do solo (Kg);

¹ De acordo com Higuchi (2015).

C_{blg} = carbono abaixo do solo (Kg); e

C_{tot} = carbono total (Kg).

9.5. Nota aos Desenvolvedores

- Caso o projeto ocorra em uma área com tipologia florestal distinta da região de Manaus, recomenda-se o uso de **equações “sítio-específicas”** ajustadas a partir de dados locais.
- As equações devem seguir as diretrizes de Mensuração, Reporte e Verificação (MRV).
- O uso de variáveis adicionais (ex.: densidade da madeira) pode ser considerado, desde que tecnicamente justificado, mas deve-se ponderar a relação custo-benefício.
- A inclusão da altura como variável independente é opcional. Estudos mostram que sua incorporação não aumenta significativamente a precisão dos modelos em florestas amazônicas, além de elevar custos e potencializar erros de medição (WIEMANN & WILLIAMSON, 2014).

9.6. Confiabilidade dos Modelos

- O coeficiente de determinação (R^2_{aj}) deve ser superior a **0,80** para garantir robustez na estimativa.
- O erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) deve ser inferior a **10%**, em conformidade com os padrões da engenharia florestal.
- As equações sugeridas para o ZF2 atendem a esses critérios e são consideradas altamente confiáveis.

10. ALOMETRIA DE BIOMASSA E CARBONO: ÁRVORE DE CAFÉ

A alometria de biomassa e carbono em árvores de café é utilizada para a mensuração precisa dos estoques de carbono em sistemas agroflorestais e cultivos comerciais. O método destrutivo é o mais usado para o ajuste de equações alométricas, sendo a base para o desenvolvimento de modelos que

permitem estimativas confiáveis da biomassa e carbono em diferentes estágios de desenvolvimento das plantas.

10.1. Método Destrutivo: Base para Equações Alométricas

O método direto consiste na derrubada e pesagem das árvores de café em pontos de área fixa, com posterior extrapolação para unidade de área. As plantas de café são cortadas rente ao solo, mantendo um toco de aproximadamente 10 cm de altura. As partes da planta são separadas em compartimentos específicos (tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas, flores, frutos, raízes grossas e raízes finas) e pesadas individualmente.

Para a biomassa abaixo do solo, trincheiras são abertas ao redor das árvores, com escavação realizada a uma distância de 20-30 cm da planta. As raízes são cuidadosamente lavadas para remoção do solo e pesadas. Amostras de cada compartimento são secas em estufa a 65 °C até peso constante para determinar a biomassa seca. A **Figura 2** mostra o processo completo.



Figura 2. Imagens das atividades de campo do método destrutivo de determinação do peso total, acima e abaixo dos solos de uma árvore de café.

A massa da planta foi compartimentada em:

- I. Tronco;
- II. Galhos grossos (diâmetro de colo ≥ 10 cm);
- III. Galhos finos (diâmetro de colo < 10 cm);
- IV. Raízes grossas (diâmetro de colo > 2 cm);
- V. Raízes finas (diâmetro de colo ≤ 2 cm);
- VI. Folhas,
- VII. Flores e frutos.

Todas as variáveis dendrométricas, exceto o diâmetro da copa, foram obtidas após o arranquio das árvores. As variáveis referentes à altura e ao diâmetro foram obtidas com auxílio de uma trena. As variáveis foram coletadas da seguinte forma:

- I. **Altura da copa:** altura total da planta subtraída a altura do fuste, ou seja, o comprimento da copa;
- II. **Altura total (*ht*):** distância da base da árvore até o seu topo;
- III. **Altura comercial (*hc*):** a parte do fuste com valor comercial, ou seja, a porção utilizável do tronco;
- IV. **Diâmetros da copa:** coletados dois diâmetros (sentidos norte-sul e leste-oeste);
- V. **Número de nós:** contagem manual de todos os nós.

10.2. Equações Alométricas para a Região de Monte Carmelo - MG

Com base nos dados coletados, foi desenvolvida uma equação alométrica de simples entrada, onde apenas a variável independente DAB (Diâmetro da Base à uma altura de até 10,0 cm do solo) foi utilizada. A equação desenvolvida para a área de estudo, com base na variável DAB, produziu coeficientes de determinação (r^2 em %) igual a 85% e o erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) igual a 13%.

Na **ausência de uma equação “sítio-específica”**, a **Tero Carbon recomenda** a equação de **Rezende (2023)**, desenvolvida para a Fazenda Santa Bárbara, Monte Carmelo - MG, para árvores de café de 4 e 6 anos:

$$B_{tot} = 2,276 \times DAB^{0.765}$$

onde:

B_{tot} = Biomassa da cultura total (Kg);

DAB = Diâmetro da Base a uma altura de até 10,0 cm do solo (Cm).

10.3. Conversão de Biomassa para Carbono

Para a obtenção da quantidade de carbono e carbono equivalente estocada nas árvores de café, poderão ser utilizados fatores de conversão, já

desenvolvidos para plantios na região de Monte Carmelo, Minas Gerais em duas diferentes idades (**Tabela 4**).

Tabela 4: Determinação do teor de água e carbono em árvores de café de 4 e 6 anos de idade da Fazenda Santa Bárbara, município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

IDADE (ANOS)	TEOR DE ÁGUA (%)	TEOR DE CARBONO (%)
4	59,13	42,79
6	55,07	44,73

A equação para estimativa do carbono total (C_{tot}) é:

$$C_{tot} = B_{tot} \times TC$$

onde:

C_{tot} = Carbono total (Kg);

TC = Teor de carbono específico por idade.

10.4. Nota aos Desenvolvedores

- Projetos podem apresentar equações de biomassa “sítio-específicas”, ajustadas com base em dados locais, respeitando as diretrizes de Mensuração, Reporte e Verificação (MRV).
- Recomenda-se o uso de variáveis independentes como Circunferência à Altura do Peito (CAP) e altura total para maior precisão.
- A escolha das variáveis deve considerar o custo-benefício da coleta de dados e os impactos sobre a precisão do modelo.

10.5. Considerações Finais

A aplicação de modelos alométricos específicos para o cultivo de café permite estimativas mais precisas dos estoques de biomassa e carbono. A

utilização de equações ajustadas localmente, quando possível, é recomendada para aumentar a acurácia dos resultados e reduzir incertezas nas estimativas de carbono.

II. LITERATURA CONSULTADA E BASE TEÓRICA

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P.; GALLEGOS, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*. Vol. 297, p. 999-1002.

AKINDELE, S. O.; LEMAY M.V. 2006. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*. N° 226. Pp 41 - 48.

ALDER, D. 1980. Forest Volume Estimation and Yield Prediction. *Yield Prediction*. FAO Forestry Paper 22/2. v. 2. 194 p.

AMADON, D. 1973. Birds of the Congo and Amazon Forest: A comparison. In: *Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: A Comparative Review*. Ed. By Institution Press. Washington, D. C. p. 267-277.

AMARAL, I. L. do; MATOS, F. D. A.; LIMA, J. 2000. Composição florística e parâmetros estruturais de um hectare de floresta densa de terra firme no rio Uatumã, Amazônia, Brasil. *Acta Amazonica*. 30 (3): 377-392.

ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; LADLE, R. J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T.; COSTA, A. C. L.; ESPEJO, J. S.; HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; NÚÑEZ-VARGAS, P.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; ALMEIDA, S.; VÁSQUEZ, R. 2009. Influence of landscape heterogeneity on spatial patterns of wood productivity, wood specific density and above ground biomass in Amazonia. *Biogeosciences*. 6, 2039–2083.

ANGELSEN, A.; BROCKHAUS, M.; SUNDERLIN, W. D.; VERCHOT, L. V. (eds) 2013 *Analysing REDD+: Challenges and choices*. CIFOR, Bogor, Indonesia. V. 1. 488 p.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; METCALFE, D. B.; SILVA-ESPEJO, J. E.; JIMÉNEZ, E.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S. COSTA, A. C. L.; SALINAS, N.; PHILLIPS, O. L.; ANDERSON, L. O.; ALVAREZ, E.; BAKER, T. R.; GONÇALVES, P. H.; HUAMÁN-OVALLE, J.; MAMANI-SOLÓRZANO, M.; MEIR, P.; MONTEAGUDO, A.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M. C.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; ROZAS-D´AVILA, A.; RUDAS, A.; SILVA JR., J. A.; VÁSQUEZ, R. 2009. Above- and below-ground net

primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6, 2759–2778.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*. Vol. 310: 480-482.

AYRES, J.M e BEST, R. 1979. Estratégias para a conservação da fauna amazônica. *Supl. Acta Amazonica* 9(4): 81-101.

AZEVEDO, C. P. de.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de.; LOPES, J. C. A.; SOUZA, C. R. de. 2008. Efeito de diferentes níveis de exploração e tratamentos silviculturais sobre a dinâmica do povoamento florestal remanescente. *Anais: Seminário Dinâmica de Florestas Tropicais*. Belém, PA.

BACCINI, A.; GOETZ, S. J.; WALKER, W. S.; LAPORTE, N. T.; SUN, M.; SULLA-MENASHE, D.; HACKLER, J.; BECK, P. S. A.; DUBAYAH, R.; SAMANTHA, S.; HOUGHTON, R. A. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*. Vol. 2. DOI: 10.1038/NCLIMATE1354. p. 182-185.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORI, A.; ERWIN, T.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R. 2004a. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*. 10, 545-562.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N. KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; MARTINEZ, R. V. 2004b. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *The Royal Society*, 359:353-365.

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. 2009. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*. Belém, n. 51, p. 115-126.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. 2004. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro. *Scientia Florestalis*. N. 65. 162-175.

BORGES, C. P. I. Equações alométricas para estimar biomassa de campinaranas florestadas na região de Manaus, Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, X p. 2010.

BRAGA, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da Floresta Amazônica. *Acta Amazonica*. Supl., Manaus, v. 9, n. 4, p. 53-80.

BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*. 233. 133-142.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm.

BRASIL. Constituição do Estado do Amazonas, de 1989. Disponível em: http://www.camara.gov.br/internet/interacao/constituicoes/constituicao_amazonas.pdf.

BRASIL. Lei n. 5.449 de 4 de junho de 1968. Declara de interesse da segurança nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5449.htm.

BRASIL. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm.

BRASIL. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm.

BROWN, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. *FAO Forestry Paper 134*, Rome, Italy, p. 55.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV. 2002. 407 p.

CARNEIRO, V. M. C. Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cueiras, Manaus – AM. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, p. 77, 2004.

CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A. 2004. Growth rate of a terra firme rain forest in brazilian amazonia over an eight-year period in response to logging. *Acta amazonica*. Vol. 34(2): 209 – 217.

CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G.; AMARAL, M. R.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; COBELLO, L. O.; HIGUCHI, N. Garantia e controle de qualidade (QA/QC) do georreferenciamento em inventários florestais na Amazônia. 2016. Anais do III Mensuflor, Volume 1, Número 1, pg. 424-428

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P. 1998. Ancient Trees in Amazonia. *Nature*, 391:135-136.

CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J. dos.; RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N. 2000. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 5348. 1-12.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TRIBUZY, E. S.; TRUMBONE, S. E. 2001. Carbon sink for a century. *Nature*. Vol. 410. p. 429.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TEIXEIRA, L. M.; SANTOS, J. dos.; LAURANCE, S. G.; TRUMBONE, S. E. 2004. Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia*. 141: 596–614

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S.; PRICE, B. 2000. Regression analysis by example. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. V. 5. 424 p.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIERA, B.; YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 85-99.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. *Timber Management: A Quantitative Approach*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1983. V. 1. 333p.

COHEN, J.; P. COHEN. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey, USA. 1983. V. 1. 545 p.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. 2009. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casa de árvores individuais em uma florestal ombrófila aberta na região noroeste de Mato Grosso. *Acta Amazonica*. Vol. 39 (1), 97-104.

CONDÉ, T. M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A. J. N. 2019. Illegal Selective Logging and Forest Fires in the Northern Brazilian Amazon. *Forest*, v. 10, p. 61.

COUTO, H. T. Z. do.; BASTOS, N. L. M. 1987. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de eucalyptus no estado de São Paulo. *IPEF*, n.37, p.33-44.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. 2006. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. *Acta amazonia*. Vol. 36(2): 177 – 182.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 1998. 3rd edition. 706 p.

ELDIK, van T.; LIMA, J. P.; PINTO, A. C.; ESTUMANO, D.; REIS, Q. 2008. Relatório Final do Inventário Florestal Diagnóstico da FLONA de Saracá-Taquera, estado do Pará. Serviço Florestal Brasileiro. 49 p.

EVA, H.D.; ACHARD, F.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P. 2003. Response to comment on “Determination of deforestation rates of the world’s humid tropical forests”. *Science*, 299, 1015b.

FEARNSIDE, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil’s Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 80, 21–34.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controles. *Acta Amazonia*. Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. 2003. Comment on determination of deforestation rates of the world’s humid tropical forests. *Science*, 299, 1015a.

FELDPAUSCH, T. R.; BANIN, L.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; QUESADA, C. A.; AFFUM-BAFFOE, K.; ARETS, E. J. M. M.; BERRY, N. J.; BIRD, M.; BRONDIZIO, E. S.; CAMARGO, P. de.; CHAVE, J.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; DRESCHER, M.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FYLLAS, N. M.; HIGUCHI, N.; HUNTER, M. O.; IIDA, Y.; SALIM, K. A.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KEMP, J.; KING, D. A.; LOVETT, J. C.; MARIMON, B. H.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; MORAN, E. F.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PALACE, M.; PATIÑO, S.; PEH, K. S. -H.; RAVENTOS, M. T.; REITSMAN, J. M.; SAIZ, G.; SCHRODT, F.; SONK, B.; TAEDOUNG, H. E.; TAN, S.;

WHITE, L.; WOLL, H.; LLOYD, J. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences*, 8, 1081-1106.

FELDPAUSCH, T. R.; LLOYD, J.; LEWIS, S. L.; BRIENEN, R. J. W.; GLOOR, M.; MONTEAGUDO MENDOZA, A.; GONZALEZ-LOPEZ, G.; BANIN, L.; SALIM, K. A.; AFFUM-BAFFOE, K.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ANDRADE, A.; ARAGAO, L. E. O. C.; MURAKAMI, A. A.; ARETS, E. J. M. M.; ARROYO, L.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; BÁNKI, O. S.; BERRY, N. J.; CARDOZO, N.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; ALVAREZ, E. OLIVEIRA, A.; DiFIORE, A.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FREITAS, M. A.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; IIDA, Y.; JIMÉNEZ, E.; KASSIM, A. R.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LOVETT, J. C.; MALHI, Y.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; MENDOZA, C.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; NEILL, D. A.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PARADA, A.; PEH, K. S.-H.; PENA CRUZ, A.; PEÑUELA, M. C.; PITMAN, N. C. A.; PRIETTO, A.; QUESADA, C. A.; RAMÍREZ, F.; RAMÍREZ-ANGULO, H.; REITSMA, J. M.; RUDAS, A.; SAIZ, G.; SALOMÃO, R. P.; SCHWARZ, .; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; SONKÉ, B.; STROPP, J.; TAEDOUMG, H. E.; TAN, S.; STEEGE, H.; TERBORGH, J.; TORELLO-RAVENTOS, M.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VÁSQUEZ, R.; VILANOVA, E.; VOS, V. A.; WHITE, L.; WILLCOCK, S.; WOELL, H.; PHILLIPS, O. L. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeoscience*. Vol. 9. 3381-3403.

FENG, Y.; LU, D.; CHEN, Q.; KELLER, M.; MORAN, E.; SANTOS, M. N.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Examining effective use of data sources and modeling algorithms for improving biomass estimation in a moist tropical forest of the Brazilian Amazon. *International Journal of Digital Earth*, v. 0., n. 0, p. 1-21, 2017.

FERGUSON, L. S.; LEECH, J. W. 1978. Generalized Least Squares Estimation of Yield Functions. *Forest Science*. 24:27-42.

FERNANDES, N. P.; JARDIM, F. C. S.; HIGUCHI, N. 1984. Tabelas de volume para floresta tropical de terra firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*.

FITTKAU, E. J.; IRMLER, U.; JUNK, W. J.; REISS, F.; SCHMIDT, G. W. 1975. Productivity, biomass, and population dynamics in Amazonian water bodies. In: F.B. Golley and E. Medina (Editors), *Tropical Ecological Systems -- Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer, New York, N.Y., pp. 289-311.

FOSTER BROWN, I.; MARTINELLI, L. A.; THOMAS, W. W.; MOREIRA, M. Z.; FERREIRA, C. C. A.; VICTORIA, R. A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: Na example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 75, p. 175-189.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; GAMA-BENTES, M. M. 2002. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. *Revista Árvore*. V. 26, n. 5, p. 559-566.

GRACE, J.; LLOYD, J.; McINTYRE, J.; MIRANDA, A. C.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; NOBRE, C.; MONCRIEFF, J.; MASSHEDER, J.; MALHI, Y.; WRIGHT, I.; GASH, J. 1995. Carbon dioxide uptake by na undisturbed tropical rain forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*. Vol. 270, p. 778-780.

GRAHAM, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*. 84(11). 2809-2815.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*. Vol. 31, n. 4, 717-738.

HIGUCHI, N. 1986-87. Amostragem sistemática versus amostragem aleatória em floresta tropical úmida de terra-firme na região de Manaus. *Acta Amazonica*, 16/17 (único): 393-400.

HIGUCHI, N. Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the brazilian Amazon. Tese de Doutor, Michigan State University. East Lansing, p. 129, 1987.

HIGUCHI, N. Usando o método "jackknife" para estimar volume de madeira da floresta amazônica. Em: Atas da 24ª Reunião Regional da Associação Brasileira de Estatística e 12ª Semana do Estatístico. Manaus, AM, 22-24 de abril de 1992. pp. 42-56.

HIGUCHI, N. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*. v. 39, p. 67-71, Ed. Novembro – 2006.

HIGUCHI, N.; RAMM, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). *Commonw. For. Rev.* 64(1). 33-41.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; JARDIM, F. C. S. 1982. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 12, n. 1, p. 91-103.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. M.; IMANAGA, M.; YOSHIDA, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forest. *Memoirs of the Faculty of Agricultura, Kagoshima University (Journal)*. 30, p. 43-54.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; CÖIC, A.; MINETTE, L. J. 1997. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-Firme Manejada Experimentalmente In: Biomassa de Nutrientes Florestais. INPA/DFID, Manaus, p. 89-132.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2):153-166.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZI, E. S. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*. 34(3) 295-304.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. Manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira. Manaus, p. 140-155, 2006.

HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. (eds). A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental - 2a. edição revisada e ampliada. Manaus: INPA/FAPEAM/CNPq/INCT, 2012. 424p.

HIGUCHI, F. G. DINÂMICA DE VOLUME E BIOMASSA DA FLORESTA DE TERRA FIRME DO AMAZONAS. Tese doutorado. 2015.

HOCKING, R. R. *Methods and applications of linear models: regression and the analysis of variance*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 3rd edition. 1996. 720 p.

HOUGHTON, R. A. 1997. Terrestrial carbon storage: global lessons for Amazonian research. *Ciencia e Cultura Sao Paulo*, 49, 58-72.

HOUGHTON, R.A; SKOLE, D. L; NOBRE, C. A; HACKLER, J.L; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403, 301-304.

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

HOUGHTON, R. A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*. 11, 945-958.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. 2010. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados. Serviço Florestal Brasileiro, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Belém-PA. 32 p.

HUNTER, M. O.; KELLER, M.; VICTORIA, D.; MORTON, D. C. 2013. Tree height and tropical forest biomass estimation. *Biogeosciences*. 10. 8385-8399.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest mensuration. New York. Ronald Press. 1971.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest Mensuration. New York: John Wiley & Sons. 2nd ed., 1972. 402 p.

IBGE. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE. Rio de Janeiro. 271 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Climate Change – The IPCC Scientific Assessment. Edited by: Houghton, J. T.; Jenkins, G. J.; Ephraums, J. J. Cambridge University Press. New York. 414 p.

IPCC. 1990. Climate Change – The IPCC Impact Assessment. Edited by: Tegart, W. J. McG.; Sheldon, G. W.; Griffiths, D. C. Australian Government Publishing Service. Canberra. 296 p.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ITTO, 2012: Annual review and assessment of the world timber situation. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan. Prepared by the Division of Economic Information and Market Intelligence, ITTO. ISBN 978-4-86507-007-1.

JARDIM, F. C. S.; HOSOKAWA, R. T. 1986/87. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 16/17, n. único, p. 411-507.

JIANG, L.; BROOKS, J. R.; WANG, J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*. 213. 399-409.

JUN, J.; GUENSLER, R.; OGLE, J. H. Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration. *Profile Estimates*. n. 1972, p. 141-150, 2006.

JUNK, W.J. Wetlands of tropical South América. In: Whigham, D.H & Dykyjova, D. (eds.): *Wetlands of the world I*. Kluwer Academic Publishers. p. 679-739, 1993.

KOCH, G. W.; SILLETT; S. C.; JENNINGS, G. M.; DAVIS, S. D. 2004. The limits to tree height. *Nature*. Vol. 428. 851-854.

KONHAUSER, K. O.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian Waters and soils. *Chemical Geology*. 111. 155-175.

KOSSOY, A.; GUIDON, P. State and trends of the carbon Market 2012. World Bank report. 138 p. 2012.

KRONBERG, B. I.; FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; SANTOS, A. M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. *Chemical Geology*. 24. 211-229.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. 2005. A expansão madeireira na Amazônia. *O Estado da Amazônia*, 2:1-4.

LI, M.; IM, J.; QUACKENBUSH, L. J.; LIU, T. Forest biomass and carbon stock quantification using airborne LiDAR Data: A case study over Huntington Wildlife Forest in the Adirondack Park. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, v. 7, n. 7, p. 3143-3156, 2014.

LIMA, J. A. N. Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas (AM). 183 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). Inst. Nac. de Pesq. Amazônia (INPA). Manaus, 2010.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M., KAJIMOTO, T.; SANTOS, J. dos; SILVA, R. P. dos; SOUZA, C. A. S. de; BARROS, P. C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. 2012. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 277, 163-172.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest Inventory*. Munich, BLV Verlagsgesellschaft. 2nd edition. Vol. II. 1973. 469 p.

LOPES, U. B. Aspectos Físicos, Químicos e Ecológicos das misturas naturais de águas físico-quimicamente diferentes, na Amazônia. 49 p. Tese de doutorado. INPA–Pós-graduação em Ciências Biológicas. Manaus, 1992.

LU, D. Review Article. The Potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. v. 27, n. 7, p. 1297-1328, 2006.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; ZHANG, M.; LAURIN, G. V.; SAAH, D. Aboveground forest biomass estimation with LandSat and LiDAR Data and uncertainty analysis of the estimates. *International Journal of Forestry Research*, v. 2012, n. 1, p. 1-16, 2012.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; LIU, L.; LI, G.; MORAN, E. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, n. December, p. 37-41, 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2nda edição. Guarapuava: Editora Unicentro, 2006. v. 1-2ed.. 316p.

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. 2008. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. *Pesquisa Florestal Brasileira*. Colombo, n. 56. 17-29.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. 1998 Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 103, No. D 24, p. 31.593–31.612.

MALHI, Y. R.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ-VARGAS, P.; PITTMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ-MARTÍNEZ, R.; VINCETI, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*. 12, 1107-1138.

MARQUET, P.A.; QUIÑONES, R.A.; ABADES, S.; LABRA, F.; TOGNELLI, M.; ARIM, M.; RIVADENEIRA, M. 2005. Scaling and power-laws in ecological systems. *The Journal of Experimental Biology*. 208, 1749–1769.

MATOS, F. D. de A.; AMARAL, I. L. 1999. Análise ecológica de um hectare em floresta Ombrófila Densa de terra firme, estrada da várzea, Amazonas, Brasil. *Acta amazonica*. 29(3): 365-379.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.; PUTZ, F. E.; MARCO, P.; PENA, W.; FERREIRA, J. E. R. 2010. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 259, p. 367-373.

MELLO, A. A.; NUTTO, L.; WEBER, K. S. SANQUETTA, C. R.; MATOS, J. L. M.; BECKER, G. 2012. Individual Biomass and Carbon Equations for *Mimosa scabrella* Benth. (Bracatinga) in southern Brazil. *Silva Fennica*. v. 46, p. 333-343.

MEYER DE SCHAUENSEE, R. 1966. Species of birds of South America and their distribution. *Publ. Acad. Nat. Science*, 18: 1-578.

MITCHARD, E. T. A.; FELDPAUSCH, T. R.; BRIENEN, R. J. W.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; QUESADA, C. A.; GLOOR, M.; ter STEEGE, H.; MEIR, P.; ALVAREZ, E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BANKI, O.; BONAL, D.; BROWN, S.; BROWN, F. I.; CERÓN, C. E.; CHAMA MOSCOSO, V.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO, F.; CORRALES MEDINA, M.; Da COSTA, L.; COSTA, F. R. C.; Di FIORE, A.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FREDERICKSON, T.; HIGUCHI, N.; HONORIO CORONADO, E. N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LEVIS, C.; MAGNUSSON, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MENDOZA POLO, I.; MISHRA, P.; NASCIMENTO, M. T.; NEILL, D.; NÚÑEZ VARGAS, M. P.; PALACIOS, W. A.; PARADA, A.; PARDO MOLINA, G.; PEÑA-CLAROS, M.; PITMAN, N.; PERES, C. A.; POORTER, L.; PRIETO, A.; RAMIREZ- NGULO, H.; RESTREPO CORREA, Z.; ROOPSIND, A.; ROUCOUX, K. H.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R. P.; SCHIETTI, J.; SILVEIRA, M.; de SOUZA, P. F.; STEININGER, M. K.; STROPP, J.; TERBORGH, J.; THOMAS, R.; TOLEDO, M.; TORRES-LEZAMA, A.; van ANDEL, T. R.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VIEIRA, I. C. G.; VIEIRA, S.; VILANOVA-TORRE, E.; VOS, V. A.; WANG, O.; ZARTMAN, C.E.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L. 2014. Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*. DOI: 10.1111/geb. 12168, p. 1-12.

MORI, S. A.; CUNHA, N. L. *The Lecythidaceae of a Central Amazonian Moist Forest*. The New York Botanical Garden, Bronx, New York, 60 p. 1995.

MOSS, R.H.; SCHNEIDER, S.H., 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting. In: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC* [eds. R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka], World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33-51.

NEGRÓN-JUAREZ, R. I.; CHAMBERS, J.; GUIMARÃES, G.; ZENG, H.; RAUPP, C. F. M.; MARRA, D. M.; RIBEIRO, G. H. P. M.; SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; HIGUCHI, N. 2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin line event. *Geophysical Research Letters*. Vol. 37, L16701.

NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDONZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. London, v. 398, p. 505-508.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. *Applied linear statistical models*. Irwin, Chicago, Illinois, USA. 1408 p. 1996.

NIKLAS, K. J. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago . 395p. 1994.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. 256, 1853-1867.

OHASHI, S.; OKADA, N.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S.; VEENIN, T. 2009. Detecting invisible growth rings of trees in seasonally dry forests in Thailand: isotopic and wood anatomical approaches. *Trees*. 23: 813-822.

OHASHI, S.; OKADA, N.; AZIM, A. A. A.; YAHYA, A. Z.; NOBUCHI, T. 2011. Estimation of tree age in the humid tropics by vessel measurement: A preliminary study. *Tropics*. Vol. 19 (3). 107-112.

OLIVEIRA, A. A. 2000. Inventários quantitativos de árvores em matas de terra firme: Histórico com enfoque na Amazônia Brasileira. *Acta amazonica*. 30(4): 543-567.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*. Manaus, v. 34, n. 1, p. 21-34.

OLIVEIRA, L. C.; COUTO, H. T. Z.; SILVA, J. N.; CARVALHO, J. O. P. 2005. Efeito da exploração de madeira e tratamentos silviculturais na composição florística e diversidade de espécies em uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. *Scientia Forestalis*. N. 69, p. 62-76.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta amazonica*. 2008. Vol. 38(4): 627-642.

OLIVEIRA, M. M.; HIGUCHI, N.; CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G. 2014. Tamanho e formas de parcelas para inventários florestais de espécies arbóreas na Amazônia Central. *Ciência Florestal*. Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 645-653.

OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIGA, J.G. 1994. Evaluation of Regression Models for Above-ground Biomass Determination in Amazonia Rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, v.10, p.207-218.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Inventário florestal. Curitiba: Editorado pelos autores, p. 316, 1997.

PETERS-STANLEY, M.; GONZALEZ, G.; YIN, D. Covering New Ground: State of forest carbon markets 2013. Washington, DC. 101 p. 2013.

PHILLIPS, O.L.; HALL, P.; GENTRY, A.H.; SAWYER, S.A. e VÁSQUEZ, M. 1994. Dynamics and species richness of tropical rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91: 2805 – 22809.

PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; NÚÑEZ, P. V.; VÁSQUEZ, R. M.; LAURANCE, S. G.; FERREIRA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282(5388):439-442.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; BAKER, T. R.; CHAO, K. -J.; HIGUCHI, N. 2008. The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of The Royal Society*. 363, 1819-1827.

PILLI, R., ANFODILLO, T.; CARRER, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G.T & Lovejoy, T.E., eds. *Amazônia: key environment*. London, Pergamon Press, p. 109-145, 1985.

PORTO, M. L.; LONGHI, H. M.; CITADINI, V.; RAMOS, R. F.; MARIATH, J. E. A. 1976. Levantamento fitossociológico em área de “mata-de-baixio” na Estação

Experimental de Silvicultura Tropical – INPA – Manaus – Amazonas. Acta amazonica. 6(3): 301-318.

PRANCE, G. T.; RODRIGUES, W. A.; SILVA, M. F. 1976. Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme km 30 da Estrada Manaus – Itacoatiara. Acta amazonica. 6(1): 9-35.

QUEIROZ, W. T. Técnicas de amostragem em inventário florestal nos Trópicos. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação. 1998. 147 p.

RADAMBRASIL. Programa de Integração Nacional. Levantamento de Recursos Naturais. 1978. V. 14 (Alto Solimões) – RADAM (projeto) DNPM, Ministério de Minas e Energia. Brasil. 626p.

RANKIN-DE-MÉRONA, J. M.; PRANCE, G. T.; HUTCHINGS, R. W.; SILVA, M. F.; RODRIGUES, W. A.; UEHLING, M. E. 1992. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland Rain Forest in the Central Amazon. Acta Amazonia. 22(4): 493-534.

RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. O.; SILVA, M. F. F. 2011. Similaridade florística entre o estrato arbóreo e a regeneração natural de uma floresta secundária, no município de Bragança, nordeste do estado do Pará. Revista Brasileira de Agroecologia. 6 (3): 107-114.

REES, M.; CONDIT, R.; CRAWLEY, M.; PACALA, S.; TILMAN, D. 2001. Long-term studies of vegetation dynamics. Science. Vol. 293, 650-658.

RENNIE, J. C. 1979. Comparison of Height-Measurement Techniques in a Dense Loblolly Pine Plantation. Southern Journal of Applied Forestry. 3, n. 4, 146-148.

REZENDE, A. V. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. 269 p. 2002.

RIBEIRO, J. E. L da S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. da S.; BRITO, J. M. de; SOUZA, M. A. D. de; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. da C.; SILVA, C. F. da; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA. p. 816, 1999.

ROBERTS, T. R. 1972. Ecology of fishes in the Amazon and Congo basins. Bull. Mus. Comp. Zool., 143 (2): 117-147.

ROCHA, J. de A. Madeira caída como oportunidade para o manejo florestal comunitário em unidades de conservação no Amazonas, Brasil. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus. X p. 2010.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ÁLVAREZ, M. F.; SANZ-ABLONADO, E. Assessment of low-cost GPS receiver accuracy and precision in forest environments. v. 133, n. Nov., p. 159-167, 2007.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). Acta Amazonica, vol. 36(1) 2006: 107-114, 2006.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; SANTOS ALVALÁ, R. C.; SOARES, J. V.; YU, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon. Global Change Biology. 13, 816-837.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T. A.; SALAS, W.; ZUTTA, B. R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S. L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical region across three continents. PNAS. Vol. 108, n. 24. 9899-9904.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; SILVA, F. 2011. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for Pinus in Brazil. Carbon Balance and Management. v. 6, p. 1-22.

SANTANA, A. C.; SANTOS, M. A. S.; SANTANA, A. L.; YARED, J. A. G. 2012. O valor econômico da extração manejada de madeira no Baixo Amazonas, estado do Pará. Revista Árvore. Vol. 36, n. 3, p. 527-536.

SANTOS, H. M.; RIBEIRO, M. N. G. 1988. A hidroquímica do rio Solimões – Amazonas. Acta amazonica. 18(3-4): 145-172.

SANTOS, J. dos. Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. 121 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 1996.

SICK, H. 1972. A ameaça da Avifauna Brasileira. In: Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Ed. Pela Academia Brasileira de Ciências / CNPq / FNDCT. P. 99-153.

SIGRIST, P.; COPPIN, P.; HERMY, M. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. International Journal of Remote Sensing, v. 20, n. 18, p. 2595-3610, 1999. SILESHI, G. W. 2014. A critical review of forest biomass

estimation models, common mistakes and corrective measures. *Frest Ecology and Management*. 329. 237-254.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, S. M. A.; CARVALHO, J. O. P.; COSTA, D. H. M.; MELO, M. S.; TAVARES, M. J. M. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental: il., 2005. 69 p.

SILVA, R. P. da. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). 152 p. Tese de Doutorado. Programa Integrado de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais (INPA), Manaus, 2007.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C.; QUEIROZ, W. T.; SOUSA, R. J. 2011. Estimação de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, estado do Pará. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*. Belém, v. 7, b. 13. p. 7-18.

SKOLE, D.; TUCKER, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. Satellite data from 1978 to 1988. *Forest Science, Lawrence*, v. 260, p. 1905-1910.

SMITH, V. G. 1983. Compatible Basal Area Growth and Yield Models Consistent with Forest Growth Theory. *Forest Science*. Vol. 29, no. 2. 279-288.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLI, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, O.; SCHLEISINGER, P.; MCGRATH, D. 2005. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*. 19 (54). 137-152.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*. Vol. 440, n 23. 520-523.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M., 1983. Geochemistry of the Amazon, 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 88: 9671-9688.

STEENKAMP, C. J.; VOGEL, J. C.; FULS, A. van ROOYEN, N.; van ROOYEN, M. W. 2008. Age determination of *Acacia erioloba* trees in the Kalahari. *Journal of Arid Environments*, vol.72, issue 4, pp. 302-313.

STUIVER, M.; REIMER, P. J.; BARD, E.; BECK, J. W.; BURR, G. S.; HUGHEN, K. A.; KROMER, B.; MCCORMAC, G.; VAN DER PLICHT, J.; SPURK, M. 1998. INTCALL98

Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon. Vol. 40, no. 3. 1041-1083.

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. 1972. A Simultaneous Growth and Yield Model for loblolly Pine. Forest Science. 18:76-86.

SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; HALL, J. B. 1990. Structure and dynamics of a tropical dry forest in Ghana. Vegetatio. V. 88: 31-51.

TABACHNICK, B. G.; L. S. FIDELL. 1996. Using multivariate statistics. Harper Collins, New York, New York, USA. 1996. 4th edition. 58 p.

TCA (Tratado de Cooperação Amazônica). Amazonia Without Miths. Comission on Development and Environment for Amazônia. Quito - Equador, p. 99, 1992.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, J-F; MONTEAGUDO, A.; VARGAS, P. N.; MONTERO, J. C.; FELDPAUSCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON Jr., B-H.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; LÓPEZ, D. C.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. de A.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; DIAZ, P. R. S.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A. J. D.; PIEDADE, M. T. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARROYO, L; GRIBEL, R. FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; CERÓN, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; LIMA FILHO, D. de A.; JØRGENSEN, P. M.; FUENTES, A.; SCHÖNGART, J.; VALVERDE, F. C.; FIORE, A. Di.; JIMENEZ, E. M.; MORA, M. C. P.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; ANDEL, T. R. van; HILDEBRAND, P. von; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; RUSCHELL, A. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ, A. C.; GONZALES, T.; NASCIMENTO, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; MEDINA, M. N. U.; HEIJDEN, G. van DER; VELA, C. I. A.; TORRE, E. V.; VRIESENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; GIRALDO, L. E. U.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; CUENCA, W. P.; PAULETTO, D.; SANDOVAL, E. V.; GAMARRA, L. V.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. Science. New York, Vol. 342, 324-343.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. Pesquisa Florestal Brasileira. Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289.

THERRELL, M. D.; STAHL, D. W.; MUKELABAI, M. M.; SHUGART, H. H. 2007. Age, and radial growth of *Pterocarpus angolensis* in southern Africa. Forest Ecology and Management. 244, p. 24-31.

TRUMBORE, S.; BRANDO, P.; HARTMANN, H. Forest health and global change. Science, v. 349, n. 6250, 2015.

WEISS, N.; HASSETT, M. Introductory Statistics. 1982. Arizona State University. 650 p.

WEST, G. B., BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. Nature, 400: 664-667.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. 2014. Wood specific gravity variation with height and its implications for biomass estimation. Research Paper FPL-RP-677. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9 p.

WILLIAMS, M. S.; BECHTOLD, W. A.; LABAU, V. J. 1994. Five instruments for measuring tree height: An evaluation. Southern Journal of Applied Forestry., Vol. 18 (2): 76-82.

WOODHOUSE, I. H.; MITCHARD, E. T. A.; BROLLY, M.; MANIATIS, D.; RYAN, C. M. 2012. Radar backscatter is not a 'direct measure' of forest biomass. Nature Climate Change. 2, p. 556-557.

WORBES, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. Dendrochronologia. 20/1. 217-231.

ZHANG, G.; GANGULY, S.; NEMANI, R. R.; WHITE, M. A.; MILESI, C.; HASHIMOTO, H.; WANG, W.; SAATCHI, S.; YU, Y.; MYNENI, R. B. Estimation of forest aboveground biomass in California using canopy height and leaf area index estimated from satellite data. Remote Sensing of Environment, n. August, 2014.

IBGE. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/#/home.

Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. Forest Ecology and Management, v.117, p.43-52.

Souza, D.C., Sampaio Filho, I.J., Simonetti, A., Souza, C.A.S., Oliveira, L.R. e Freitas, S.F. A produção de soja na Fazenda São Wustro (Bahia) – safra 2020-2021 - e a mudança do clima ocorrida depois da segunda etapa da Revolução Industrial. Ed. Niro Higuchi – ISBN nº 978-65-00-42466-9, Manaus – AM, 44p.

Araujo, R. F., Chambers, J. Q., Celes, C. H. S., Muller-Landau, H. C., Santos, A. P. F. D., Emmert, F., ... & Higuchi, N. (2020). Integrating high resolution drone imagery and forest inventory to distinguish canopy and understory trees and quantify their contributions to forest structure and dynamics. *PloS one*, 15(12), e0243079.

Carvalho, J. O. P. de. 1997. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. (Embrapa-CNPQ. Documentos, 34). Belém: p.41-55.

Ecke, S., Dempewolf, J., Frey, J., Schwaller, A., Endres, E., Klemmt, H. J., ... & Seifert, T. (2022). UAV-based forest health monitoring: a systematic review. *Remote Sensing*, 14(13), 3205.

Favarin, J. L., Dourado Neto, D., García y García, A., Villa Nova, N. A., & Favarin, M. D. G. G. V. (2002). Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 37, 769-773.

Higuchi, N. 2001. A Inserção do Amazonas no contexto da convenção do clima e Protocolo de Quioto. Apontamentos Didáticos.

Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). Emissão e seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro: 125-153.

Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155-168.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2004. Good practice guidance for land use, land-use changes and forestry. Kanagawa, Japan, Institute for Global Environmental Strategies.

Lowe, G. (2004). Sift-the scale invariant feature transform. *Int. J.*, 2(91-110), 2.
Niklas, K.J. 1994. Plant Allometry: The Scaling of Form and Process. The University of Chicago Press. Chicago. 395p.

Peixoto, A. S. L. (2021). Distribuição e geometria de clareiras em floresta da Amazônia central combinando imagens de aeronave remotamente pilotada

(ARP) e dados de campo. Dissertação de mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais/INPA.

Pilli, R., Anfodillo, T. e Carrer, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

Silva, R.P. da. 2007. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). Tese de Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais/ INPA. 152p.

West, G.B., Brown, J.H. e Enquist, B.J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.

Zianis, D. e Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187: 311-332.



HISTÓRICO DE VERSÕES

VERSÃO	DATA	NOTAS
1.0	01/04/2025	Versão inicial aprovada pela Direção e lançada para consulta pública.