



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JANIEL CERQUEIRA DA SILVA

**MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA E DO VOLUME COMERCIAL DE
ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

JANIEL CERQUEIRA DA SILVA

**MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA E DO VOLUME COMERCIAL DE
ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2016

MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA E DO VOLUME COMERCIAL DE ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO

Janiel Cerqueira da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais

Aprovada em 14 de julho de 2016.

Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva (Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Dr^a. Lívia Thaís Moreira de Figueiredo (Membro externo)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof^a. Dr^a. Mayra Luiza Marques da Silva Binoti (Membro Interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586c Silva, Janiel Cerqueira da, 1990-
Métodos de medição da altura e do volume comercial de árvores no bioma amazônico / Janiel Cerqueira da Silva. – 2016.
69 f. : il.

Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça.

Coorientador: Gilson Fernandes da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Amazônia. 2. Inventário florestal. 3. Instrumentos. 4. Medição.
5. Árvores – Crescimento. I. Mendonça, Adriano Ribeiro de. II. Silva, Gilson Fernandes da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

AGRADECIMENTOS

Á Deus!

Pela saúde.

Pela Mãe maravilhosa, minha inspiração, quando precisei lutar e perseverar, para concretizar um dos meus sonhos.

Ao orientador Adriano Ribeiro de Mendonça e Coorientador Gilson Fernandes da Silva, pela orientação e auxílio durante a jornada de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Concessão da Bolsa de estudo.

A empresa Soar Madeiras, pelo auxílio na coleta dos dados.

Aos professores da Universidade Federal do Acre, Claudene Menezes Atayde Calderon e Rafael Azevedo Calderon, por ter acreditado, incentivado e ajudado nos momentos em que precisei.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade oferecida.

Aos colegas de república Valter Saraiva, Clailson Franco, Eth Rocha e Sandra Bezerra pelas ajudas oferecidas.

Aos parceiros de laboratório Giovanni, Evandro, Jeangelis, Luciana, Daniel, Rafaela, Taíse, Rodrigo, Antônio, Clayton, Eth, Luandson, Harliany, Marcia, Catherine, Sandra Pires, Julyana, Anny, Isáira, Mariana, Jeferson e Lívia.

Aos vigilantes por receberem sempre na entrada e na saída, com bom dia, boa tarde e boa noite, as meninas da Biblioteca pelo ótimo atendimento e o pessoal da limpeza pelos serviços prestados e as palavras amigas.

Aos parceiros de louvores e jogos Timoteo, Vitor, Leandro Andrade e Lourenço.

Aos Amigos de caminhadas e corridas Vítor, Márcia Carneiro, Naiara, Sandra Pires, Thaís e Glauceide.

Aos colegas da Pós-graduação que estiveram presentes nos momentos de aventura e distrações, Tamires, Elvis, Vanessa, Rosane, Renam, Marks, Stefania, Saulo, Flavinho, Nicácio, Anderson, Leandro Soares, Felipe, Fabio, André, dentre outros, inclusive da comunidade Jerônimo Monteiro.

RESUMO

SILVA, Janiel Cerqueira da. **MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA E DO VOLUME COMERCIAL DE ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Coorientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva.

Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes métodos de medição de altura e volume comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa na região Amazônica. Para isso, os métodos de medição de altura comercial analisados foram: Visual com experiência; Clinômetro Suunto; Hipsômetro eletrônico Haglöf II; Hipsômetro Vertex IV e a medição com árvore abatida com o auxílio de uma trena. Já para obtenção do volume comercial, foram analisados os métodos: cubagem com o Criterion RD 1000; estimação com o fator de forma igual a 0,7 considerando no cálculo do volume do cilindro o diâmetro a 1,30m e a medida visual com experiência da altura comercial; estimação com o fator de forma igual a 0,7 considerando no cálculo do volume do cilindro diâmetro a 1,30m e altura comercial medida com o Clinômetro Suunto e a cubagem rigorosa tradicional. Foram medidos 30 indivíduos de quatro espécies em uma floresta nativa localizada nos municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves, Acre. Para análise dos métodos, foi realizada a análise gráfica dos resíduos, além das estatísticas Viés (V), Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$), Médias das diferenças absolutas (MD). Dos métodos de medição de altura comercial, o Suunto se destacou, sendo o mais indicado para medição de altura das árvores em floresta nativa na Amazônia. Já entre os métodos de obtenção do volume comercial com casca das árvores individuais, a utilização do Criterion RD 1000 possibilitou a obtenção das medidas mais exatas.

Palavras-chave: Amazônia, inventário florestal, instrumentos, exatidão.

ABSTRACT

SILVA, Janiel Cerqueira da. **METHODS OF MEASUREMENT THE HEIGHT AND VOLUME MERCHANTABLE IN THE AMAZON BIOME**. 2016. Dissertation (Master in Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Co-Avisor: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva.

This work aimed to evaluate different methods of measuring of height and merchantable volume of trees for sustainable forest management purposes in a native forest in the Amazon region. For this, the merchantable height measurement methods were analyzed: Visual with experienced; Suunto clinometer; Electronic hypsometer Haglöf II; Hypsometer Vertex IV and measurement with tree felled with the aid of a measuring tape. For obtaining the merchantable volume, the methods analyzed were scaling with Criterion RD 1000; estimation with the form factor of 0.7 considering in the calculating the cylinder volume the diameter at 1.30m and the measure visual experienced of the merchantable height; estimation with the form factor of 0.7 considering in the calculating the cylinder volume the diameter at 1.30m and merchantable height measured with the Suunto Clinometer and traditional cubing. Were measured 30 individuals of four species in a native forest located in the municipalities of Mâncio Lima and Rodrigues Alves, Acre. For analysis of the methods, the graphical analysis of residuals was performed, in addition to statistical bias (V), root mean square error (RMSE), average absolute differences (MD). Considering the merchantable height measurement methods, the Suunto stood out, being the most suitable for measuring the height of the trees in native forests in the Amazon. Among the methods of obtaining the merchantable volume with bark of trees, using the Criterion RD 1000 made it possible to obtain more accurate.

Keywords: Amazon forest, inventory, instruments, accuracy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1.1. Objetivo geral	7
1.1.2. Objetivos específicos	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1. Medições de altura em povoamentos florestais	8
2.2. Instrumentos utilizados na medição de altura de árvores	9
2.3. Erros ao realizar a medição da altura das árvores	14
2.4. Medição do volume de árvores em inventários florestais	15
2.4.1. Cubagem rigorosa	16
2.4.2. Dendrômetros utilizados para cubagem de árvores em pé	16
2.4.3. Estimação do volume de árvores.....	17
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPÍTULO 1 — MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA COMERCIAL DE ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO	23
1. INTRODUÇÃO	26
2. METODOLOGIA.....	28
2.1. Localização e caracterização da área de estudo	28
2.2. Métodos utilizados para medição de altura comercial de árvores de uma floresta nativa na Amazônia	29
2.3. Seleção das espécies e das árvores- amostra.....	31
2.4. Exatidão dos métodos de medição da altura comercial das árvores.....	32
2.7. Análise dos atributos tempo de execução, exatidão e custo de implementação, conjuntamente, dos métodos de medição da altura comercial de árvores nativas	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1. Análise da exatidão dos métodos avaliados para medição da altura comercial em uma floresta nativa destinada ao manejo florestal sustentável	34
3.2. Comparação dos atributos tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de medição de altura comercial de árvores.....	37
4. CONCLUSÕES	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
CAPÍTULO 2 — MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA OBTENÇÃO DE VOLUME COMERCIAL COM CASCA DE ARVORES INDIVIDUAIS EM UMA FLORESTA NATIVA NO BIOMA AMAZONIA.....	44
1. INTRODUÇÃO	47
2. MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1. Localização e caracterização da área de estudo	49

2.2. Métodos não destrutivos utilizados para obtenção do volume comercial em árvores nativas da Amazônia.....	49
2.3. Seleção das espécies e das árvores-amostra.....	51
2.4. Exatidão dos métodos não destrutivos de obtenção do volume comercial de espécies nativas da Região Amazônica	51
2.5. Exatidão das estimativas do modelo volumétrico ajustado com os diferentes métodos de obtenção de dados	53
2.6. Teste Leite e Oliveira (2002).....	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1. Exatidão dos métodos não destrutivos de obtenção do volume comercial de árvores nativas na Amazônia.....	56
3.2. Análise da exatidão do modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) ajustado com diferentes métodos de obtenção do volume comercial.....	58
3.3. Teste Leite e Oliveira (2002).....	62
4. CONCLUSÕES	64
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
6. CONCLUSÕES GERAIS	66

1. INTRODUÇÃO

Para promover o melhor uso dos recursos de florestas nativas na Amazônia, especificamente a madeira, é necessária a realização de inventários florestais para o planejamento das atividades de exploração. Uma das principais funções dos inventários florestais, do ponto de vista econômico, é estimar o estoque de madeira da floresta, a fim de direcionar a matéria-prima ao seu determinado uso para que posteriormente seja elaborado o plano de corte (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015).

Os inventários florestais são importantes uma vez que fornecem informações sobre a floresta, permitindo a tomada de decisões adequadas, além de possibilitar o melhor planejamento de suas atividades (SILVA et al., 1984). As variáveis mensuradas em inventários florestais mais utilizadas para obtenção do volume de madeira existentes em uma floresta são a altura e o diâmetro (FREITAS; WICHERT, 1988).

Nos inventários florestais, geralmente, é realizada a medição de parte da população, e extrapolado os resultados para a área total, visando planejar as operações florestais (LEITE; ANDRADE, 2002). Para a confiabilidade de um inventário florestal é necessário que se conheçam as suas fontes de erro, para assim tentar eliminar, ou ao menos minimizar o seu efeito nas medidas (FREITAS; WICHERT, 1988).

A identificação de métodos e instrumentos que possibilitem a medição das variáveis dendrométricas com maior exatidão é de grande relevância, pois melhora a exatidão dos inventários florestais, o que propicia um melhor planejamento para o uso dos recursos florestais de forma sustentável.

Poucos estudos têm sido realizados em florestas tropicais na Amazônia visando a identificação de métodos e instrumentos para a obtenção de medidas dendrométricas com maior exatidão (GONÇALVES; ELDINK; POKORNY, 2008; MOURA, 1984; ROLIM et al., 2006; SILVA; ARAÚJO, 1984). Os estudos existentes, em sua maioria, são aplicados em florestas plantadas e outros biomas (CURTO et al., 2013; MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015; NICOLETTI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 2012a).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar diferentes métodos de medição da altura e do volume comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa na região Amazônica.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Analisar o tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de medição de altura comercial das árvores em uma área de manejo florestal sustentável.
- b) Analisar a exatidão dos métodos de obtenção de volume comercial com casca de árvores em pé em uma área de manejo florestal sustentável.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Medições de altura em povoamentos florestais

Uma medição se inicia com a especificação do mensurando, determinação do método de medição e do procedimento, e tem como objetivo obter o valor de uma grandeza específica a ser medida e, em geral, o resultado de uma medição é somente uma aproximação ou estimativa do valor do mensurando (BARATTO et al., 2008). Ainda conforme estes autores, o termo medição só é completo quando leva junto a declaração de incerteza. Em muitos casos, o resultado de uma medição é determinado por uma série de observações realizadas sob condições de repetição.

A medição da altura de uma árvore corresponde à medida da distância linear, partindo da base rente ao solo até um ponto acima determinado. Várias são as menções nas literaturas referentes à altura das árvores, algumas delas são:

a) altura total: é a distância vertical ao longo do eixo principal, iniciando rente ao solo até a um ramo ou galho vivo mais alto da árvore, (GOODWIN, 2004).

b) altura do fuste: refere-se à distância vertical entre o terreno e a base da copa da árvore. Em algumas ocasiões é confundida como a altura comercial (SOARES; SOUZA, 2011).

c) altura comercial: a definição deste termo é subjetiva. Machado e Figueiredo Filho (2009) citam que esta medida depende do uso, do mercado e da região. Segundo estes autores, esta altura é a distância vertical entre o terreno até o diâmetro mínimo de uso ou até a primeira ramificação. Em floresta nativa, as árvores costumam apresentar sapopemas (raízes tabulares) e, portanto, a altura comercial passa a ser o intervalo de distância iniciando no final da sapopemas até um ponto ao longo do fuste da árvore, podendo ser a primeira bifurcação ou injúria.

A altura das árvores é uma variável importante para o manejo florestal, pois é útil para se obter o volume das árvores individuais e incremento em altura; também é utilizada para avaliar o desenvolvimento de uma espécie em um determinado local; e associada com a idade de plantação de um povoamento, é utilizada na classificação da qualidade de um local (SILVA et al., 1979; SOARES; SOUZA, 2011). Larjavaara e Landau (2013) citam que a altura da árvore também é importante para estimar a biomassa, mas é de difícil medição em árvores de florestas com copas densas. Essa medida fornece informações importantes que atendem a diversas finalidades,

possibilitando o conhecimento das potencialidades produtivas que visam estabelecer metas comerciais de manejo, ordenação florestal e de pesquisa (JESUS et al. 2012). Além disso, a altura tem importância para definição de estratégias de otimização do uso do fuste das árvores para multiprodutos, como serraria, celulose e energia (SILVA et al., 2012b). Também é utilizada para realizar estimativas de estoque de carbono florestal, visando analisar quantitativamente a contribuição das florestas tropicais para o ciclo global de carbono (CHAVE et al., 2005).

A obtenção das medidas de altura das árvores pode ser feita de forma direta ou indireta. A medição de forma direta consiste em obter a medida de altura junto à árvore por meio da medição, após abate da árvore, com uma trena comum; com a árvore em pé, realizando escalada e com uso de uma trena (não muito utilizado por motivo das dificuldades de medição); uso de uma régua graduada, o qual essa é posta ao lado da árvore e tem-se que fazer a distensão até esta ficar à altura da árvore, e por fim registrar a leitura da escala da mesma (CUNHA, 2004; SILVA; PELLICO NETO, 1979). Na obtenção da altura por medição indireta, são utilizados diversos medidores de altura, genericamente conhecidos como hipsômetros (CAMPOS; LEITE, 2013).

2.2. Instrumentos utilizados na medição de altura de árvores

Os mensuradores florestais, ao longo do tempo, criaram diversos tipos de instrumentos para medir a altura de árvores, alguns deles foram idealizados para medir a altura de forma direta, como as réguas telescópicas e outros para medir indiretamente, genericamente conhecida como hipsômetros (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). Além destes, os clinômetros também são utilizados para medição de altura.

A distinção entre hipsômetros e clinômetros se dá devido ao primeiro ter uma utilização específica para medição de altura, enquanto o segundo tem sua finalidade específica para medir ângulos. Normalmente após a operação dos hipsômetros é dada o valor da altura diretamente no visor do instrumento, porém, para obter a altura com o clinômetro tem-se que registrar o valor dos ângulos para cálculos posteriores da altura das árvores.

Os hipsômetros têm o funcionamento baseado na semelhança de triângulos (princípio geométrico) ou na tangente de ângulos (princípio trigonométrico)

(FINGER, 1992). Os hipsômetros geométricos são de construção mais simples comparada aos hipsômetros trigonométricos, e a maioria deles de construção caseira (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). Da diversidade de instrumentos de medição de altura existentes, muitos normalmente apresentam o mesmo princípio de funcionamento, embora sejam diferentes quanto à sua forma (CUNHA, 2004).

Os instrumentos mais comuns na área florestal utilizados para medição de altura das árvores são o hipsômetro Vertex, hipsômetro Haga, hipsômetro Blume-Leiss, hipsômetro e clinômetro eletrônico Haglöf, clinômetros Suunto, e clinômetro de Abney, estes instrumentos têm o princípio de funcionamento trigonométrico.

A altura das árvores também pode ser realizada sem o uso de hipsômetros, por métodos mais simples, de baixa precisão, denominados de métodos expeditos. Cunha (2004) classifica como sendo uma forma alternativa de medição quando o operador não tem um instrumento de medição, podendo recorrer a uma vara graduada, com comprimento podendo ser variável. Esta é encostada na árvore e serve de referencial, o operador se coloca a uma distância e realiza a medida, tendo como unidade de medida a vara.

O clinômetro Suunto é originário da Finlândia, seu funcionamento consiste em medição de ângulos na base e no topo da árvore, e a distância horizontal do operador à árvore pode ser variável (SKOVSGAARD et al., 1998). Este instrumento é contido em uma caixa metálica de mais ou menos 7,5 centímetros de comprimento de altura por 5,0 de largura e 1,5 de espessura. Todos os clinômetros Suunto apresentam a parte física de alumínio sólido (FORESTRY SUPPLIERS, 2016).

O Suunto apresenta escala normalmente em porcentagens e graus, sendo também encontrado com graduação em metros, para medir altura de 15 e 20 metros (CAMPOS; LEITE, 2013). As escalas graduadas em graus de 0° a 90° e em porcentagem de 0% a 150%, para cada lado da marca zero, são montadas de uma forma no interior do aparelho que as partes móveis são imersa em um líquido especial, que protege a escala de vibrações (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Para medir a altura com o clinômetro Suunto, deve-se ter o conhecimento da distância do operador até a árvore, o operador tem que manter de preferência ambos os olhos abertos e de forma simultânea um observando a escala outro o local de visada. A leitura é realizada no ponto em que um fio na horizontal corta a escala, sendo que a visada deve ser feita na base e a um ponto acima definido.

Para obtenção da medida de altura, considerando um terreno plano, utilizando o Clinômetro Suunto com escala em graus, a tangente da visada inferior é somada com a tangente da visada do superior, e multiplicado pela distância em metros. Já quando se usa a escala em porcentagem, as leituras obtidas são divididas por 100, somadas, e multiplicada pela distância.

O hipsômetro e clinômetro Haglöf têm a utilidade para calcular a altura com acurácia e medir ângulos (BRASILHOBBY, 2016; ELOFORTE, 2016). É de procedência da Suécia, com dimensões de 6,3 cm de altura x 4,4 cm de largura x 2,0 cm de espessura, bastante leve com peso de 50 gramas com a bateria (BRASILHOBBY, 2016).

A maior dimensão do hipsômetro e clinômetro Haglöf é de 6,3 centímetros, comercializado com graduação em metros e graus ou em metros e porcentagem, todo o processo de leitura de medição da altura é feito com apenas um único botão (CAMPOS; LEITE, 2013).

Para realizar a medição de altura com este instrumento é tomado como referência a distância entre o mensurador e o objeto a ser mensurado, sendo que está distância pode ser definida pelo operador, desde que ela seja conhecida (SILVA, 2012b).

Essa distância medida entre o operador e árvore, normalmente com auxílio de uma trena, é registrada no instrumento, e, com os dois olhos abertos, o operador tem que nivelar a mira com a base da árvore e manter um clique longo no botão DIST. Isso congela a leitura na base e, em sequência, o operador mantém a mira nivelada no topo da árvore e pressionar o botão até aparecer o valor da medida de altura no visor (CAMPOS; LEITE, 2013). Com este instrumento é possível realizar medidas de altura a qualquer distância (BRASILHOBBY, 2016; CAMPOS; LEITE, 2013; SILVA, 2012b). Ele realiza cálculos posteriores às tomadas de ângulos, sem necessidade de cálculos manuais e o resultado é mostrado imediatamente no visor (BRASILHOBBY, 2016).

O Vertex é um hipsômetro que tem como utilidade a medição de altura, ângulos de inclinação, distância e temperatura, sendo a mais importante a obtenção de altura (CAMPOS; LEITE, 2013). Atualmente os modelos disponíveis no mercado são o hipsômetro Vertex Laser- VL5 (combina as tecnologias de medição com laser e ultrassom) e Vertex IV (baseado em ondas ultrassom) (ELOFORTE, 2016).

O Vertex IV tem dimensão 8 x 5 x 3 centímetros. Este aparelho agiliza a medição de altura, bem como a implantação de parcelas circulares, excluindo a necessidade de trenas ou cordas. Também armazena os dados coletados, podendo ser transferidos para uma suta ou coletor por *bluetooth* ou infravermelho (ELOFORTE, 2016).

O Vertex IV compõe-se do Vertex propriamente dito e do transmissor-receptor (*transponder*) com adaptador e suporte. Este instrumento apresenta escala em graus para determinação de ângulos, metros e pés para a medição de altura. A medição de altura pode ser obtida com o uso ou a ausência de instrumento de comunicação para medir a distância. No primeiro caso, é necessário obter a medida da distância utilizando uma trena e essa medida deve ser inserida no aparelho. No segundo caso, a utilização do Vertex com o *transponder*.

Para obter uma medida de altura, ao ligar o equipamento é realizada a calibração do *transponder* para altura pré-definida (1,30 metros). Posteriormente, o *transponder* é fixado na árvore e o operador deve procurar uma posição para visualizar tanto o *transponder* como o topo da árvore. Após isso, pressiona-se o botão de cor vermelha por alguns segundos, em seguida aponta-se novamente para o topo da árvore e é acionado novamente o botão vermelho. A medida será dada automaticamente no visor do aparelho (MACHADO; FILHO, 2009).

Silva et al. (2012a) citam que o uso do hipsômetro Vertex é uma opção interessante para se medir a altura de árvores em florestas nativas. Por empregar impulsos ultrassônicos, esse aparelho permite realizar a medição da altura a qualquer distância, sendo que um dos fatores negativos é o custo mais elevado e as dificuldades para sua manutenção.

Jesus et al. (2012) avaliaram a medição da altura total obtida com os hipsômetros Haga e Vertex, e o clinômetro Suunto em uma floresta plantada e identificaram que não houve diferença na obtenção da variável altura com os três instrumentos, em comparação a altura real (mensurada com uma trena após o abate da árvore).

Silva et al. (2012b) avaliaram as medidas de altura total de árvores em uma floresta nativa no Espírito Santo, com os métodos visual sem treinamento, visual com treinamento e medição com Vertex, considerando a medida obtida com a escalada como a real. Estes autores concluíram que as medidas de altura total mais exatas foram obtidas com a estimativa visual com treinamento, seguido pelo Vertex

e estimação visual sem treinamento. Observaram também que o aumento na altura das árvores influenciou a exatidão das estimativas pelos métodos analisados.

Gonçalves, Eldink e Pokorny (2008) verificaram a exatidão das medidas de altura comercial de árvores em floresta tropical na Amazônia, obtidas por estimativa visual por quatro equipes, a equipe 1 não tinha conhecimento do valor da altura e a 2,3,4 tinham o conhecimento da altura coletada com o dendrômetro com tecnologia eletrônica e a Laser (LEDHA GEO), sendo as medidas do instrumento utilizadas como a referência de precisão. Observou-se que não houve diferença entre as médias das medidas de altura coletadas visualmente (alturas entre 8 e 27,7 metros) pelas 4 equipes, em comparação com as medidas do instrumento. Estes autores verificaram que quanto maior a altura das árvores, maior a tendência dessa altura ser subestimada pelo método visual.

Oliveira et al. (2014), em um estudo desenvolvido em um povoamento clonal de eucalipto, avaliando a medição da altura total obtida com o hipsômetro a laser, prancheta dendrométrica, clinômetro eletrônico Haglöf e Relascópio de Bitterlich, observaram que as medidas de altura total obtidas com todos os instrumentos tiveram tendência em subestimar a altura. O clinômetro eletrônico, a prancheta dendrométrica e o relascópio de Bitterlich geram medições precisas em relação a altura real obtida com trena. O hipsômetro a laser se mostrou um instrumento não confiável quando se deseja realizar medidas de altura com exatidão. Quanto ao tempo de execução dos instrumentos, a prancheta dendrométrica foi o instrumento mais rápido para medição da altura.

Curto et al. (2013), em um estudo realizado no Espírito Santo, comparou a precisão das medidas de altura total em áreas de Mata Atlântica, concluindo que a estimativa visual com treinamento apresentou o melhor desempenho em exatidão e menor tempo na realização das medidas, em diferentes condições de terreno e em diferentes classes de altura. O instrumento Vertex teve melhor desempenho quanto ao tempo comparado ao clinômetro eletrônico Haglöf.

David et al. (2011), compararam a medidas de altura total das árvores, obtidas com o clinômetro eletrônico Haglöf e régua telescópica em uma floresta nativa no Espírito Santo, observaram que, estatisticamente, não houve diferença quanto a média das medidas obtidas, sendo que a medida do Hipsômetro Haglöf obteve bons resultados para árvores menores de 15 m em terreno plano.

2.3. Erros ao realizar a medição da altura das árvores

Toda grandeza física tem sua medida verdadeira, que é seu valor exato. O erro é a diferença entre o valor exato e o valor de uma medição, quanto maior a incerteza em relação a uma medição, maior é o erro de medida (SOARES; NETO; SOUZA, 2013).

Os principais tipos de erros cometidos na realização de uma medida são: aleatórios, sistemáticos, grosseiros, compensantes e de estimativa. Os erros aleatórios são resultantes de fatores não controláveis, associados à variabilidade natural dos processos físicos (CABRAL, 2004).

Os erros sistemáticos são os que ocorrem sempre em um mesmo sentido, para mais ou para menos em relação ao verdadeiro valor da grandeza. Eles têm causas diversas e, geralmente, estão relacionados à falta de calibração do instrumento e erros na operação do aparelho na medição propriamente dita (SOARES; NETO; SOUZA, 2013). Uma das causas deste tipo de erro é a utilização da fita métrica com emendas e o operador em posição inadequada (CUNHA, 2004).

Já os erros grosseiros, em relação à teoria do erro, não são considerados como erros, mais sim enganos que o operador comete durante a medição ou cálculos na análise de dados (SOARES; NETO; SOUZA, 2013). Exemplos relacionados a esta classe de erros são aqueles decorrentes de pouco treino do operador e o cansaço (CABRAL, 2004).

Os erros compensantes são independentes do operador e estão mais relacionados ao arredondamento do valor da medida (CUNHA, 2004). Por fim, os erros de estimação são erros decorrentes de amostragem, onde se mede parte de uma população e se extrapola valores para toda a população (SILVA; NETO, 1979).

Couto e Bastos (1998), estudando os erros apresentados pelos instrumentos Blume-Leiss, Haga, Suunto, Haglöf e Weise na medição de altura total de árvores em um povoamento de *Eucalyptus*, observaram que os fatores operador, instrumento, distância do operador a árvore e a classe de altura influenciam na magnitude do erro. Os erros foram menores quando a distância entre o operador e a árvore é maior, e dependendo da classe de altura das árvores, os instrumentos apresentam erros diferentes. Destes, o Haga e o Suunto apresentaram menor erro e a altura total foi obtida mais rapidamente pelos instrumentos Blume-Leiss e Suunto.

Silva et al. (2012b) analisaram a influência de diferentes fontes de erros sobre as medições de altura de árvore em uma floresta plantada, com o uso dos instrumentos, hipsômetro digital Haglöf, Haga e Vertex III, operado por três diferentes pessoas e com medidas tomadas nas distâncias de 15, 20, 25 e 30 metros, com a altura total das árvores variando de 15 a 35 metros. Estes autores perceberam que quando a altura de uma árvore é estimada com o operador muito próximo da mesma, diversos fatores atuam e torna a estimação mais passível a erros. Os maiores erros na medição da altura foram encontrados na medição de árvores mais altas (maiores que 25 metros de altura).

No entanto, se for dada atenção às situações que podem ocasionar erros de medição, a possibilidade de obter maior exatidão ao se medir uma grandeza física qualquer é maior.

2. 4. Medição do volume de árvores em inventários florestais

A mensuração do volume de madeira de uma árvore pode ser feita com métodos e instrumentos, de forma destrutiva ou não destrutiva. Quanto à forma destrutiva, algumas maneiras de obtenção são: por meio do xilômetro; pesagem e cubagem rigorosa após o abate da árvore (SOARES et al., 2011a).

A medição do volume de forma não destrutiva pode ser realizada com o uso de instrumentos dendrométricos óticos construídos exclusivamente para a realização de medida de diâmetro a qualquer altura, estimação por meio de modelos de regressão ou fator de forma do fuste da árvore. Os modelos para estimar o volume das árvores geralmente utilizam relações previamente estabelecidas entre variáveis de fácil mensuração como o *DAP* e a altura total das árvores (SILVA, et al., 1984).

De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2009), o valor verdadeiro do volume de uma árvore, também conhecido como valor paramétrico, é considerado como sendo o volume colhido com o método de deslocamento de água (xilômetro). Este método consiste em inserir os toretes ou pedaços de madeira em um reservatório com água, ao inserir, ocorre um deslocamento do líquido para outro nível, em que a diferença da leitura final e inicial determina o volume (CUNHA, 2004; BATISTA, 2011).

A obtenção do volume das árvores por peso é um método utilizado em grandes empresas, por meio de balanças (CUNHA, 2004). Seu uso é realizado com

frequência nas indústrias que processam toras finas, de pequeno diâmetro, nas quais o peso da carga de madeira é calculado pela diferença do peso do caminhão com e sem carga (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009; OLIVEIRA et al., 2011).

2.4.1. Cubagem rigorosa

A cubagem de uma árvore ou parte dela é o mesmo que obter o volume com rigor, que se refere a tomar o volume total ou parcial dos sólidos de revolução que mais lhe assemelham (FINGER, 1992). Este método pode ser empregado com a árvore em pé, por meio de escalada utilizando-se uma fita comum, fita diamétrica ou suta. Também pode ser realizada com uso de instrumentos dendrométricos. A cubagem rigorosa é o método mais utilizado na prática para obtenção do volume de árvores (CUNHA, 2004). Este método tem sido muito utilizado pelos mensuradores florestais, principalmente por apresentarem facilidade de uso (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009).

A aplicabilidade de qualquer método de cubagem depende de medidas de diâmetro ou circunferências sucessivas em várias alturas ao longo do fuste da árvore. O fuste da árvore é dividido em n seções (toras) e a soma do volume destas seções resulta no volume da árvore.

Os métodos de cubagem rigorosa são divididos em métodos absolutos e relativos. Para os métodos absolutos, utiliza-se o comprimento da seção da tora sem vínculo com o comprimento total da árvore, já os métodos relativos, o comprimento da seção ou tora representa uma percentagem da altura total da árvore (CABACINHA, 2003).

As principais fórmulas usuais para medição de volume são: Smalian, Huber e Newton. Quanto menor for o comprimento das seções, menor é a diferença das estimativas (SOARES et al., 2011).

2.4.2. Dendrômetros utilizados para cubagem de árvores em pé

Um das maneiras de obtenção do volume de uma árvore em pé podem ser com o uso de um dendrômetro, como o Criterion, Pentaprisma ou um Relascópio de Bitterlich para medição de *DAP* e altura (CAMPOS; LEITE, 2013).

O Criterion 400 foi o primeiro instrumento fornecido para teste em 1990 e, atualmente, substituído pelo Criterion RD 1000 (LASERTECH, 2016). O dendrômetro digital Criterion RD 1000 é um instrumento digital moderno baseado no princípio trigonométrico (TERRAGES, 2016). Este dendrômetro apresenta dimensões de 7cm x 5 cm x 16,5 cm; peso de 500 gramas. A ele pode ser adaptado um monopé ou tripé para facilitar nas medições. As medidas podem ser armazenadas no instrumento e transferidas por uma porta Serial RS232. Este instrumento tem alcance para medição de diâmetro de 5 cm a 254 cm. Para aumentar a precisão das medidas a longas distâncias, é possível utilizar a função de magnificação (TERRAGES, 2016).

Rodríguez et al. (2009) avaliaram a exatidão do Criterion RD 1000 para medição do diâmetro e volume em um plantio de pinheiro negro na Espanha. Estes autores verificaram que o instrumento apresentou tendência em subestimar o valor do diâmetro e volume e que a precisão das medidas está relacionada a distância em que o operador se encontra da árvore para realizar as medidas e recomendam uma distância relativa a metade da altura total da árvore.

Nicoletti et al. (2015), analisando a acurácia dos dendrômetros óticos Criterion 400 e RC3H em cubagem da árvore em pé, em três parcelas de *Eucalyptus grandis*, chegaram à conclusão que os instrumentos tiveram a tendência de subestimar e o Criterion 400 foi o que resultou nas melhores medidas.

2.4.3. Estimação do volume de árvores

Existem vários métodos para estimar o volume de árvores e os mais usuais são o ajuste de equações de volume e a estimação pelo fator de forma (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015).

O fator de forma é o método mais antigo utilizado para estimativa do volume de árvore (NETTO, 1980). Este fator pode ser calculado de duas formas: obtido pela razão do volume rigoroso da árvore e o volume do cilindro com a medida de diâmetro a 1,30 acima do solo (fator de forma artificial) e obtido como a razão entre o volume rigoroso da árvore e o volume do cilindro com a medida de diâmetro tomado a 1/10 da altura da árvore - fator de forma natural (FINGER, 1992).

O fator de forma é conceituado como um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore, para obter a estimativa do volume de uma

árvore, é utilizado o valor do volume cilíndrico, multiplicado pelo fator de forma do fuste da árvore (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015). Essa maneira de obtenção de volume é uma opção antiga e deve ser utilizada em casos que se pretende realizar trabalhos mais rápidos de inventários florestais. Esse método fornece estimativas confiáveis, desde que se controle a tipologia florestal, espécie e classe diamétrica (FIGUEIREDO; SHROEDER; PAPA, 2009; MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015).

Na Amazônia, o fator de forma usual pelas empresas e órgãos fiscalizadores para a realização dos inventários florestais é de 0,7 (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015; FIGUEIREDO; SHROEDER; PAPA, 2009). Moura (1994), estudando a forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira, identificou que para a floresta como um todo em Santarém, PA, o fator de forma foi de 0,75.

Outras formas de estimação do volume das árvores são: o uso de modelos volumétricos, em que são realizados ajuste e análises estatísticas, com base na cubagem rigorosa de algumas árvores, estas devem representar a distribuição diamétrica de uma floresta, abrangendo todas as classes de diâmetro; modelos de *taper*, que definem o afilamento natural do fuste e modelos de múltiplos volumes que permitem a estimação do volume de partes do fuste das árvores para diversos fins (SOARES et al., 2011).

O uso da equação volumétrica de Schumacher e Hall (1933), em estudos desenvolvidos por Rolim et al. (2006); Silva et al. (1984) e Soares et al. (2011) apresentou bom resultado quanto a maior exatidão da estimativa de volume de árvores em florestas nativas.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; Vidal, E. **Floresta para sempre**: um manual para produção de madeira na Amazônia. Belém: Imazon, 130 p. 1998.

ABREU, J. C.; MARANGON, G. P.; ANJOS, R. V.; HOLANDA, A. C. Modelagem hipsométrica em uma floresta de várzea na região adjacente a foz do rio Amazonas. **Revista Verde**. Mossoró, v. 6, n. 4, p. 213 – 218, 2011.

BARATTO, C. A.; DAMASCENO, C. J.; ALVES, P. A. J.; FILHO, T. J.; COUTO, G. R. P.; OLIVEIRA, P. S. **Avaliação de dados de medição- Guia para a expressão de incerteza de medição**. INMETRO, 138 p., set. 2008.

BATISTA, J. L. F. **Mensuração de árvores**: uma introdução à dendrometria. ESALQ/USP, 205f. 2001.

BIODIVERSIDADE BRASILEIRA: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. BRASÍLIA - DF 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Bio5.pdf>. Acesso em abr. 2015-04-17.

BRASILHOBBY. Disponível em: <<https://www.brasilhobby.com.br/descricao.asp?CodProd=HEC-2>>. Acesso em 25 de jan. 2016.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**: 2003. 166p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

CABRAL, P. Erros e incertezas nas medições. Disponível em <<http://www.peb.ufrj.br/cursos/ErrosIncertezas>>. Acesso em: 06 de fev. de 2015.

CAMPOS, J. C. C; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. 4 ed. Viçosa: UFV. 2013. 548p.

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

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Erros de medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em região plana. **IPEF**, Piracicaba, v, n. 39, p. 21-31. 1988.

CUNHA, U.S. da. **Dendrometria e inventário florestal**: série técnica adaptada para atender ao módulo de Dendrometria e inventário no curso técnico em manejo florestal. Manaus: Escola Agrotécnica Federal de Manaus. 61 p. 2004.

CURTO, R. A; SILVA, G. F. DA; SOARES C. P. B.; MARTINS, L. T. 4; DAVID, H. C. Métodos de estimação de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**. Curitiba, v. 43, n. 1, p. 105-116, 2013.

DAVID, H. C. **Métodos de medição de altura de árvores em uma floresta nativa do Sul o Espírito Santo**, 2011. 32 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

DAVID, H. C et al. Avaliação do clinômetro digital para medição da altura de árvores em uma floresta nativa no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE. 4. 2012, Paraná. **Anais...Paraná: UFPR**, 2012. Disponível em:< http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Arquivos_HTML/1-Apresentacao.htm>. Acesso em: 04 mar. 2016.

ELOFORTE, 2016 Disponível em: <<http://eloforte.com>>. Acesso em 10 mar. 2016.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; TICCHETTI, I. **Variáveis dendrométricas**. V. 4, Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 102 p. 2002. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

FIGUEIREDO, E. O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D. de A. Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia. **Comunicado Técnico**. Rio Branco, AC, 2009.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS.1992. 269 p.

FORESTRY SUPPLIERS Disponível em: http://www.forestry-suppliers.com/product_pages/Products.asp?mi=13161&itemnum=43830. Acesso em: 22 jan. 2016.

FRANCEZ, L. M. de B.; SOUZA, D. V.; TAKEHANA, C. L. I.; BARROS, P. L. C. **Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS**. Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. 66 p.

FREITAS, A. G.; WICHERT, M. C. P. Comparação entre instrumentos tradicionais de medição de diâmetro e altura com o Criterion 400. **IPEF**, Piracicaba, n. 188, 1-7 p, 1998.

GONÇALVES, D. de A.; ELDIK, T. V.; POKORNY, B. O uso de dendrômetro a laser em florestas tropicais: aplicações para o manejo florestal na Amazônia. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 175-187, 2009.

GOODWIN, A. N. Measuring tall tree heights from the ground. **TASFORESTS-HOBART**-, v. 15, p. 85-98, 2004.

JESUS, C. M. DE; MIGUEL E. P.; LEAL, F. A.; ENCINAS, J. I. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.15, p. 291, 2012.

LASERTECH, 2016. Disponível em: <<http://www.lasertech.com/Criterion-RD-1000.aspx>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

LASERTECH, 2016. Disponível em: <<http://www.lasertech.com>. > Acesso em: 11 maio. 2016.

LARJAVAARA, M.; LANDAU, H. C. M. Measuring tree height: a quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. **Methods in Ecology and Evolution**, London, v. 4, n. 9, p. 793-801, 2013.

LEITE, H. G., ANDRADRE, C. L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LEWINSOHON, T. M.; PRADO, P. I. Biodiversidade Brasileira: síntese do estado atual do conhecimento. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/doc/estarte.doc> nov. 2000>. Acesso em: abr. 2015-04-17.

MACHADO, S. do A.; FILHO, A. F. **Dendrometria**. 2. Ed. Guarapuava. UNICENTRO, 316 p. 2009.

MACHADO, S. do A.; TÊO, S. J. 2; URBANO, E., FIGURA, M. A.; SILVA L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para Bracatinga (*Mimosa scambrella Bentham*). **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.

MACHADO, S. do A.; FILHO, A. F. **Dendrometria**. 2. Ed. Guarapuava. UNICENTRO, 2009. 316 p.

MAULONI, J. A.; DISPERATI, A. A.; MACHADO, Á. M. LIMA. M, E. A. Investigação fotogramétrica em imagens digitais para cálculos dendrométricos. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba - PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

MIRANDA, D. L. C., JUNIOR, V.B., GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, Sergipe, v.11, n. 03, 2015.

MOURA, J. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira**, 2011. 32 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

NETTO, S. P. Estimativas volumétricas de árvores individuais. **Floresta**, Curitiba, v. 11, n. 2, p.63-73, 1980.

NICOLETTI, M. F.; BATISTA, J. L. F.; CARVALHO, S. de P. C.; CASTRO, T. N. de; HESS, F. A. Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação do volume de árvores em pé. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 395-404, 2015.

OLIVEIRA, E. B. de; NAKAJIMA, N. Y; CHANG, M.; HALISKI, M. Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal, **Embrapa Florestas**, Documentos. p. 39, 2011.

OLIVEIRA, X. M.de. et al. Precisão e tempo de operação de alguns instrumentos para medir altura de árvores. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n. 18, p.2336, 2014.

RODRIGUEZ, F., FERNANDES, A., LIZARRALDE, I., CONDÉS, S I. Criterion™ RD1000: Una oportunidad para calcular el volumen de árboles en pie. In: **Congressos-carga final**. 2009.

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

SCHNEIDER; P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; **Introdução ao manejo florestal**, 2.ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 556 P.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

SILVA, G. F. da; OLIVEIRA O. M. de; SOUZA C. A. M. de; SOARES, C. P. B.; LEMOS, R. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 397-405, 2012b.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012a.

SILVA, J. A. A da; NETO, F. de. P. **Princípios básicos de dendrometria**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (Brasil). Departamento Ciência Florestal Universidade de Brasília, Brasília, DF (Brasil). Dep. de Engenharia Florestal, 1979.

SILVA, J. N. M; CARVALHO, J. O. P. de; LOPES, J. do C. A.; CARVALHO, M. S. P. de. Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 50-63, 1984.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. S. **Dendrometria e inventário florestal**. 2.ed. Minas Gerais: UFV, 272 p. 2011.

SKOVSGAARD, J. P.; JOHANNSEN, V. K.; VANCLAY, J. K. Accuracy and precision of two laser dendrometers. **Forestry**, Idonesia, v. 71, n. 2, p. 131-139, 1998.

TERRAGES, 2016. Disponível em:

<http://terrages.pt/loja/index.php?route=product/product&product_id=77>. Acesso em 10 mar. 2016.

**CAPÍTULO 1 — MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ALTURA COMERCIAL DE
ÁRVORES NO BIOMA AMAZÔNICO**

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar diferentes métodos de medição da altura comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa da região Amazônica. O estudo foi realizado em um Projeto de Assentamento florestal localizado nos municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves, Acre. Os métodos de medição utilizados foram: visual por uma pessoa experiente; clinômetro Suunto; hipsômetro eletrônico Haglöf II; hipsômetro Vertex IV e medição direta com uma trena. Foram amostrados 30 indivíduos selecionados de quatro espécies nativas. Os métodos foram comparados por meio da análise gráfica dos resíduos e as estatísticas Viés (V), Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$) e Médias das diferenças absoluta (MD). O tempo médio de execução da medição foi comparado pelo teste t de Student a 5% de significância. Para calcular o valor de implementação do método, foi realizada pesquisa em lojas virtuais do valor dos instrumentos, e o custo do operador ajudante foi considerado o valor da diária cobrada na região de estudo. O clinômetro Suunto apresentou maior exatidão nas medidas de altura comercial das árvores e o hipsômetro Vertex IV e a estimativa visual com experiência apresentou o pior desempenho. Os métodos não apresentaram diferença significativa quanto o tempo de execução. Analisando os atributos tempo de execução, exatidão das medidas de altura comercial e o custo de implementação, em conjunto, o clinômetro Suunto foi o mais indicado para medição de altura das árvores em floresta nativa na Amazônia quando se busca menor tempo de execução e exatidão das medidas. Se for de preferência realizar medição de altura comercial das árvores em menor tempo, sem exigência de exatidão, sugere-se utilizar o método de medição de altura visual com experiência.

Palavras-chave: Amazônia, hipsômetros, clinômetro, exatidão.

ABSTRACT

This study aimed to analyze different methods of measuring the commercial height of trees for sustainable forest management purposes in a native forest in the Amazon region. The study was conducted in a forest Settlement Project located in the municipalities of Mâncio Lima and Rodrigues Alves, Acre. The measurement methods used were visual with experience; Suunto clinometer; Haglöf II Electronic hypsometer; Vertex IV hypsometer and direct measurement with a tape measure. We sampled 30 selected individuals of four native species. The methods were compared using the graphical analysis of the residuals and the statistics bias (V), root mean square error (RMSE) and average absolute differences (MD). The average measurement time was compared by the Student t test at 5% significance. To calculate the value of implementation of the method was researched in virtual stores the price of the instruments, and the cost of assistant operator was considered the daily rate charged in the study region. Suunto clinometer showed greater accuracy in the commercial height measurements of trees and Vertex IV hypsometer and the visual estimation experience showed the worst performance. The methods showed no significant difference in runtime. Analyzing the attributes runtime, accuracy of commercial height measures and the cost of implementation, together, Suunto clinometer was the most suitable for measuring the height of the trees in native forest in the Amazon when seeking shorter execution time and accuracy of measures. If preferably be used to measure commercial height of trees in a shorter time, without requiring accuracy, it is suggested to use the method of measuring time with visual experience.

Keywords: Amazon, Hypsometer, Clinometer, accuracy.

1. INTRODUÇÃO

A medida da altura de uma árvore em pé pode ser obtida de forma direta e de forma indireta. Várias são as formas para se obter essa medida, indo da mais simples e menos exata ao uso de aparelhos sofisticados e com maior exatidão nas medidas. As medições de altura das árvores são obtidas com várias finalidades como o uso para obtenção do volume de madeira ou estoque de carbono, reconhecimento da dinâmica de uma população, definição da qualidade de um local, estudos com fins de otimização, dentre outras.

Na extração madeireira, o uso de métodos mais eficazes de medição das árvores é de grande relevância, pois melhoram a exatidão dos inventários florestais. Percebe-se esta necessidade quando se deseja medir a altura de árvores em florestas nativas tropicais, como é o caso das florestas da Amazônia. A medição da altura de árvores na Amazônia é realizada por meio da medição visual, no qual o técnico habilitado para realização desta atividade utiliza a sua experiência para obtenção desta medida, o que gera grande incerteza sobre a mesma. Por outro lado, em florestas plantadas, é corriqueiro o uso de clinômetros e hipsômetros para a obtenção das medidas de altura.

Os hipsômetros e clinômetros, em florestas plantadas, têm boa acurácia e é de mais fácil operação, tornando prático a obtenção da variável altura. Nas florestas nativas da Amazônia, notadamente as de potencial madeireiro, é feita a estimativa visual da altura comercial em vez da altura total das árvores, esse procedimento é empregado devido as dificuldades em se medir a altura total de árvores em pé.

Estudos direcionados à Amazônia para identificação de instrumentos hipsômetros e clinômetros para realizar medição de altura com maior exatidão, especificamente medição de altura comercial das árvores, ainda são incipientes. Gonçalves, Eldink e Pokorny (2009) compararam as medidas de altura comercial obtidas com um dendrômetro a *laser* modelo LEDHA GEO, com a estimativa visual por várias equipes, sendo que uma delas tinha o conhecimento da medida real, considerada a medição da altura comercial colhida com o aparelho para calibrar as medidas.

Em outros biomas têm sido realizados estudos em florestas nativas, buscando identificar instrumentos e métodos que tenham maior precisão nas medidas de altura total das árvores, como os desenvolvidos por CURTO et al. (2013); DAVID et al.,

(2011); SILVA et al. (2012a); SILVA et al. (2012b). Como exemplo de estudos de medição de altura total em florestas plantadas, podem ser citados os trabalhos de JESUS et al. (2012); COUTO; BASTOS (1988); OLIVEIRA et al. (2014).

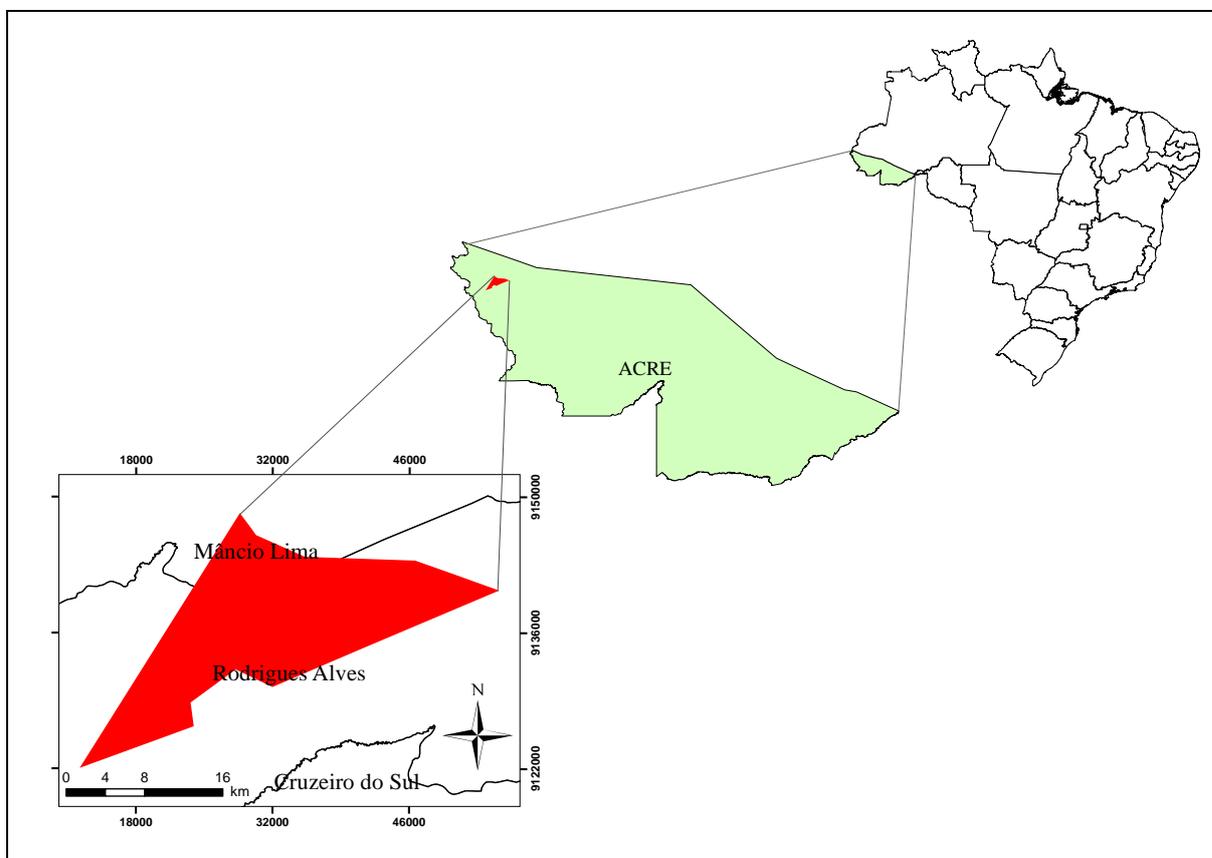
Destaca-se que não foram encontrados, na literatura, estudos direcionados a Amazônia visando a análise de exatidão de medidas de altura comercial de árvores, obtidas com os instrumentos do tipo hipsômetros e clinômetros. Sendo assim, este estudo objetiva analisar diferentes métodos de medição da altura comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa da região Amazônica.

2. METODOLOGIA

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado em uma área do Projeto de Assentamento Florestal Havaí (PAF Havaí), criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Portaria nº 226, de 08 de abril de 2004. Esta área possui aprovação para o Manejo Florestal Sustentável Comunitário nos municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves no Estado do Acre, situado entre as coordenadas 07°47' Latitude Sul e 73° 14' Longitude Oeste (Figura 1). Apresenta, também, relevo com altitude média entre 150 e 270m, onde predominam relevos tabulares com declives suaves (THAINES, 2014).

Figura 1– Localização do Projeto de Assentamento florestal Havaí



Fonte: O autor.

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo equatorial úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, sem uma estação seca definida, a temperatura média anual de 24,5°C. Normalmente o

período mais seco inicia no mês de maio e se prolonga até o mês de outubro e o chuvoso ocorre de novembro a abril.

O PAF Havaí possui uma área de 34.000 hectares, com 99,73% de área florestal, sendo que aproximadamente 94,66% da área total é manejada com o objetivo de extrair seletivamente madeiras, óleos, resinas e frutos, a tipologia florestal predominante é floresta aberta com palmeiras mais floresta densa (THAINES, 2014).

2.2. Métodos utilizados para medição de altura comercial de árvores de uma floresta nativa na Amazônia

Com a finalidade de encontrar a melhor alternativa para medição da altura comercial de árvores em pé em áreas de manejo florestal sustentável em uma floresta nativa na Amazônia, foram considerados os seguintes métodos:

- a) Método 1: Medição da altura comercial feita de forma visual por uma pessoa experiente;
- b) Método 2: Medição da altura comercial com o clinômetro Suunto;
- c) Método 3: Medição da altura comercial com o hipsômetro eletrônico Haglöf II;
- d) Método 4: Medição da altura comercial com o hipsômetro Vertex IV.

A altura comercial real (testemunha) foi considerada a medição da altura comercial da árvore com trena após a árvore ser abatida. Neste estudo, foi considerada como altura comercial da árvore a distância vertical iniciando na base até a primeira bifurcação ou injúria ao longo do fuste. A medição da altura comercial pelo método 1 foi realizada por um mateiro com mais de 12 anos de profissão. Esse profissional identificou as espécies de árvores e realizou as estimativas da altura para fins de inventário florestal.

Para a medição da altura com o método 2 foi utilizado o clinômetro Suunto (modelo PM-5/360PC), com escala em graus (0° a 90°) e em porcentagem (0 a 150%). Neste trabalho, as leituras dos ângulos foram tomadas em graus ($^{\circ}$). Para medição da altura comercial, foram necessárias duas pessoas: um para manusear o clinômetro Suunto e um ajudante encarregado de esticar a fita métrica para medição da distância horizontal entre o operador e a árvore. Para se obter o valor da altura comercial, o operador realizou duas leituras de ângulos, uma na base e outra na

primeira bifurcação ou injúria ao longo do fuste da árvore. Após a obtenção destas medidas, foi aplicada a equação (1):

$$H_c = (tg\alpha \pm tg\beta).L \quad (1)$$

em que: H_c = altura comercial (m); α = ângulo formado pela visada da linha do horizonte até a base da árvore (graus); β = ângulo formado pela visada da linha de horizonte até a altura comercial (graus); L = distância entre o operador e a árvore medida (m).

A medição da altura comercial pelo método 3, assim como o método 2, necessitou de duas pessoas: o operador do hipsômetro Haglöf II e um auxiliar para medição da distância do operador até a árvore, com auxílio de uma fita métrica. Para medir a altura comercial, inicialmente foi obtida a distância entre o operador e a árvore. O valor da distância foi registrado no instrumento. Após isso, o operador realizou os procedimentos de visada da base e na altura comercial e, posteriormente, visualizou o valor da medida de altura comercial direto no visor do instrumento, sem a necessidade de realizar cálculos posteriores.

Para a medição da altura comercial pelo método 4, primeiramente foi realizada a calibração do hipsômetro Vertex IV. A calibração consistiu em posicionar o *transponder* a 1,3m do solo, em cima de um bastão. Após isso, foi realizada a visada da base do bastão até a altura onde se localizava o *transponder* e verificado se a altura lida no Vertex IV correspondia a 1,3m. Após verificar essa equivalência, foi realizado a medição da altura comercial das árvores. Na medição de alturas com o Vertex IV não há necessidade de realizar a medida de distância com o auxílio de trena. Um ajudante posicionava a baliza com o *transponder* fixo a 1,30 metros na frente da árvore a ser medida. Na sequência, o operador realizava medições na base e outra na altura comercial. Após a obtenção destas medidas, o valor da medida da altura é mostrado automaticamente no visor do Vertex IV.

Para a medição da altura comercial pelo método 5, a árvore foi derrubada e realizada a medição, com auxílio de uma trena, do toco da árvore e somou-se a parte do fuste cortada, considerando somente o comprimento até um ponto ao longo do fuste considerado comercial.

Destaca-se que as operações do hipsômetro eletrônico Haglöf II, Clinômetro Suunto e hipsômetro Vertex IV foram realizadas pelo mesmo operador, qualificado e

com o conhecimento dos principais erros a serem evitados no ato das medições. A equipe para todos os métodos foi a mesma, integrada por um operador dos instrumentos, um mateiro e um anotador. A distância do operador até a árvore foi a mesma para os métodos em que foi utilizado os instrumentos de medição da altura. Já para estimativa feita de forma visual por uma pessoa experiente não foi aplicada a mesma distância do operador a árvore, pois o profissional localizava a distância suficiente para fazer a leitura e a medida da altura foi feita de forma instantânea quando esta distância era localizada. O ponto de visada da altura comercial foi a mesma para todos os métodos.

2.3. Seleção das espécies e das árvores- amostra

Inicialmente, baseando-se nos mapas do PAF Havaí, foram verificadas as espécies presentes e a quantidade de indivíduos selecionados para a exploração no ano de 2015. Após esse conhecimento, selecionaram-se as quatro espécies com maior quantidade de indivíduos, sendo estas: abiurana (*Pouteria guianensis* Aubl.), bajão (*Parkia multijuga* Benth.), pau-garrote (*Bagassa guianensis* Aubl.) e ucuuba (*Virola decorticans* Ducke.). Foram selecionadas 30 árvores-amostra, divididas em diferentes classes de diâmetro (medido com a Suta) e altura (Tabela 1). Essas espécies são utilizadas com frequência na construção civil para caixarias na região em que foi realizado este estudo.

Tabela 1 – Distribuição das árvores amostra para medição da altura comercial

Classe de DAP (cm)	Classe da altura comercial (m)					Total
	8 f 11	11 f 14	14 f 17	17 f 20	20 f 23	
58 f 69	0	2	5	2	0	9
69 f 80	0	1	1	4	1	7
80 f 91	2	1	3	1	2	9
91 f 102	0	1	0	0	0	1
102 f 113	0	0	2	0	0	2
113 f 124	0	1	0	0	1	2
Total	2	6	11	7	4	30

2.4. Exatidão dos métodos de medição da altura comercial das árvores

Após a obtenção das medidas de altura comercial, os métodos foram avaliados pela análise gráfica dos erros de medição dados pela expressão 2.

$$ER = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (2)$$

em que: ER = erro relativo (%); Y_i = altura da árvore medida com a trena (m); \hat{Y}_i = altura medida pelos métodos avaliados (m).

As análises gráficas dos erros percentuais foram realizadas com o intuito de verificar eventuais tendências na obtenção das alturas. Além disso, os métodos foram avaliados por meio das estatísticas: Viés (V); Média das Diferenças Absolutas (MD) e Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$).

Viés (V):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad V(\%) = \frac{V}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (3)$$

Médias das diferenças Absolutas (MD):

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad MD(\%) = \frac{MD}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (4)$$

Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$):

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad RQME(\%) = \frac{RQME}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (5)$$

em que: n = número de observações; \bar{Y} = média das alturas medidas com a fita (m).

Para as estatísticas avaliadas, quanto mais próximas de zero, mais exato é o método avaliado.

2.7. Análise dos atributos tempo de execução, exatidão e custo de implementação, conjuntamente, dos métodos de medição da altura comercial de árvores nativas

Objetivando analisar o tempo necessário para obtenção das medidas de altura pelos métodos 2, 3 e 4, foi registrado o tempo de operação de cada método por meio de um cronômetro. Inicialmente, foi registrado o tempo necessário para o operador se deslocar da base da árvore em busca de um local ideal para uma possível visualização da mesma e o ponto ao longo do fuste identificado pelo mateiro como a altura comercial, esse tempo foi considerado igual para todos os métodos. Na sequência, foram realizadas as operações necessárias para obtenção da altura comercial de cada método e cronometrado o tempo. O tempo de operação de cada método foi obtido pela soma do tempo de deslocamento com o tempo necessário para a obtenção da altura comercial das árvores. Considerando o tempo necessário para realizar as operações dos métodos, os métodos foram avaliados por meio do teste *t* para duas médias a 5% de probabilidade.

Para se calcular o valor de custo de implementação de cada método, inicialmente foi realizada uma pesquisa de mercado quanto ao valor dos instrumentos, sendo considerado os menores preços encontrados. O custo operador e aos ajudantes, foi considerado o valor da diária cobrada na região de estudo. Por fim, foi realizado um somatório e identificado o custo do método. Vale ressaltar que se calcular o valor do custo de implementação dos métodos, foi feita a análise de custo considerando apenas um dia de medição da altura das árvores.

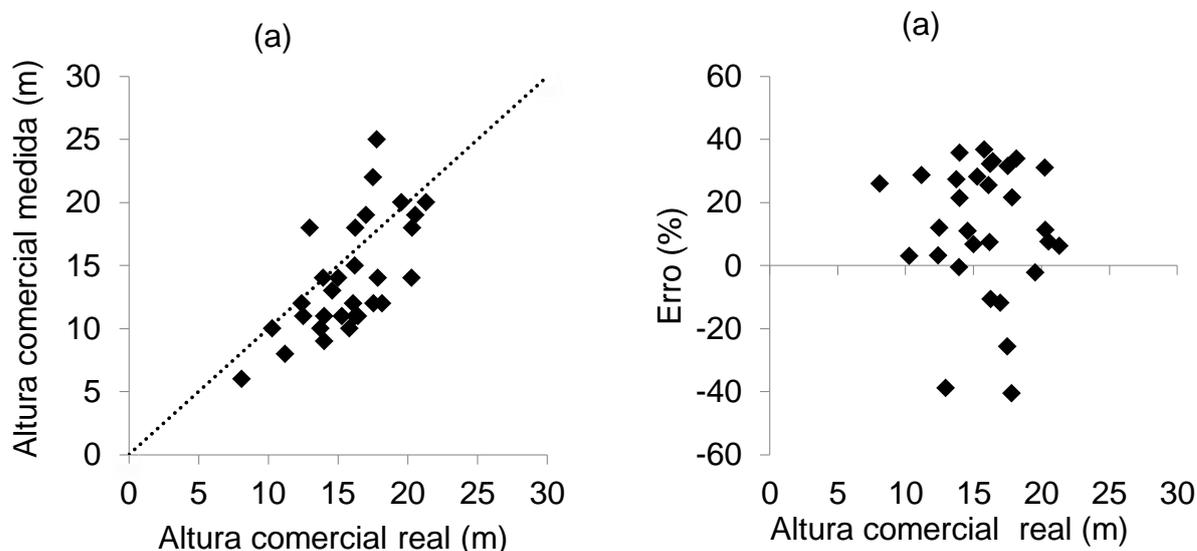
Visando indicar o melhor método de medição da altura comercial das árvores, inicialmente foi feita uma identificação do método que precisou de menor tempo de execução, em sequência de maior exatidão na realização das medidas e por fim, de menor custo de implementação e operação. Para análise desses atributos, foi feito um *ranking* com notas de um a quatro para cada método de medição analisado, sendo que recebeu nota menor (1) o método que obteve melhor resultado no atributo avaliado e assim sucessivamente até o pior resultado (nota 4). Em caso de empate no mesmo atributo os métodos receberam a mesma nota.

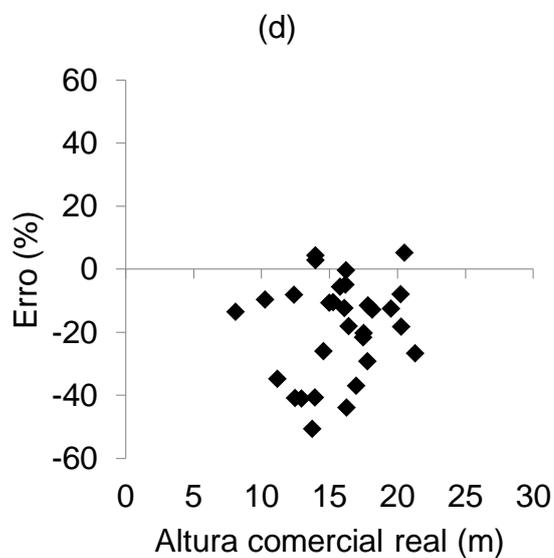
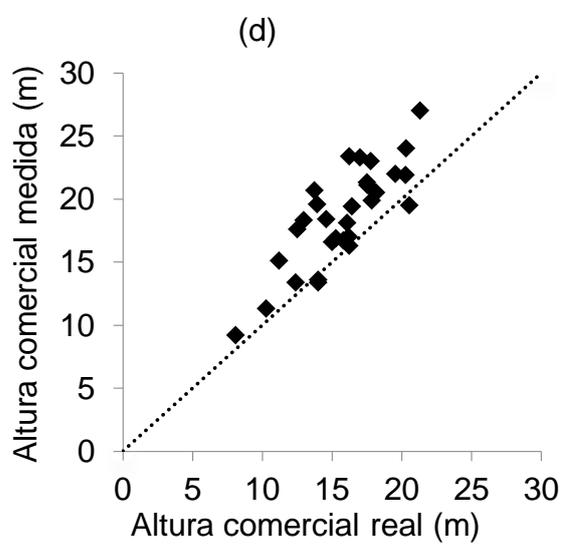
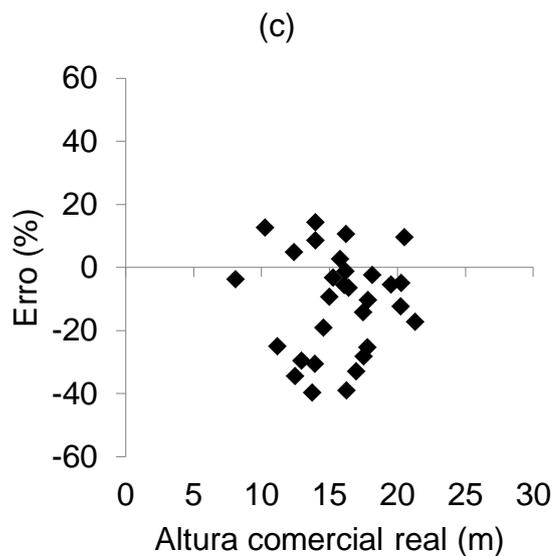
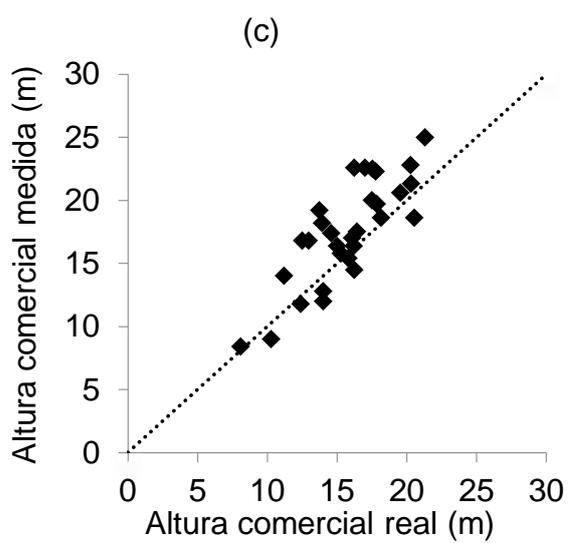
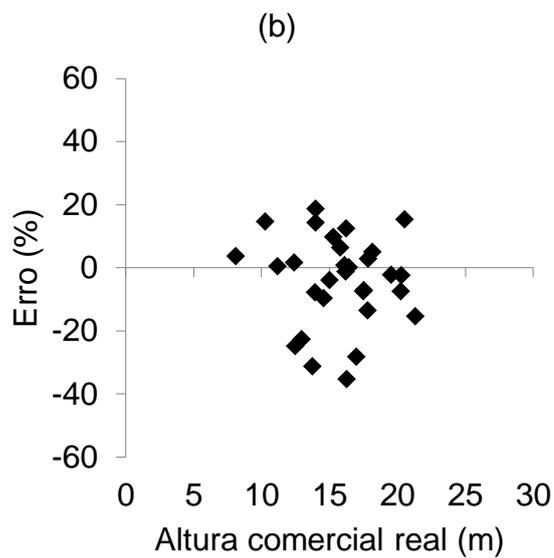
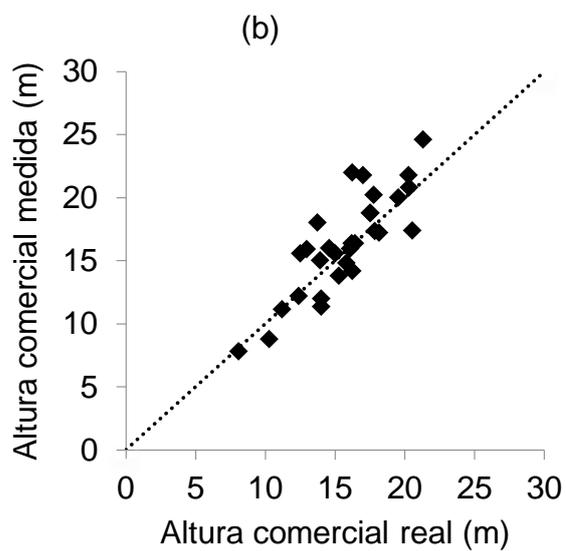
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da exatidão dos métodos avaliados para medição da altura comercial em uma floresta nativa destinada ao manejo florestal sustentável

Pela análise gráfica dos erros relativos em porcentagem dos métodos de medição da altura comercial das árvores (Figura 2), observou-se que as medidas obtidas pela medição visual tiveram tendência em subestimar, com erro distribuído no intervalo de $\pm 40\%$. Já para o clinômetro Suunto, a maioria dos resíduos encontra-se no intervalo de $\pm 20\%$, não apresentando uma tendência clara na medição da altura comercial. Analisando o hipsômetro eletrônico Haglöf II, verificou-se que este instrumento teve tendência em superestimar o valor da altura comercial e a maioria dos resíduos encontra-se no intervalo de -40 a 20%. Quando se emprega o Vertex IV, observou-se claramente que o instrumento teve tendência em superestimar as medidas de altura comercial, apresentando variação residual no intervalo de -50 a 1%. Considerando a análise gráfica dos resíduos, o clinômetro Suunto foi o aparelho que apresentou uma melhor distribuição dos resíduos.

Figura 2 – Distribuição dos resíduos da altura comercial (H_C), em porcentagem, para os métodos medição visual com experiência (a), medição com o Suunto (b), medição com Haglöf II (c) e medição com o Vertex IV (d).





DAVID et al. (2011), analisando a precisão do instrumento clinômetro digital Haglöf para obtenção da altura total de árvores nativas no Espírito Santo, chegou à conclusão que as medidas de altura total não tiveram tendências. Já Jesus et al. (2012) observaram que a altura total de árvores coletadas em um povoamento com o hipsômetro Vertex e o clinômetro Suunto apresentaram tendência em superestimar a altura total das árvores. Silva et al. (2012a) realizou as medidas visuais com experiência e utilizando o hipsômetro Vertex para obtenção da altura total das árvores em floresta nativa e verificou a distribuição residual não tendenciosa. Curto et al. (2013), analisando a altura total obtida por diferentes métodos em uma floresta nativa, observaram que as medidas da altura de árvore (variando de 14 a 18 m) realizadas em terreno plano pelos instrumentos Vertex, clinômetro eletrônico Haglöf e medição visual com treinamento não apresentaram tendências. Esses autores perceberam também que as medidas de altura realizadas em terreno plano e inclinado, a tendência em subestimar aumenta à medida que aumenta as classes de altura em árvores entre 14 e 29 m de altura total.

Ao analisar os resultados da Tabela 2, em que contém os valores das estatísticas *viés (V)*, médias das diferenças Absolutas (*MD*) e Raiz do quadrado médio do erro (*RQME*), notou-se que o clinômetro Suunto obteve a maior exatidão, seguido do clinômetro eletrônico Haglöf II. Acredita-se que a maior exatidão para o clinômetro Suunto pode estar relacionada à leitura do ângulo diretamente no visor do instrumento sem necessidade de pressionar algum botão ao realizar a medição como no clinômetro eletrônico Haglöf II e o hipsômetro Vertex IV. O ato de pressionar o botão para registrar as leituras, pode ocasionar em um deslocamento da posição da visada quando se faz a leitura superior e inferior resultando, conseqüentemente, erros na medição da altura comercial.

Jesus et al. (2012) avaliando os instrumentos Haga, Suunto e Vertex, para medição de altura das árvores em uma floresta plantada, observou também que o Clinômetro Suunto se destacou, obtendo medidas de altura total mais próxima da medida real.

Tabela 2 – Estatísticas complementares: Viés (*V*), Média das Diferenças Absoluta (*MD*) e Raiz do quadrado médio do erro (*RQME*) para estimativa de alturas comercial.

Estatísticas	Visual	Suunto	Haglöf II	Vertex IV
<i>V</i> (%)	11,40	-4,00	-11,22	-18,09
<i>MD</i> (%)	20,28	10,74	15,11	18,96
<i>RQME</i> (%)	24,10	14,20	18,81	23,10

Ao avaliar a Tabela 2, notou-se que o hipsômetro Vertex IV foi mais viesado que a medição visual da altura comercial das árvores e os valores de *MD* e *RQME* foram semelhantes. Silva et al. (2012a), em um estudo realizado em árvores em floresta nativa no Espírito Santo (mata atlântica), obtiveram o mesmo resultado, que a medição da altura total das árvores pelo método visual com treinamento teve maior precisão que as medidas de altura total realizadas com o hipsômetro Vertex.

O motivo da menor exatidão das medidas de altura realizadas com o uso do instrumento Vertex IV, pode estar relacionado variação de temperatura ambiente da região de estudo, alta densidade de indivíduos ou pelo fato das medidas não serem tomadas a distâncias aproximadamente iguais a altura comercial da árvore. Segundo Silva et al. (2012b), quando a altura de uma árvore é medida a uma distância muito próxima da árvore, diversos fatores atuam e tornam a medição mais passível de erros, sendo que não foi possível ficar a essa distância por não ser possível visualizar a base e o topo da árvore ao mesmo tempo no momento da medição em distância ideais.

3.2. Comparação dos atributos tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de medição de altura comercial de árvores

São apresentadas na Tabela 3, as estatísticas descritivas para o tempo de operações dos métodos de medição da altura comercial das árvores.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas do tempo em segundos (s) de operação dos métodos de medição de altura comercial das árvores em floresta nativa

Método	Mínimo (s)	Máximo (s)	Média (s)	CV (%)
Suunto	50	230	107	44
Haglöf II	40	205	86	52
Vertex IV	39	205	88	53

O tempo para a medição da altura visual é quase que instantânea, e por isso não foi computado. Curto et al. (2013) também observaram que as medições de altura total realizadas em duas condições de terreno pelo método de estimação visual, em geral consumiu menos tempo.

Na Tabela 4 estão os resultados do teste t para as médias do tempo de execução dos métodos analisados. O tempo de execução dos métodos em que se utilizou o clinômetro Suunto, hipsômetro Vertex IV e clinômetro eletrônico Haglöf II, para obtenção das medidas de altura das árvores, não diferem entre si (p -valor $>0,05$).

Tabela 4 – Resultados do teste t de Student para o tempo médio de execução dos métodos analisados

Comparação	p-valor
Suunto x Haglöf II	0,0840
Suunto x Vertex IV	0,1307
Haglöf x Vertex IV	0,8511

Os métodos de medição de altura comercial apresentaram o tempo médio de execução estatisticamente igual. Considerando que o hipsômetro Vertex IV realiza medições de distância horizontal do operador até a árvore sem a necessidade de fita métrica, este instrumento poderia ter se destacado quanto ao tempo menor tempo de operação em comparação aos outros métodos. Acreditasse que esse fato não foi possível devido a interferência na comunicação entre o *transponder* e o hipsômetro Vertex IV, decorrente das condições climáticas. Sendo que a maior parte do tempo gasto na execução dos métodos foi na procura de um ponto para visualizar a base e o topo da árvore ao mesmo tempo.

Curto et al. (2013), em um estudo realizado em uma floresta nativa no Espírito Santo, chegou à conclusão que as medidas de altura total das árvores realizadas em diferentes condições do terreno com o hipsômetro Vertex III resultaram em menor tempo de execução que as medidas de altura obtidas com o Hipsômetro eletrônico Haglöf.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de custo para implementação dos métodos, sendo incluído o valor dos instrumentos, custo de serviço do operador e ajudante. Percebe-se que o método que teve menor custo para implementação e execução por um dia, foi a medição visual com experiência. O hipsômetro Vertex IV,

teve alto custo de implementação e execução comparado aos outros métodos, devido ao seu alto custo de aquisição.

Tabela 5 – Custo de implementação dos métodos de medição de altura comercial das árvores

Instrumento	Custo de aquisição (R\$)	Custo Operador (R\$) *	Trena (R\$/un.)	Custo Ajudante (R\$) **	Total custo (R\$)
Visual	--	50,00	--	--	50,00
Clinômetro Suunto	696,84	50,00	104,18	25,00	876,02
Clinômetro Eletrônico Haglöf II	1.650,00	50,00	104,18	25,00	1.829,18
Vertex IV	13.650,00	50,00	--	25,00	13.725,00

* Custo unitário do serviço operador; ** Custo unitário do serviço ajudante.

A Tabela 6 contém as notas referentes aos atributos tempo de execução, exatidão e custo dos métodos de medição de altura comercial das árvores em uma floresta nativa da região Amazônica.

Tabela 6 – Notas atribuídas aos atributos dos métodos de medição da altura comercial de árvores de espécies nativas

Métodos	Tempo de execução	Exatidão	Custo	Total
Medição com Clinômetro Suunto	2	1	2	5
Medição com Hipsômetro Haglöf II	2	2	3	7
Medição com Hipsômetro Vertex IV	2	4	4	10
Medição visual com experiência	1	3	1	5

Na Tabela 6 observa-se, que dos métodos de medição avaliados, o clinômetro Suunto e a estimativa visual feita de forma visual por uma pessoa experiente se destacaram em comparação aos demais métodos de medição da altura comercial das árvores. A diferença entre estes dois métodos foi que o primeiro teve maior exatidão das medidas que o segundo. O clinômetro eletrônico Haglöf II se destacou em comparação ao Vertex IV, pois apresentou maior exatidão, menor custo de implementação e execução.

4. CONCLUSÕES

- O instrumento Suunto obteve a maior exatidão entre os métodos analisados.
- Não houve diferença entre os instrumentos analisados considerando tempo médio de medição da altura comercial de espécies nativas da Amazônia.
- O método de medição da altura comercial feita de forma visual por uma pessoa experiente obteve o menor custo de implementação.
- Considerando o tempo de execução, exatidão das medidas de altura e o custo de implementação, o clinômetro Suunto e a estimativa visual por uma pessoa experiente são os métodos com melhores resultados. O clinômetro Suunto é indicado para realização de medidas de altura com maior exatidão, e a estimativa visual feita por uma pessoa experiente quando for de preferência realização de medidas da altura comercial com menor custo e em menor tempo, sem exigência de exatidão da medida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Portaria n.º 226, de 08 de abril de 2004. Criação da unidade do projeto de Assentamento Florestais-PAF. **Diário Oficial da União**, 12 de abril de 2004. Seção I.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Erros de medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em região plana. **IPEF**, Piracicaba, n. 39, p. 21-31, 1988.

CURTO, R. A.; SILVA, G. F. DA; SOARES C. P. B.; MARTINS, L. T. 4; DAVID, H. C. Métodos de estimação de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**. Curitiba, v. 43, n. 1, p. 105-116, 2013.

DAVID, H. C.; ARAÚJO, E. J. G. de; PELISSARI, A. L.; MIRANDA, R. O. V. de; EBLING, Á. A. Avaliação do clinômetro digital para medição da altura de árvores em uma floresta nativa no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE. 4. 2012, Paraná. **Anais eletrônico...Paraná: UFPR**, 2012. Disponível em: < http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Arquivos_HTML/1-Apresentacao.htm>. Acesso em: 04 mar. 2016.

GONÇALVES, D. de A.; ELDIK, T. V.; POKORNY, B. O uso de dendrômetro a laser em florestas tropicais: aplicações para o manejo florestal na Amazônia. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 175-187, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **INCRA**. 2004. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/governofederalinauguranoacrenovomodelodeassentamentosflorestais>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

JESUS, C. M. DE; MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ENCINAS, J. I. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.8, n.15, p. 291, 2012.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de Identificação e Cultivo de Planta Arbóreas Nativas do Brasil. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum. 2009. 384 p.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: Manual de Identificação e Cultivo de Planta Arbóreas Nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Plantarum. 2008. 384 p.

LOUREIRO, A. A.; Freitas, M.C.; Vasconcelos, F.J. Estudo Anatômico de 24 espécies do gênero *Virola* (Myristicaceae) da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, p. 415-465. 1989.

MAULONI, J. A.; DISPERATI, A. A.; MACHADO, Á. M. LIMA. M, E. A. Investigação fotogramétrica em imagens digitais para cálculos dendrométricos. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba - PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

OLIVEIRA, X. M.de. et al. Precisão e tempo de operação de alguns instrumentos para medir altura de árvores. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n. 18, p.2336, 2014

Plano de manejo florestal Sustentável comunitário (PMFSC), Tecnologia e manejo florestal, p.133, 2013.

SILVA, G. F. da; OLIVEIRA O. M. de; SOUZA C. A. M. de; SOARES, C. P. B.; LEMOS, R. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 397-405, 2012b.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012a.

THAINES, F. Plano de manejo florestal Sustentável comunitário (PMFSC), Tecnologia e manejo florestal, p.133, 2013.

**CAPÍTULO 2 — MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA OBTENÇÃO DE VOLUME
COMERCIAL COM CASCA DE ARVORES INDIVIDUAIS EM UMA FLORESTA
NATIVA NO BIOMA AMAZONIA**

RESUMO

Este estudo teve como objetivo comparar métodos não destrutivos para obtenção do volume comercial de árvores para fins de manejo florestal sustentável. O estudo foi realizado em um Projeto de Assentamento florestal localizado nos municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves, Acre. Foram analisados os seguintes métodos: cubagem com dendrômetro ótico Criterion RD 1000; estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida de forma visual por uma pessoa com experiência; estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida com o clinômetro Suunto. Para analisar estes métodos, os mesmos foram comparados com o volume da cubagem rigorosa tradicional. Para isso, foram mensurados 30 indivíduos pertencentes a quatro espécies. Os métodos foram analisados pela análise gráfica dos resíduos e as estatísticas Viés (V), Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$) e Médias das diferenças absoluta (MD). Também foi realizado ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933) com dados coletados com o dendrômetro ótico Criterion RD 1000 e a cubagem tradicional, para estimar o volume comercial das árvores das espécies analisadas. As estatísticas utilizadas para análise deste modelo foi o coeficiente de correlação (r) e raiz do quadrado médio do erro ($RQME$). Foi utilizado o teste de Leite e Oliveira (2002) visando identificar igualdade nas estimativas. A cubagem de árvores com o uso do Criterion RD 1000 teve maior exatidão. O uso do fator de forma 0,7, com o volume do cilindro obtido com a medida de altura comercial com o uso do Suunto, gerou estimativas mais exatas quando comparado ao uso do fator de forma com a medida de altura comercial com experiência. O modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) teve melhor ajuste para base de dados obtida pela cubagem tradicional. As estimativas do modelo de Schumacher e Hall (1933) ajustado com as diferentes bases de dados não diferiram estatisticamente.

Palavras-chaves: Cubagem rigorosa, fator de forma, Criterion RD 1000.

ABSTRACT

This study aimed to compare non-destructive methods for obtaining commercial volume of trees for the purpose of sustainable forest management. The study was conducted in a forest Settlement Project located in the municipalities of Mâncio Lima and Rodrigues Alves, Acre. The following methods were analyzed: measurements with optical dendrometer Criterion RD 1000; estimate form factor based on the cylinder volume from the commercial height obtained visually by a person with experience; estimate form factor based on the cylinder volume from the commercial height obtained with Suunto clinometer. To analyze these methods were compared with the same volume of traditional scaling. For this, were measured 30 individuals belonging to four species. The methods were analyzed by graphical analysis of the residuals and the statistical bias (V), root mean square error (RMSE) and averages absolute differences (MD). It was also fitted the Schumacher and Hall (1933) model with data collected with optical dendrometer Criterion RD 1000 and the traditional scaling to estimate the commercial volume of the trees of the species studied. The statistics used for analysis of this model was the correlation coefficient (r) and the root mean square error (RMSE). Leite and Oliveira (2002) tested was used to identify equality in the estimates. The scaling trees with Criterion RD 1000 use had greater accuracy. The use form factor 0.7, with the cylinder volume obtained with the commercial height measured using the Suunto generated estimates more accurate when compared to using the form factor measured with the commercial with experience. The volume model of Schumacher and Hall (1933) was best fit for database obtained by traditional scaling. Estimates of Schumacher and Hall (1933) model adjusted to the different databases did not differ statistically.

Keywords: scaling, form factor, Criterion RD 1000.

1. INTRODUÇÃO

O volume das árvores pode ser obtido por meio de métodos que necessitam do abate das árvores, de forma indireta com o uso de instrumentos óticos e estimativas por meio de equações de volume ou fator de forma. Os métodos mais usuais são as estimativas com equação de volume e o fator de forma (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015).

Em florestas tropicais, devidos a dificuldades de medição da altura das árvores, especificamente na Amazônia, o método utilizado para obtenção do volume das árvores para fins de inventário florestais, tanto pelas empresas como os órgãos fiscalizadores, tem sido a estimativa com o fator de forma igual a 0,7 (FIGUEIREDO; SHROEDER; PAPA, 2009; MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015). Para obter o volume da árvore este fator é multiplicado pelo volume do cilindro calculado a partir da medição da altura comercial das árvores feitas de forma visual por pessoas com experiência nesta atividade e do diâmetro obtido com o auxílio de uma suta.

O fator de forma é um método muito utilizado para estimação do volume das árvores, por ser uma maneira mais rápida. As medidas de volume realizadas com este método podem gerar estimativas com menor exatidão, principalmente quando não for obtido por espécie, idade, espaçamento e sítio florestal (MIRANDA; JUNIOR; GOUVEIA, 2015). A exatidão do volume estimado com o fator de forma pode ser menor se a altura das árvores for tomada com um método que forneça medidas de menor exatidão.

Estudos que possibilitem a identificação de métodos de medição e estimação do volume comercial de árvores nativas sem a necessidade de abate ainda são incipientes, principalmente na Região Amazônica. O uso de métodos precisos de estimação volumétrica, por meio da cubagem não destrutiva de árvores, facilita o planejamento do inventário florestal e a valoração dos povoamentos florestais (NICOLETTI, 2011). Neste sentido, este trabalho teve como objetivo geral comparar métodos não destrutivos para obtenção do volume comercial de árvores individuais para fins de manejo florestal sustentável. Para atender este objetivo, teve os seguintes objetivos específicos:

- a) Verificar dentre os métodos de medição e estimação qual fornece valor mais exato do volume comercial de tora;

- b) Verificar se existe diferença estatística entre os volumes comerciais obtidos pelo modelo ajustado por diferentes bases de dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado em uma área de assentamento florestal com denominação Projeto de Assentamento Florestal Havaí (PAF Havaí), criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Portaria nº 226, de 08 de abril de 2004. A área total é de 34.000 hectares, com aprovação para o Manejo Florestal Sustentável Comunitário, localizada nos Municípios de Mâncio Lima e Rodrigues Alves, no Estado do Acre, situado entre as coordenadas 07°47' Latitude Sul e 73° 14' Longitude Oeste (Figura 1 - Capítulo 1). A área de estudo apresenta relevo com altitude média entre 150 e 270m, onde predominam relevos tabulares com declives suaves, com tipologia florestal, floresta aberta com palmeiras mais floresta densa (cerca de 57,82% da área total do assentamento) e floresta densa mais floresta aberta com palmeiras aproximadamente 41,92% da área total do assentamento (THAINES, 2014).

2.2. Métodos não destrutivos utilizados para obtenção do volume comercial em árvores nativas da Amazônia

Foram avaliados os seguintes métodos não destrutivos para obtenção do volume comercial com casca de árvores nativas:

- a) Método 1: cubagem de árvores em pé com o dendrômetro ótico Criterion RD 1000;
- b) Método 2: Volume comercial estimado com o fator de forma médio ($\bar{f}_{1,30}$) igual a 0,7; sendo utilizado para cálculo do volume do cilindro o diâmetro a 1,30 m (*DAP*) coletado com uma suta e medida da altura comercial feita de forma visual por uma pessoa experiente.
- c) Método 3: Volume comercial estimado com o fator de forma médio ($\bar{f}_{1,30}$) igual a 0,7; sendo utilizado para cálculo do volume do cilindro o *DAP* medido com uma suta e altura comercial medida como Clinômetro Suunto (modelo PM-5/360PC);

O volume real (testemunha) foi considerado o obtido com a cubagem rigorosa em árvores abatidas com a utilização de trena e suta (cubagem tradicional).

No método 1 foi utilizado dendrômetro ótico Criterion RD 1000 para realização da cubagem das árvores em pé. As medidas de diâmetros foram tomadas nas alturas de 0,2; 0,4; 0,7; 1,30; 2 m e a partir desse ponto, de 2 em 2 metros ao longo do fuste da árvore até a altura comercial. Nas árvores com sapopemas as medições de diâmetro foram realizadas acima 30 centímetros, em intervalos regulares de 2,0 metros. Essas posições (alturas) de medição do diâmetro ao longo do fuste foram aplicadas também para o método 4. As medições do diâmetro até a altura de 1,30 metros foram realizadas com a suta e as medidas superiores foram realizadas com o Criterion RD 1000.

Após a obtenção das medidas do diâmetro pelos métodos 1 e 4, foi calculado o volume por secção das árvores pelo uso da formula de Smalian. Os volumes totais com casca comercial do fuste das árvores foram obtidos pela soma dos volumes das seções (Equação 1).

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l \quad (1)$$

em que: v = volume da seção com casca (m^3); g_1 = área seccional na base da seção (m^2); g_2 = área seccional no topo da seção (m^2); l = comprimento da tora (m).

As estimativas de volume das árvores pelos métodos 2 e 3 foram obtidas pela equação (2).

$$V = \bar{f}_{1,30} \cdot g \cdot h_c \quad (2)$$

em que: V = volume comercial com casca (m^3); $\bar{f}_{1,30}$ = fator de forma médio para volume comercial com casca (0,7); g = área seccional a 1,3 m do solo; h_c = altura comercial da árvore (m).

Neste estudo, a altura comercial das árvores foi considerada como a distância vertical da base do fuste até imediatamente abaixo da primeira bifurcação ou injúria.

2.3. Seleção das espécies e das árvores-amostra

Inicialmente, baseando-se nos mapas do PAF Havaí, foram verificadas as espécies presentes e a quantidade de indivíduos selecionados para a exploração no ano de 2015. Após esse conhecimento, selecionaram-se as quatro espécies com maior quantidade de indivíduos (Quadro 1). Foram selecionadas 30 árvores-amostra, divididas em diferentes classes de diâmetro e altura (Tabela 1).

Quadro 1 – Espécies e número de indivíduos que fizeram parte da amostra

Família	Nome Científico	Nome Vulgar	Nº de indivíduos
Sapotaceae	<i>Pouteria guianensis</i>	Abiurana	9
Fabaceae	<i>Parkia multijuga</i>	Bajão (Bandarra)	7
Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i>	Pau-garrote	6
Myristicaceae	<i>Virola decorticans</i>	Ucuuba	8
Total			30

Tabela 1 – Distribuição de árvores amostra para a medição do volume comercial pelos métodos propostos

Classe de DAP (cm)	Classe da altura comercial (m)					Total
	8 f 11	11 f 14	14 f 17	17 f 20	20 f 23	
58 f 69	0	2	5	2	0	9
69 f 80	0	1	1	4	1	7
80 f 91	2	1	3	1	2	9
91 f 102	0	1	0	0	0	1
102 f 113	0	0	2	0	0	2
113 f 124	0	1	0	0	1	2
Total	2	6	11	7	4	30

2.4. Exatidão dos métodos não destrutivos de obtenção do volume comercial de espécies nativas da Região Amazônica

Primeiramente, os métodos foram avaliados pelas análises gráficas de resíduos, com intuito de verificar eventuais tendências na obtenção do volume comercial com casca das árvores. Os valores residuais utilizados na construção dos gráficos foram calculados pela expressão 3.

$$ER_i (\%) = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (3)$$

em que: $ER (\%)$ = erro relativo em percentagem; i = índice que se refere às árvores; Y_i = volume comercial com casca (m^3) obtido pelo método 4; \hat{Y}_i = volume comercial com casca (m^3) obtido pelos métodos 1, 2, 3.

Foram feitos, também, testes complementares por meio das seguintes estatísticas:

a) Viés (V):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad V(\%) = \frac{V}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (4)$$

b) Médias das diferenças Absolutas (MD):

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad MD(\%) = \frac{MD}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (5)$$

c) Raiz do quadrado médio do erro ($RQME$):

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad RQME(\%) = \frac{RQME}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (6)$$

em que: n = número de observações; \bar{Y} = média dos volumes obtidos pelo método 4.

Para as estatísticas avaliadas o resultado quanto mais próximo de zero mais exato é o método avaliado de medição do volume das árvores.

2.5. Exatidão das estimativas do modelo volumétrico ajustado com os diferentes métodos de obtenção de dados

A equação de Schumacher e Hall (1933), dada na expressão 7, foi ajustada com a base de dados oriunda das medidas com o uso do Criterion RD 1000 e cubagem tradicional.

$$V = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} h_c^{\beta_2} \varepsilon \quad (7)$$

em que: V = volume comercial com casca (m^3); DAP = diâmetro, com casca, medido a 1,30 m do solo (cm); h_c = altura comercial (m); β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros a serem estimados; ε = erro aleatório.

Para a comparação da equação ajustada pelas duas bases de dados, foi utilizado o coeficiente de correlação (r) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME) dado na expressão 8.

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad RQME(\%) = \frac{RQME}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (8)$$

em que: Y_i = volume observado (m^3); \hat{Y}_i = volume estimado pelo modelo ajustado a partir das bases de dados obtidas pelo Criterion RD 1000 e cubagem tradicional (m^3).

Para analisar a exatidão do modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1993) ajustado pelas diferentes bases de dados foi utilizado a análise gráfica dos resíduos para melhor visualização dos erros. Os resíduos foram analisados de três formas conforme a expressão (9).

$$ER(\%)_1 = \frac{Y_c - Y_1}{Y_c} \quad ER(\%)_2 = \frac{Y_t - Y_2}{Y_t} \quad ER(\%)_3 = \frac{Y_t - Y_1}{Y_t} \quad (9)$$

em que: Y_c = volume obtido com a cubagem do Criterion RD 1000; Y_1 = volume estimado pelo modelo de Schumacher e Hall (1993), ajustado com os dados obtido com o Criterion; Y_t = volume obtido com a cubagem tradicional; Y_2 = volume estimado pelo modelo de Schumacher e Hall (1993), ajustado com os dados da cubagem tradicional.

Foi também aplicado análise gráfica de resíduo e as estatísticas *Viés (V)*; *Média das Diferenças Absolutas (MD)* e *Raiz do quadrado médio do erro (RQME)*.

2.6. Teste Leite e Oliveira (2002)

Objetivando analisar se a estimativa da altura obtida com o modelo volumétrica de Schumacher e Hall (1933) ajustado com diferentes bases de dados, foi utilizado o teste proposto por Leite e Oliveira (2002). Para isso, foi ajustado um modelo de regressão linear (equação 10) tendo como variável dependente o volume obtido pela cubagem tradicional e independente o volume obtido pela cubagem com o Criterion RD 1000.

$$V_c = \beta_0 + \beta_1 V_4 + \varepsilon \quad (10)$$

em que: V_c = volume obtido com a cubagem tradicional (m^3) e V_4 = volume obtido com a cubagem Criterion RD 1000 (m^3).

A similaridade entre as variáveis V_c e V_4 foi verificada por meio do seguinte teste da hipótese (equação 11).

$$H_0 = \beta_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ "versus" } H_a = \text{não } H_0 \quad (11)$$

Para testar tais hipóteses foi aplicado o teste F, conforme proposto por Graybill (1976) (equação 12).

$$F(H_0) = \frac{(\hat{\beta} - \theta)(X'X)^{-1}(\hat{\beta} - \theta)}{m\hat{\sigma}^2} \quad (12)$$

em que: $\hat{\beta}' = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \end{bmatrix}$ = vetor de parâmetros estimados; $\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$; $m = 2$; $\hat{\sigma}^2$ = quadrado

médio do resíduo; $(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix}^{-1}$ e $x = V_c$.

Para a interpretação do resultado do teste F de Graybill foram utilizados os critérios definidos por Guimarães (1994), em que a não rejeição de $H_0 (F(H_0)) < F_{\alpha}(2, n - 2gl)$ implica que as estimativas de volume obtidas com o modelo ajustado com a base de dados do método 1 e método 4 são estatisticamente semelhantes, perfazendo uma linha reta, passando pela origem ($\hat{\beta}_0 = 0$), e declividade igual a 1 ($\hat{\beta}_1 = 1$). Além de testar as hipóteses $H_0 : \bar{e} = 0$ "versus" $H_a : \text{não } H_0$ uma vez que os erros, $e_i = \frac{\hat{y} - y}{y}$, segue uma distribuição normal.

A estatística t é utilizada como $t_{\bar{e}} = \frac{\bar{e} - 0}{S_{\bar{e}}}$, sendo $S_{\bar{e}} = \frac{S_e}{\sqrt{n}}$, comparada com $t_{\alpha}(n - 1gl)$, em que \bar{e} = erro médio, $S_{\bar{e}}$ = erro padrão da média e S_e = desvio padrão da média.

O último critério analisado é o teste da inequação, em que os valores estimados pelo o modelo ajustado por diferentes bases de dados são considerados estatisticamente idênticos quando ocorre a situação 1 da Tabela 2.

Tabela 2 – Regras de decisão para validação de modelo do teste proposto por Leite e Oliveira (2002)

Situação	$F(H_0)$	$t_{\bar{e}}$	r	Decisão
1	ns	ns	$\geq (1 - \bar{e})$	$y = \hat{y}$
2	ns	ns	$< (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
3	ns	**	$\geq (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
4	**	**	$< (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
5	**	ns	$\geq (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
6	**	ns	$< (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
7	**	**	$\geq (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$
8	**	**	$< (1 - \bar{e})$	$y \neq \hat{y}$

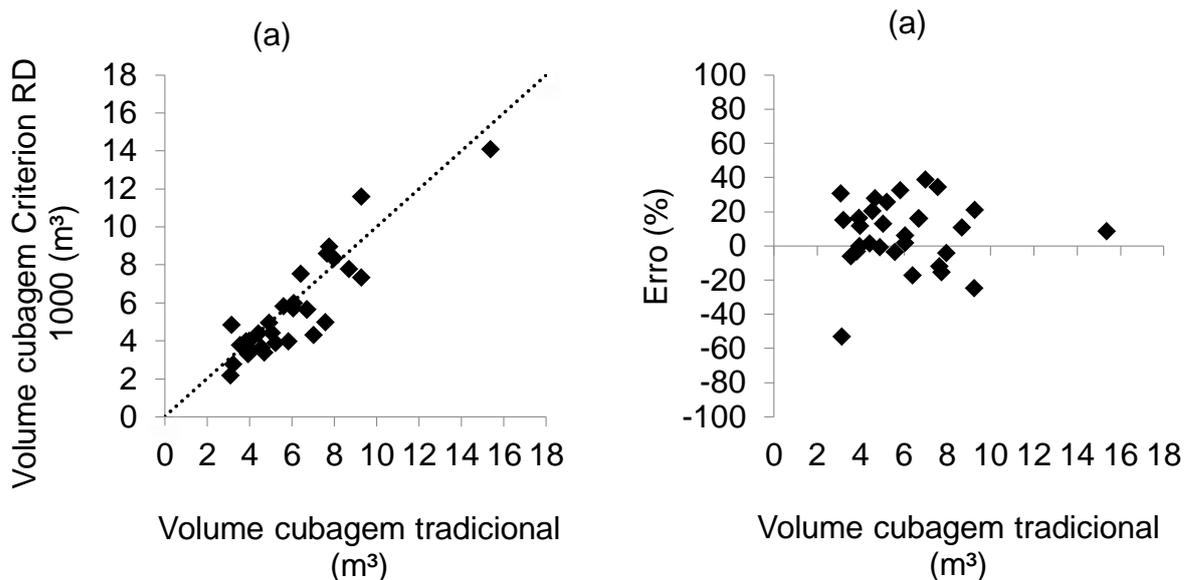
r = coeficiente de correlação; ns não significativo; e** significativo a 1% de probabilidade.

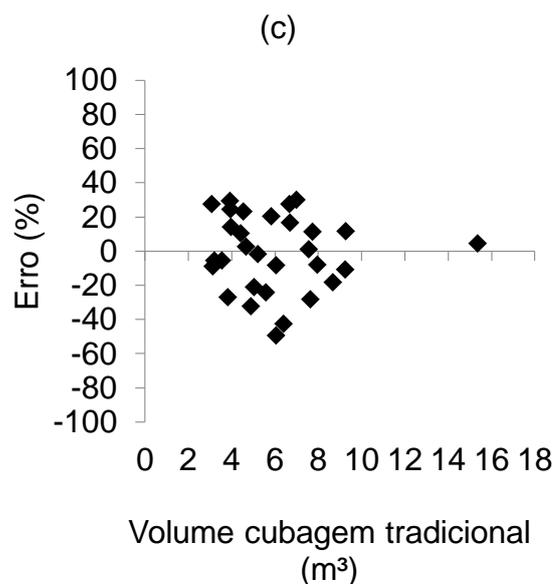
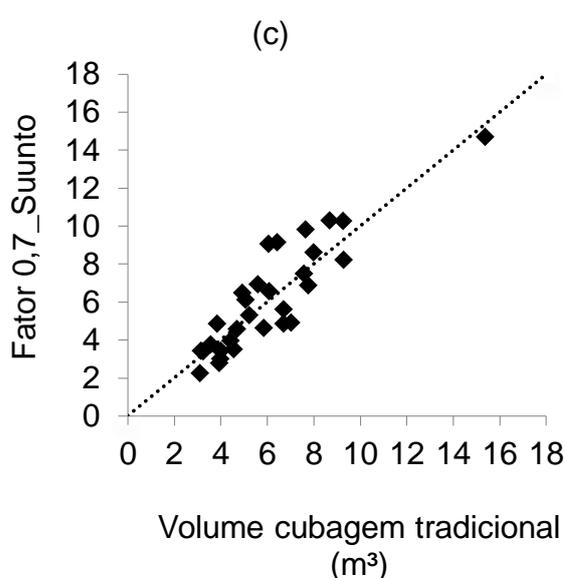
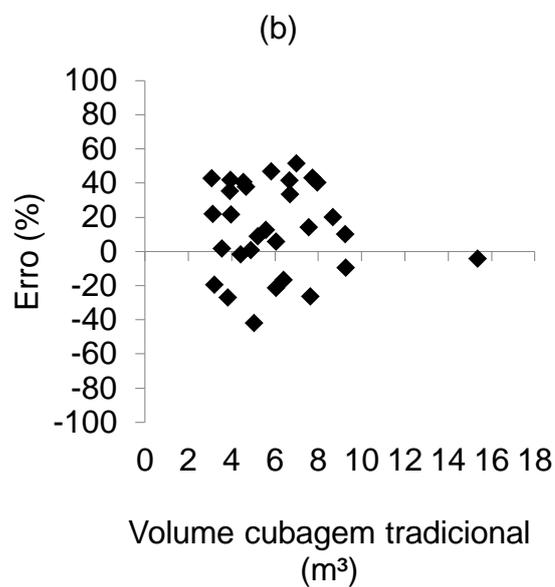
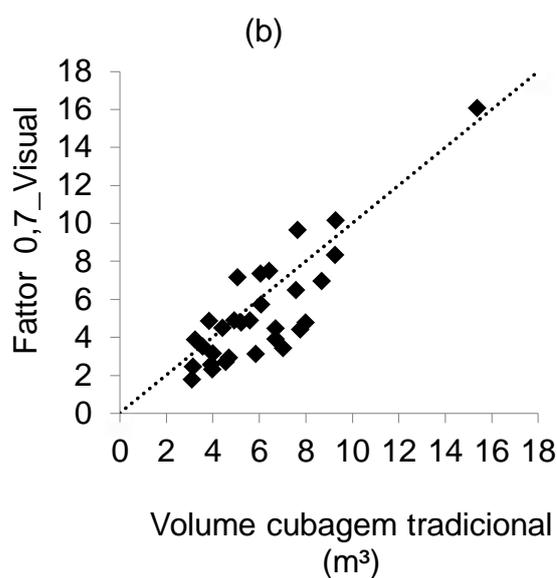
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Exatidão dos métodos não destrutivos de obtenção do volume comercial de árvores nativas na Amazônia

Na Figura 1, observa-se que o volume obtido por meio da cubagem com o Criterion RD 1000 e a estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida de forma visual por uma pessoa com experiência apresentaram tendência em subestimar o volume das árvores, com a distribuição dos resíduos, em sua maioria, entre -20 a 40% e -40 a 40%, respectivamente. Já a estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida com o clinômetro Suunto não apresentou tendência.

Figura 1 – Distribuição dos resíduos do volume comercial das árvores, em percentagem, para a cubagem com o Criterion RD 1000 (a), estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida de forma visual por uma pessoa com experiência (b) e estimativa com fator de forma baseado no volume do cilindro a partir da altura comercial obtida com o clinômetro Suunto (c)





Analisando os resultados da Tabela 2, observa-se que a obtenção do volume pelo Criterion RD 1000 apresentou melhores resultados para as estatísticas analisadas, seguido da obtenção do volume com o uso do fator de forma 0,7 e volume do cilindro com a medida de altura feita com Clinômetro Suunto e o fator de forma 0,7 e volume cilíndrico com a medida de altura feita visual com treinamento, respectivamente. A obtenção do volume com o fator de forma 0,7 e volume cilíndrico com o uso da altura comercial realizado visual com experiência foi o que menos exato em comparação aos demais métodos avaliados. Ressalta-se que este é o método empregado atualmente para fins de obtenção do volume de madeira para o planejamento do manejo florestal sustentável na região em estudo. Esse resultado pode ser resultante da menor exatidão das medidas de altura comercial das árvores

pela estimativa visual realizada por uma pessoa com experiência como demonstradas no Capítulo 1.

Tabela 2 – Estatísticas viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e raiz do quadrado médio do erro ($RQME$) para estimativas do volume comercial de espécies nativas da Região Amazônica

Estatísticas	Criterion RD 1000	Fator 0,7_Visual	Fator 0,7_Suunto
V (%)	6,96	12,66	-1,80
MD (%)	15,93	23,44	17,36
$RQME$ (%)	20,20	48,89	27,29

O resultado encontrado para o volume obtido pelo Criterion RD 1000 é corroborado por Rodrigues e Landa (2009). Esses autores chegaram à conclusão que o dendrometro Criterion RD 1000 pode ser utilizado para medição do volume de *Pinus* com exatidão.

3.2. Análise da exatidão do modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) ajustado com diferentes métodos de obtenção do volume comercial

Na Tabela 3 estão as equações ajustadas e as estatísticas coeficiente de correlação (r) e raiz do quadrado médio do erro ($RQME$) para o modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933), ajustado com a base de dados da cubagem das árvores em pé com o Criterion RD 1000 e a cubagem rigorosa tradicional. Conforme os resultados da Tabela 3, verificou-se que o modelo volumétrico se ajustou bem para as ambas bases de dados com alto valor de r . O ajuste do modelo volumétrico com os dados da cubagem tradicional levou uma ligeira vantagem, apresentando menor valor para a estatística $RQME\%$.

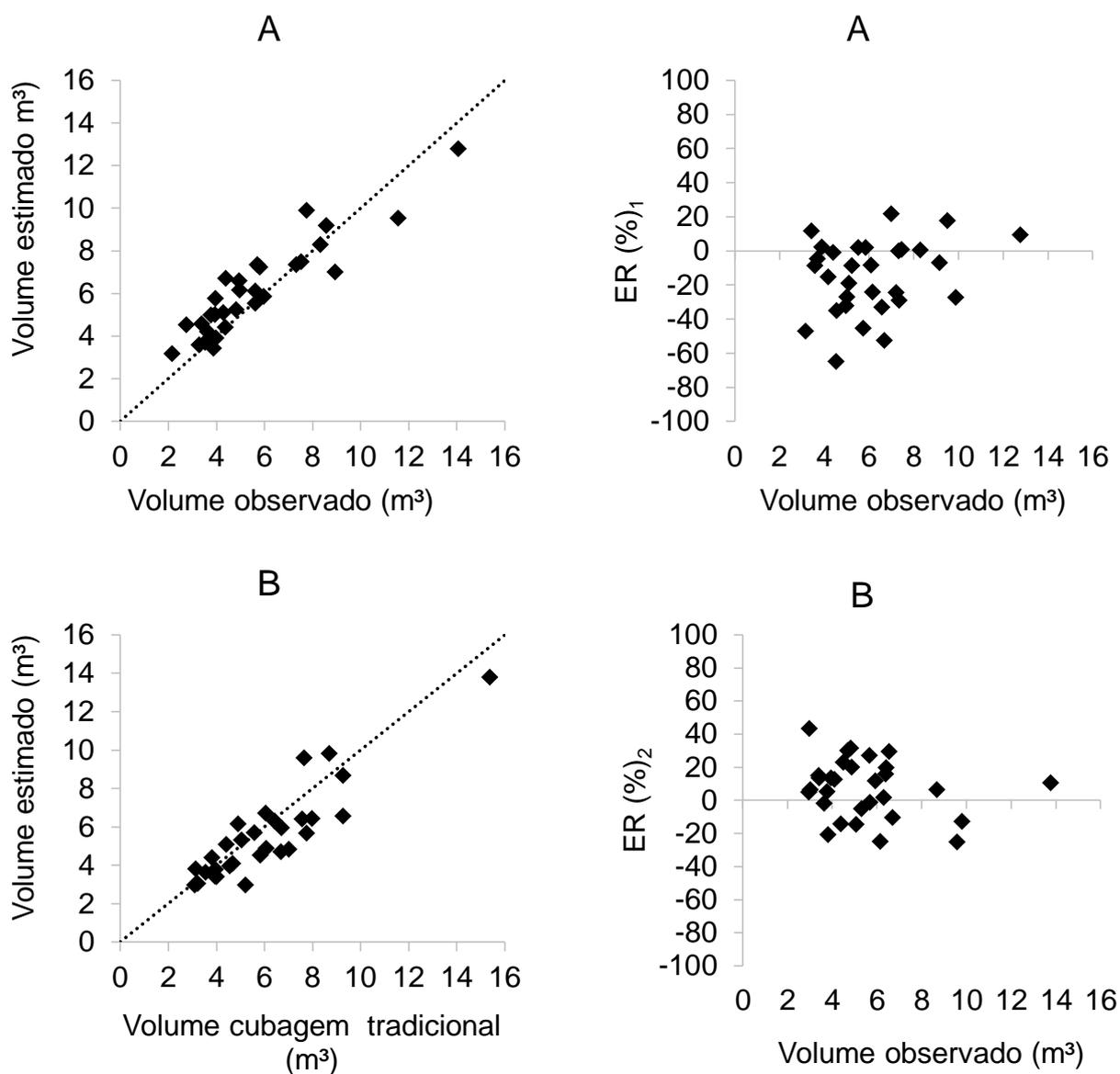
Tabela 3 – Equações ajustadas e estatísticas para o modelo de Schumacher e Hall (1933) ajustado com bases de dados de cubagem de árvores em pé com Criterion RD 1000 e cubagem tradicional.

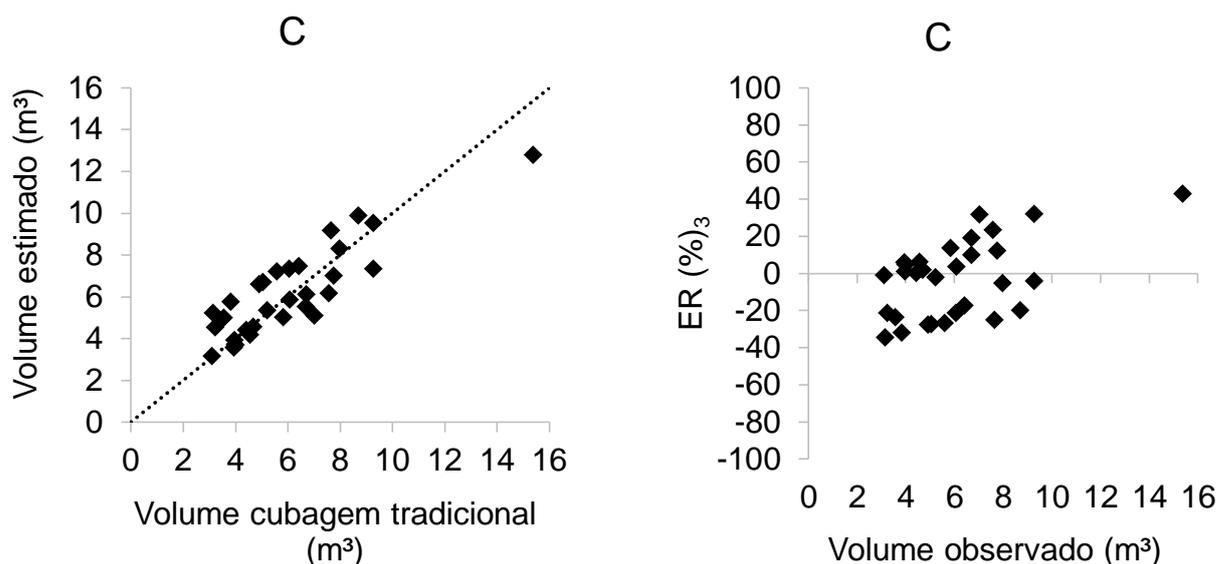
Método	Equação	<i>r</i>	<i>RQME</i> (%)
Cubagem Criterion (1)	$V=0,001073^{ns} \cdot DAP^{1,511913^{**}} h_c^{0,725513^{**}}$	0,9184	20,99
Cubagem tradicional (4)	$V=0,0003711^{ns} \cdot DAP^{1,7867860^{**}} h_c^{0,6316111^{**}}$	0,8932	20,47

**significativo ao nível de 5% de significância; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de significância.

Na Figura 2, observou-se que o modelo de Schumacher e Hall (1933) ajustado com a base de dados oriundas da cubagem em pé com o Criterion RD 1000 (Figura 2A) apresentou tendência clara em superestimar o volume das árvores com a distribuição residual, em sua maioria, entre -40 a 20%. A estimativa do volume com a partir da base de dados de cubagem tradicional (Figura 2B) apresentou uma leve tendência em subestimar o volume com distribuição residual, em sua maioria, entre -20 a 30%. Ao analisar os resíduos do volume estimado com os dados do Criterion RD 1000 em função do erro calculado com base no volume da cubagem tradicional (Figura 2C), percebe-se que as estimativas do modelo apresentaram tendência em superestimar o volume das árvores de menor porte (abaixo de 6m³).

Figura 2 – Distribuição dos resíduos em percentagem do modelo de Schumacher e Hall (1933), sendo (A) volume estimado com o modelo ajustado com a base de dados da cubagem de árvores em pé com Criterion RD 1000 a partir do volume observado da cubagem com o Criterion RD 1000; (B) volume estimado pelo modelo ajustado com a base de dados da cubagem tradicional a partir do volume observado na cubagem tradicional; (C) volume estimado com o modelo ajustado com a base de dados de cubagem de árvores em pé com Criterion RD 1000 a partir do volume observado na cubagem tradicional.





São apresentados na Tabela 4 os resultados das estatísticas viés (V), médias das diferenças absolutas (MD) e raiz do quadrado médio do erro ($RQME$) para o modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933). Verificou-se que o volume estimado pelo modelo ajustado com a base de dados da cubagem tradicional com os erros calculados a partir do volume observado na cubagem tradicional (B) apresentou maior exatidão comparando ao volume estimado com o modelo ajustado com a base de dados da cubagem de árvores em pé com Criterion RD 1000 com os erros calculados a partir do volume observado da cubagem com o Criterion RD 1000 (A). Em termos de exatidão, nota-se que as estimativas baseadas nas diferentes bases de dados não se diferenciaram considerando as estatísticas MD e $RQME$, sendo o modelo ajustado a partir da base de dados de cubagem tradicional menos viesada.

Quando se analisou as estatísticas das estimativas do modelo volumétrico ajustado com a base de dados da cubagem com o Criterion RD 1000 com os erros calculados a partir do volume observado na cubagem tradicional (C), observou-se que a exatidão do modelo não alterou consideravelmente as estatísticas V , MD e $RQME$.

Tabela 4 – Estatísticas complementares viés (*V*), médias das diferenças absolutas (*MD*) e raiz do quadrado médio do erro (*RQME*) para os volumes estimados pela equação de Schumacher e Hall (1933)

Estatísticas	Criterion RD 1000 (A)	Cubagem tradicional (B)	Criterion RD 1000 (C)
<i>V</i> (%)	-10,39	3,57	-10,97
<i>MD</i> (%)	17,11	16,05	17,99
<i>RQME</i> (%)	21,47	20,26	22,34

Os resultados das Tabelas 3 e 4 e Figura 2 já eram esperados, uma vez que a cubagem rigorosa é feita com a árvore abatida e os diâmetros serem medidos de forma direta com o auxílio de uma suta e a cubagem pelo Criterion RD 1000 não haver o contato do aparelho com o objeto a ser medido.

3.3. Teste Leite e Oliveira (2002)

Os resultados do teste proposto por Leite e Oliveira (2002) estão apresentados na Tabela 5. Verifica-se que as estimativas de volume comercial obtidas pelo o modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) ajustado com as bases de dados de cubagem de árvores em pé utilizando o Criterion RD 1000 e a cubagem tradicional não diferiram estatisticamente a 1% de probabilidade.

Tabela 5: Parâmetros estimados do modelo linear simples e resultados do teste de Leite e Oliveira (2002) para a estimativa de volume comercial de árvores nativas.

$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$F(H_0)$	$t_{\bar{e}}$	r	$1 - e $	Situação
-0,81796	1,03346	0,0007 ^{ns}	0,2195 ^{ns}	0,96	0,88	1

Em que: $F(H_0)$ = estatística do teste F de Graybill (1976); $t_{\bar{e}}$ = estatística do teste t para os erros médios; r = coeficiente de correlação entre os volumes estimados pelo modelo volumetrico ajustado por diferentes bases de dados; *ns* = não significativo a 1% de probabilidade pelos teste *F* e *t*.

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram que o Criterion RD 1000 pode ser utilizado em inventários florestais para obtenção do estoque de madeira de floresta nativa na Amazônia. Com seu uso é possível ter o conhecimento do volume das árvores com exatidão sem a necessidade do abate das árvores. Esse fato é uma vantagem prática considerável, uma vez que a cubagem em pé depende de um menor tempo para obter as medidas de diâmetro a várias alturas. Além disso, considerando que na maioria das vezes o abate de espécies nativas não é autorizado, a obtenção do volume de árvores nativas não seria possível e quando autorizado a derrubada de árvores é limitada a poucos indivíduos. Isso poderia acarretar em falta de uma base confiável para o ajuste de modelos volumétricos necessários para dar suporte aos planos de manejo florestal sustentável, pois equações locais são obrigatórias em PMFS pleno (IBAMA, 2006). O uso deste instrumento pode ser uma alternativa, também, em relação ao uso da suta ou a fita diamétrica quando se deseja medir o diâmetro em árvore em pé com presença de sapopemas, extinguindo a necessidade do mensurador de escalar as árvores para medição do diâmetro.

4. CONCLUSÕES

- A cubagem de árvores em pé com o uso do Criterion RD 1000 teve maior exatidão nas medidas dos volumes das árvores nativas da Região Amazônica. O uso do fator de forma igual a 0,7 com o volume do cilindro obtido pela medição da altura comercial com o uso do Suunto gerou estimativas mais exatas quando comparado ao uso do fator de forma com a medida de altura comercial visualmente.
- O modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) teve melhor ajuste para as medidas de altura e diâmetro obtidos pela cubagem tradicional com árvores abatidas. Entretanto, as estimativas obtidas pelo modelo de Schumacher e Hall (1933) ajustado com as bases de dados oriundas de cubagem tradicional e da cubagem em pé pelo Criterion RD 1000 não diferiram estatisticamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBAMA. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. Disponível <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/47-?download=7670%3Ain-5-mma>> Acesso em: 11 de agosto de 2016.

FIGUEIREDO, E. O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D. de A. **Comunicado Técnico: Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia**. Rio Branco, AC, 2009.

GRAYBILL, F. A. Theory and application of the linear model. Massachussets: Ouxburg Press, 1976. 704p.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and plant analysis**, New York, v. 333, n. 7/8, 2002.

MIRANDA, D. L. C., JUNIOR, V.B., GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, Aracaju, v.11, n. 03, 2015.

NICOLETTI, M. F. **Comparação de métodos não-destrutivos de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa**, Piracicaba, SP: ESALQ, 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Recursos Florestais) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

RODRIGUEZ, F., FERNANDES, A., LIZARRALDE, I., CONDÉS, S I. Criterion™ RD1000: Una oportunidad para calcular el volumen de árboles en pie. In: **Congressos-carga final**. 2009.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. dos S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

THAINES, F. Plano de manejo florestal Sustentável comunitário (PMFSC), Tecnologia e manejo florestal, p.133, 2013.

6. CONCLUSÕES GERAIS

O clinômetro Suunto e a estimativa visual feita por uma pessoa com experiência apresentaram os melhores resultados para os atributos exatidão e custo. O clinômetro Suunto é o método indicado para realização das medidas de altura com maior exatidão e menor custo, em relação aos outros instrumentos analisados. A estimativa visual feita por um operador com experiência é indicada quando a preferência é realizar as medidas de altura comercial com menor custo, menor tempo sem levar em conta a exatidão.

A cubagem de árvores em pé com o uso do Criterion RD 1000 teve maior exatidão nas medidas dos volumes das árvores nativas da Região Amazônica. O volume obtido com uso do fator de forma igual a 0,7 com o volume do cilindro obtido pela medição da altura comercial com o uso do Suunto quando comparado ao volume obtido pelo fator de forma com a medida de altura comercial visualmente foi mais exato.

O modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) apresentou melhor ajuste para as medidas da cubagem tradicional, porém as estimativas da altura obtidas pelo modelo de Schumacher e Hall (1933) ajustado com as bases de dados oriundas de cubagem tradicional e da cubagem em pé pelo Criterion RD 1000 não diferiram estatisticamente.