

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**EFEITO DA BORDA NA PRECISÃO DO INVENTÁRIO FLORESTAL E
NA ESTIMATIVA DE MULTIPRODUTOS EM UM POVOAMENTO DE
EUCALIPTO**

MAIDA CYNTHIA DUCA DE LIMA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO - 2017

MAIDA CYNTHIA DUCA DE LIMA

**EFEITO DA BORDA NA PRECISÃO DO INVENTÁRIO FLORESTAL E
NA ESTIMATIVA DE MULTIPRODUTOS EM UM POVOAMENTO DE
EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Christian Dias Cabacinha (UFMG)

Coorientador: Prof. Carlos Alberto Araújo Junior (UFMG)

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
MAIO - 2017**

MAIDA CYNTHIA DUCA DE LIMA

**EFEITO DA BORDA NA PRECISÃO DO INVENTÁRIO FLORESTAL E
NA ESTIMATIVA DE MULTIPRODUTOS EM UM POVOAMENTO DE
EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: 30/05/2017

Comissão Examinadora:

Prof. Luis Carlos de Freitas (D.Sc., Engenharia Florestal) - UESB

Prof.^a. Adriana Leandra de Assis (D.Sc., Engenharia Florestal) - UFMG

Prof. Christian Dias Cabacinha (D.Sc., Ciências Ambientais) - UFMG
Orientador

AGRADECIMENTOS

Neste longo caminho, existem pontos altos e baixos e, em diversos momentos precisamos contar com Deus e pessoas que tornam a caminhada menos árdua, portanto agradeço:

A Deus por mais uma vitória alcançada e por todas as bênçãos recebidas ao longo da minha caminhada.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela concessão da Bolsa de estudos.

À minha família, que no alto de sua simplicidade torna-se base e exemplo para mim, que em muitos momentos deixaram de realizar seus sonhos para viverem os meus, em especial aos meus pais Sônia e José e a minha irmã Lívia.

Ao meu orientador, professor Christian Dias Cabacinha, pela disponibilidade irrestrita, pelo apoio e paciência na orientação, suporte e fortalecimento ao longo deste trabalho.

Ao meu coorientador, professor Carlos Alberto Araújo Júnior, pelo apoio, dedicação e prontidão de suas sugestões para o enriquecimento desta pesquisa.

À Professora Adriana Assis pelo apoio, estadia, sabedoria, experiência prática e incentivo no crescimento pessoal e profissional.

A Pabulo Diogo, meus efusivos agradecimentos pela sua ajuda na etapa em que mais precisei, onde tudo parecia impossível.

Aos amigos Marcos Santana e Sílvio Henrique, companheiros de trabalho árduo, pela ajuda tanto em campo quanto na etapa de processamento de dados, vocês foram fundamentais para a execução do trabalho. Grata pela amizade e pelas boas risadas.

A todo o pessoal da empresa Norflor, pela concessão da área para realização deste estudo e pelo apoio financeiro durante a etapa de campo, com quem compartilhei conhecimentos e boas risadas.

A Luíz Otávio, pela ajuda no processamento de dados e pela paciência.

Aos meus grandes amigos que, mesmo distantes, estiveram muito presentes e tornaram meus dias mais alegres e cheios de ânimo, em especial a Larissa Rocha, Priscila Matos e Walleska Medeiros.

À amiga Gih, que apesar de muitos km de distância, não mediu esforços para me atender e ajudar na etapa final do trabalho. Obrigada pela amizade e por todos os conhecimentos transmitidos.

Carinho especial às amigadas construídas em Moc, as quais me fizeram sentir mais em casa, em especial a Pabulo, Ariane, Gabi e Josi, pessoas a quem devo muito afeto e gratidão.

À Raíssa Cabacinha e seus filhos, pela amizade, boas conversas compartilhadas e pelos ensinamentos de vida.

Obrigada a Márcia, Ernane, Cláudia, Roberta, Kiko e demais, pelos passeios e pelos momentos de descontração nessa temporada que passei em Moc.

À Universidade Federal de Minas Gerais, por me receber e fazer com que eu me sentisse acolhida, além dos ensinamentos para o exercício desta grande profissão.

À toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela chance e confiança depositada em mim e pela prontidão na resolução de problemas, em especial, à Fabrícia e à professora Patrícia Bittencourt.

À minha turma de mestrado, pela companhia diária e pelos momentos de estudo e muito aprendizado.

Ao meu namorado, Marco, por transmitir alegria, dedicação, paciência e AMOR, elementos fundamentais para abrandar os momentos mais tensos desse trabalho.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a execução deste trabalho, sou muito grata.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Importância da madeira para o setor florestal	11
2.2 Inventário Florestal	13
2.3 Amostragem no Inventário Florestal	16
2.3.1 Processos de Amostragem	17
2.4 Estimativas hipsométricas e volumétricas	21
2.5 Bordadura	22
2.6 Multiprodutos da madeira	26
CAPÍTULO 1:	30
INFLUÊNCIA DA BORDA NAS ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE MADEIRA DE UM POVOAMENTO DE EUCALIPTO	30
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	34
2.2 Levantamento dos dados	34
2.2.1 Inventário 100%	35
2.2.2 Cubagem rigorosa	35
2.3 Ajuste de equações	36
2.3.1 Modelos hipsométricos	36
2.3.2 Modelos volumétricos	37
2.4 Georreferenciamento	37
2.4.1 Simulações do Inventário Pré-corte	40
2.4.1.1 Inventário convencional	40
2.5.1 Ajuste e seleção de equações	41
2.5 Análises de dados	41
2.5.1 Ajuste e seleção de equações	41
2.5.2 Processamento do inventário	43
2.5.2.1 Comparação do volume médio do inventário florestal com o volume médio do censo	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1 Inventário 100 %	45
3.2 Ajustes	46
3.2.1 Modelos hipsométricos	46
3.2.2 Modelos volumétricos	49
3.3 Simulações	55
3.3.1 Inventário Pré-corte convencional	55
3.3.2 Inventário Pré-corte bordadura	57
4 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS	67

CAPÍTULO 2:	72
EFEITO DA BORDA NA OBTENÇÃO DE MULTIPRODUTOS EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO	72
1 INTRODUÇÃO	74
2 MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	76
2.2 Levantamento dos dados	79
2.3 Estimativas de altura e de volume	78
2.4 Modelos de Taper	78
2.5 Simulações do Inventários Pré-corte	79
2.5.1 Inventário convencional.....	82
2.5.1 Inventário de bordadura.....	82
2.6 Alternativas de conversão da madeira para obtenção dos multiprodutos ..	81
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4 CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS	92
5 CONCLUSÕES GERAIS	95
REFERÊNCIAS	99

RESUMO

LIMA, Maida Cynthia Duca de, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, maio de 2017. **Efeito da borda na precisão do inventário florestal e na estimativa de multiprodutos em um povoamento de eucalipto.** Orientador: Christian Dias Cabacinha. Coorientador: Carlos Alberto Araújo Junior.

Estudar a influência de borda em povoamentos florestais é de extrema importância para o gerenciamento e manejo dos produtos disponíveis na área, na busca pelo máximo aproveitamento e rendimento da madeira. É neste contexto que se insere o presente estudo, que tem por objetivos avaliar a necessidade de forçar uma amostragem da borda para estimativas de volume do povoamento e analisar a influência das árvores da borda na obtenção dos multiprodutos. O estudo foi desenvolvido no município de Grão Mogol, Minas Gerais, e os dados foram obtidos de um plantio comercial de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com uma área de 16,73 hectares. A abordagem metodológica consistiu na realização de um censo de diâmetros, e a altura foi obtida por relação hipsométrica. Para a obtenção do volume, foram cubadas 112 árvores pelo método de Smalian. Estes dados de diâmetros, alturas e volumes foram inseridos em um SIG (Sistema de Informações Geográficas), para a realização de todas as simulações de amostragem. A simulação do inventário Pré-corte (IPC) foi dividida em dois tipos: convencional e bordadura, em que foram lançadas, para cada situação, seis parcelas circulares. No IPC convencional foram testados dois processos de amostragem de uso recorrente: a Amostragem Casual Simples (ACS) e Amostragem Sistemática (AS). Já no IPC de bordadura, as parcelas foram distribuídas seguindo duas amostragens de borda, em um primeiro momento de maneira aleatória e, posteriormente, de forma sistemática, testando três profundidades de borda (10, 15 e 20 m). Para a conversão das árvores em multiprodutos, ajustou-se o modelo polinomial de Ormerod e com as simulações de IPC convencional e bordadura apenas para a profundidade de 20 m, foram obtidos os dados de distribuição diamétrica, altura média por classe de diâmetro e frequência, nas quais as árvores foram convertidas em multiprodutos, considerando três alternativas de uso (madeira para serraria, celulose e energia). Os modelos hipsométrico e volumétrico que melhor se ajustaram aos dados de acordo com as estatísticas de ajuste e exame dos resíduos foram o de Curtis e de Schumacher e Hall

logaritimizado, respectivamente. Nos processos de amostragem simulados, verificou-se que não há necessidade de forçar uma amostragem da borda para estimativas de volume do povoamento, no entanto, constatou-se que as árvores de borda exercem influência sobre os multiprodutos da madeira, e as amostragens estratificadas aleatória e sistemática geram estimativas mais precisas para a obtenção da quantidade de toras para os multiprodutos. Portanto, para quem maneja povoamentos florestais para um único produto não é necessário estratificar a borda, ao passo que, quem deseja um aproveitamento do povoamento para multiprodutos, este efeito é significativo.

Palavras-chave: censo, amostragem, volumetria, acuracidade, sortimentos.

ABSTRACT

LIMA, Maida Cynthia Duca de, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, May, 2017. **Effect of edge on the precision of the forest inventory and the estimation of multiproducts in a plantation of eucalyptus.** Adviser: Christian Dias Cabacinha. Co-Adviser: Carlos Alberto Araújo Junior.

Studying the influence of edge in forest stands is of extreme importance for the management and management of the products available in the area, in the search for maximum utilization and yield of the wood. It is in this context that the present study is inserted, whose objectives are to evaluate the need to force an edge sampling to estimate the volume of the stand and to analyze the influence of the edge trees in obtaining the multiproducts. The study was developed in the municipality of Grão Mogol, Minas Gerais, Brazil, whose data were obtained from a commercial planting of hybrids of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, with an area of 16.73 hectares. The methodological approach consisted of a census of diameters, and height was obtained by hypsometric relation. To obtain the volume, 112 trees were cubed by the Smalian method. These data of diameters, heights and volumes were inserted in a GIS (Geographic Information System), to carry out all the sampling simulations. The simulation of the Pre-cut (CPI) inventory was divided into two types: conventional and border, in which six circular plots were launched for each situation. In the conventional CPI, two recurrent sampling processes were tested: Simple Casual Sampling (ACS) and Systematic Sampling (AS). In the border IPC, the plots were distributed following two border samplings, at first randomly, and subsequently in a systematic way, testing three border depths (10, 15 and 20 m). For the conversion of the trees into multiproducts, the Ormerod polynomial model was fitted and with the conventional IPC and border simulations only for the depth of 20 m, obtained the data of diameter distribution, average height by diameter class and frequency, in the The trees were converted into multiproducts, considering three alternatives of use (wood for sawing, cellulose and energy). The hypsometric and volumetric models that best fit the data according to the statistics of fit and examination of the residues were Curtis And of Schumacher and Hall logarithmized, respectively. In the simulated sampling processes, it was verified that there is no need to force an edge sampling to estimate the volume of the stand, however, it is contacted that the edge trees exert influence on

the multiproducts of the wood, and random stratified samplings And systematic methods generate more precise estimates for obtaining the quantity of logs for the multiproducts. Therefore, for those who manage forest stands for a single product, it is not necessary to stratify the border, while those who wish to use the stand for multiproducts, this effect is significant.

Keywords: census, sampling, volumetry, accuracy, multiproducts.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O volume de madeira de uma floresta é uma variável quantitativa que, quando determinada de forma adequada, permite o gerenciamento e o planejamento dos recursos florestais. Sua estimativa é, na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais. Assim, a busca por metodologias que possibilitem atender de forma precisa as estimativas de volume dos fustes e a obtenção dos múltiplos produtos da madeira assume papel de destaque em inventários florestais.

Os povoamentos florestais plantados estão sujeitos a uma diversidade de fatores que influenciam sua produtividade, tais como: condições de solo, clima, espaçamento, idade, material genético e localização das árvores na área (SILVA, 2009). A variação da demanda por produtos consiste em outra variável que afeta consideravelmente o processo de produção florestal, evidenciando a complexidade do sistema (SILVA, 2001).

A definição de produtos a serem obtidos de povoamentos florestais é uma atividade relativamente complexa, sendo influenciada por diversos fatores, dentre os quais destacam-se: características e especificações de cada produto (comprimento e diâmetros mínimos e máximos), receita obtida, custo de processamento, características operacionais e demanda de mercado, além dos fatores logísticos (CAMPOS e LEITE, 2013).

Nesse cenário, faz-se necessária a utilização de processos eficientes de amostragem e técnicas de otimização para a diversificação do uso da madeira e definição das estratégias a serem adotadas em cada povoamento para a obtenção do máximo rendimento econômico, ocorrendo um maior aproveitamento dos recursos florestais e diminuição dos desperdícios gerados pelos sortimentos. Assim, conhecer o volume de madeira existente nestas situações requer a utilização de uma série de critérios e metodologias, de maneira que o inventário florestal seja representativo e permita obter resultados consistentes e confiáveis sobre os parâmetros analisados.

Os processos de amostragem mais importantes e conhecidos para obtenção dessas informações são a amostragem aleatória simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada (BONETES, 2003). Já o censo, ou inventário 100%, embora isento de erros amostrais, apenas é viável em pequenas áreas e naquelas que

possuem grande importância econômica, devido ao elevado custo operacional. Por outro lado, os outros processos de amostragem permitem conhecer as estimativas da população com alta precisão e custo reduzido, e consistem na medição de parte da população, isto é, de unidades amostrais ou parcelas, para depois extrapolar os resultados para a área total.

Cada povoamento florestal tem suas peculiaridades, mas verifica-se que, em geral, os indivíduos situados na bordadura, apresentam características dendrométricas distintas quando comparados com os do interior dos povoamentos, possuindo maior diâmetro e altura. Tal efeito pode ser explicado por uma menor competição entre plantas e, conseqüentemente, maior disponibilidade de luz e nutrientes (MIRANDA, 2016). Esses fatores que afetam diretamente o desenvolvimento da planta podem refletir em um incremento diamétrico mais significativo (RODRIGUES, 1998), afetando assim, o estoque total da população e até mesmo os múltiplos produtos desta madeira, quando este efeito não é captado pelo processo de amostragem.

Considerando-se que trabalhos acerca da influência desse efeito em povoamentos plantados ainda são incipientes, há necessidade de estudos que avaliem os fatores que influenciam o crescimento, a largura máxima na qual esses efeitos são significativos, a melhor maneira de amostragem, o tamanho de parcela ideal e o impacto das árvores de borda na obtenção de estimativas para uso múltiplo da madeira.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar uma metodologia de inventário florestal que considere uma amostragem da borda dos povoamentos para melhorar as estimativas de volume estocado e a estimativa dos sortimentos. Dentro desta proposta, os objetivos específicos são:

- Comparar as estimativas de volume do povoamento obtidas a partir de processos de amostragem clássicos e da estratificação do povoamento com diferentes larguras de borda com volume do censo;
- Comparar as estimativas de número de toras para os multiprodutos do povoamento obtidas a partir de processos de amostragem clássicos e da estratificação do povoamento com o número de toras do censo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da madeira para o setor florestal

As árvores plantadas para fins industriais são fonte de centenas de produtos e subprodutos e geram diversos serviços culturais, recreativos, turísticos e outros relacionados à pesquisa e à regulação do fluxo hídrico e de nutrientes, além de gerar benefícios climáticos com o sequestro de carbono. Por esse motivo, o setor tem sido destaque na busca por soluções que atendam a um dos maiores desafios do século XXI: a crescente demanda por madeira, energia e fibras, sem esquecer-se da manutenção dos recursos florestais e a inclusão social (IBÁ, 2016).

Nesse sentido, as florestas naturais e plantadas têm papel de destaque no atendimento dessas necessidades, que apesar de ocupar menos de 30% da superfície terrestre, geram um mercado da ordem de US\$ 372 bilhões no mundo e mais de 60 milhões de empregos diretos e indiretos (SFB, 2017).

O Brasil, por sua vez, destaca-se no cenário mundial por possuir extensas áreas florestais nativas com possibilidade de manejo adequado e também florestas plantadas com perspectivas de crescimento, que se apresentam entre as mais sustentáveis do mundo (MMA, 2000).

A silvicultura é uma atividade econômica em expansão e desenvolvimento, com demandas crescentes, que promove a sustentabilidade e contribui para a manutenção do equilíbrio ambiental, por intermédio da utilização de recursos sustentáveis (FISCHER et al., 2015).

O setor florestal brasileiro assume papel de destaque no que se refere ao consumo de madeira, ficando atrás somente da construção civil e setor mobiliário (SOUSA et al., 2010). Neste sentido, a silvicultura mostra-se como uma importante atividade econômica para o Brasil, sendo que, de um total de 136.276.666 metros cúbicos de madeira em tora produzidos em 2015, 91% foram oriundos das florestas plantadas e apenas 9% do extrativismo vegetal (IBGE, 2015).

Entre os segmentos que utilizam a madeira como principal fonte de matéria-prima, podemos citar: celulose e papel, painéis de madeira, pisos laminados, serrados e compensados, siderurgia a carvão vegetal e o de energia (PUENTES, 2010).

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE, 2015), observa-se a participação da silvicultura e da extração vegetal na produção madeireira nacional. O valor da extração vegetal e silvicultura somou R\$ 18,4 bilhões. A silvicultura (obtida em florestas plantadas) contribuiu com 74,3% (R\$ 13,7 bilhões) do total, enquanto a extração vegetal participou com 25,7% (R\$ 4,7 bilhões). O total produzido de madeira em tora destinado para papel e celulose foi de 76,8 milhões de m³, o qual contribuiu com 72,1% da produção nacional. A produção de carvão vegetal foi de 797 mil toneladas, das quais 94,7% foram produzidas pela silvicultura, e 5,3%, pela extração vegetal. Com relação à lenha, o extrativismo vegetal colaborou com 34% de um total de 26,9 milhões de m³, contra 66% da silvicultura.

Dentro desse cenário, o Brasil situa-se entre os 10 maiores países em áreas de florestas plantadas do mundo, totalizando 7,8 milhões de hectares, onde o gênero *Eucalyptus* se destaca, representando a maior parte dos plantios comerciais. Dentre os estados brasileiros, o estado de Minas Gerais possui maior concentração de plantios florestais, ultrapassando os 1,4 milhões de hectares em 2014 (ACR, 2016), o que representa 25% do total nacional.

No entanto, a indústria florestal tem ainda um enorme potencial de aplicações que vêm sendo estudadas e consideradas. As tecnologias mais avançadas permitirão aproveitar, no futuro, a totalidade da floresta e dos produtos e subprodutos dos processos produtivos, possibilitando novos usos como a celulose nanofibrilar e a nanocelulose cristalina, empregadas na indústria de embalagens e próteses médicas, respectivamente. Estima-se que, em uma década, a fibra de carbono sustentável, extraída da madeira será 50% mais barata que a tradicional, e poderá ser usada na indústria aeronáutica e automobilística (IBÁ, 2016).

Justamente por seu valor econômico e seu papel central numa economia de baixo carbono, é preciso considerar a floresta como um bem precioso e estratégico, além de reconhecer sua importância como provedora de produtos e serviços, adotando políticas públicas que integrem os setores de uso da terra no desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis. Contudo, o setor florestal se beneficiará de desenvolvimentos tecnológicos que poderão, inclusive, criar novos produtos a partir da madeira. Deste modo, criar diversificação no mercado consumidor é um desafio para minimizar efeitos das crises (SFB, 2017).

A situação de maturidade do mercado é observada, especialmente, em regiões cuja produção é voltada para o setor de celulose, onde não ocorrem oscilações relevantes de consumo ano a ano; ou em regiões com diversidade de mercados, como acontece no Sul de São Paulo, Santa Catarina e Paraná, onde segmentos como celulose, painéis, serrados e biomassa coexistem. Regiões cuja exposição é predominantemente relacionada ao setor siderúrgico registraram, nos últimos dois anos, uma grande retração do mercado, reforçando o desafio setorial de trazer novos investimentos para diversificar o consumo (IBÁ, 2016).

Contudo, mesmo diante dos desafios, a demanda por produtos florestais é crescente em todo o mundo e é evidente a migração da produção do Hemisfério Norte para o Sul, fato que deverá suportar o crescimento do setor ao longo de muitos anos. No Brasil, especialmente nas regiões com maior maturidade deste mercado, as plantações florestais têm apresentado resultados compatíveis com investimentos tradicionais de baixo risco e de longo prazo (IBÁ, 2016).

2.2 Inventário Florestal

O inventário florestal é uma técnica imprescindível para o conhecimento do potencial dos recursos existentes em uma determinada área e representa o passo inicial para o planejamento da propriedade florestal. Este procedimento estuda as características dendrométricas na obtenção de informações qualitativas e quantitativas do estoque de madeira dos recursos florestais e de muitas características das áreas sobre as quais as árvores estão inseridas (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Segundo Hush et al. (2003), o inventário florestal representa a base para o manejo, para a conservação das florestas, para o planejamento regional e fundamenta a tomada de decisões estratégicas nos diversos níveis administrativos.

Na década de 1950, autores como Spurr (1952) utilizaram um conceito mais restrito para os inventários florestais, sendo definidos como métodos de obtenção de informações de volume e de crescimento. Posteriormente, com a modernização das ferramentas estatísticas, o emprego de fotografias aéreas em inventários florestais e aumento da capacidade de processamento de dados, o conceito de inventário florestal

foi largamente ampliado, havendo uma revolução nos métodos utilizados para a realização dos inventários florestais (LOETSCH e HALLER, 1973).

Já na década de 1980, começou a se consolidar o conceito moderno de inventário florestal entre os pesquisadores da área. Autores como Husch et al. (1982) já citavam a necessidade de se gerar informações mais detalhadas sobre as áreas florestais e também sobre recreação, água, fauna e outros produtos não madeireiros.

Posteriormente, com a evolução da tecnologia e da crescente demanda por informações mais detalhadas sobre as áreas florestais, os inventários tornaram-se mais complexos e passaram a informar muitos detalhes adicionais. Desta forma, o conceito de inventários florestais, no Brasil, solidificou-se como sendo uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada. Trata-se de uma definição genérica do inventário florestal, adotada para não se omitir nenhuma abrangência de seu escopo (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

De acordo com Sanquetta et al. (2006), informações referentes a uma determinada área florestal são obtidas por meio do inventário florestal, que pode ser qualquer tipo de levantamento florestal. Porém, o que o torna característico, principalmente do ponto de vista quantitativo, é a sua representatividade amostral e sua validade estatística. Tal pressuposto está relacionado ao uso de fundamentos de amostragem, visando a obtenção de estimativas dos parâmetros das florestas nas quais as árvores estão inseridas (UBIALLI, 2009).

O inventário florestal constitui o ramo da ciência que aborda os métodos para a obtenção de informações a respeito da cobertura vegetal, como: área, volume e crescimento das árvores, qualidade e quantidade de espécies distribuídas em uma determinada área florestal, sendo florestas naturais ou plantadas (BERTOLA, 2002). Tratando-se de florestas plantadas, as informações obtidas no inventário servem de suporte na execução das operações de colheita florestal, em negociações de compra e venda de madeira, além de direcionar o planejamento estratégico no uso dos recursos florestais (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; SCOLFORO e MELLO, 2006). Contudo, faz-se necessário o emprego de técnicas de mapeamento, mensuração florestal e amostragem, visando a obtenção de informações precisas e confiáveis, a custos compatíveis (MEUNIER et al., 2002).

Na atualidade, diversas técnicas de mapeamento podem ser combinadas de forma eficaz, proporcionando um maior desempenho do inventário florestal. Com o surgimento recente de métodos mais automatizados para a aquisição de dados, através da técnica conhecida como sensoriamento remoto, por exemplo, surgiram maiores facilidades de obter informações a respeito de áreas mais isoladas e ainda sem cartografia tradicional.

O advento de novas tecnologias, como a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), geoestatística, estatística bayesiana, entre outros, têm possibilitado aplicações na área florestal. Dentre os vários avanços que estão sendo incorporados nessas tecnologias, pode-se elencar a redução de tempo na coleta de dados, o que permite reunir diversas informações sobre a área que se deseja estudar, gerando ainda um efetivo gerenciamento das áreas, determinando calendários de análise, adubação, correção e colheita, entre outras aplicações. Estas melhorias tecnológicas combinadas com uma diminuição nos custos de componentes eletrônicos apresentam uma oportunidade fantástica para aplicações de dados obtidos por esses avanços tecnológicos em Engenharia Florestal e análise de recursos naturais (SANQUETTA, 2014).

Silva (2001) relata que o inventário florestal deve fornecer, além do volume total explorável, a distribuição do número de árvores por hectare e por classe de diâmetro, além da área basal por hectare, por classe de diâmetro, por grupo de espécies e para cada espécie individualmente, o que torna possível presumir gastos e lucros para a indústria madeireira. Além disso, eles são importantes ferramentas utilizadas no diagnóstico do potencial produtivo de florestas, pois servem de subsídio para a tomada de decisão no planejamento florestal. Ao mesmo tempo, são utilizados em vários tipos de levantamentos para fins de reconhecimento, diagnóstico e avaliações no campo florestal (FRANCEZ et al., 2010).

Ao se realizar um planejamento de um inventário florestal, os objetivos devem ser previamente determinados, assim como as variáveis que devem ser mensuradas e o erro percentual admissível. O diâmetro e a altura são as variáveis mais importantes, por serem utilizadas na quantificação do volume e área basal (PEINHOPF, 2012).

Desta maneira, segundo Mendonça (2006) os objetivos do inventário florestal devem considerar que o levantamento será executado para fornecer informações importantes para a tomada de decisão, concernente ao planejamento e ao controle da utilização dos recursos florestais ou à sua conservação e/ou recuperação. Esses objetivos podem ser estabelecidos de acordo com as mais diferentes finalidades, tais como: elaboração de um plano de manejo florestal, avaliação do desenvolvimento da floresta em termos de sua dinâmica de crescimento, sua produtividade primária presente e futura, o potencial do sítio de uma determinada região, avaliação dos danos causados por incêndios, pragas ou doenças, formulação de políticas de abastecimento e expansão industrial, análise e previsão da demanda e suprimento de produtos florestais, criação de unidades de conservação, entre outros (SANQUETTA et al., 2014).

2.3 Amostragem no Inventário Florestal

A realização do inventário florestal que busca informações qualitativas e quantitativas das florestas pode ser obtida por meio da medição de todas as árvores existentes no local ou pela medição das árvores em pequenos compartimentos distribuídos sobre a área, utilizando-se de uma amostra da população (AUGUSTYNCZIK, 2013). O primeiro caso refere-se ao censo ou inventário 100% dos indivíduos, enquanto que o segundo caso trata do uso de processos de amostragem.

Segundo Ubialli (2007), o conhecimento da realidade de todas as características de uma população florestal proporcionado por uma medição completa, obtendo os reais valores dos parâmetros da população, traz reflexos altamente positivos para o planejamento e para a condução de uma sistemática de utilização e aproveitamento racional desses recursos. Embora não contenha erros amostrais, o tempo requerido para a sua realização e os altos custos dessa prática, quando comparados com os inventários por amostragem, o tornam inviável em muitas situações (DINIZ, 2007). Por esse motivo, o censo só se justifica nas avaliações de populações pequenas, de grande importância econômica, ou em trabalhos de pesquisa científica, cujos resultados exigem exatidão (MACHADO, 1988; CESARO et al, 1994; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Em virtude das limitações de recursos financeiros, tempo, mão de obra, acesso e tamanho das florestas, Scolforo (1993) cita que, nem sempre se pode realizar uma contagem total dos indivíduos presentes em uma população florestal. Assim, há a necessidade do emprego de métodos de amostragem, com o objetivo de obter estimativas precisas e eficientes de diferentes parâmetros populacionais de interesse, que se baseiam na observação de uma porção da população para a obtenção de estimativas representativas para a população como um todo (FARIAS, 2002).

Em levantamentos florestais é prática corriqueira selecionar uma amostra que corresponde a uma pequena porção da população da qual se deseja obter dados e informações que sejam relevantes e representativas para o todo. Assim, as inferências obtidas para a população são fidedignas se a amostra for uma verdadeira representação da população investigada. Observa-se, por outro lado, que estimativas dos parâmetros também estão sujeitas a erros de amostragem (MASSAROTH, 2016).

Com base na teoria de amostragem, o valor médio de uma dada característica em um dado ponto de uma região amostrada é igual ao valor esperado dessa característica em qualquer outro ponto dentro da região, com um erro de estimativa correspondente à variância dos dados amostrados (TRANGMAR et al., 1987).

Segundo Lüpke e Saborowski (2014), os métodos de amostragem utilizados na área florestal são vastos, mas a escolha de qual metodologia deve ser empregada para a realização do inventário depende das características da floresta, dos objetivos, recursos disponíveis e da precisão requerida. Para atingir o objetivo do inventário é necessário definir corretamente o procedimento de amostragem, tamanho e forma das unidades amostrais a serem lançadas e da intensidade amostral (SÉ, 2013).

Os procedimentos de amostragem compreendem a forma como as unidades amostrais serão distribuídas na área. Já os métodos de amostragem são as características das unidades amostrais (parcelas) como tamanho, forma, área fixa ou variável, se é permanente ou temporária, dentre outras, e entende-se como processo amostral a abordagem referente ao conjunto de unidades de amostras (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

2.3.1 Processos de Amostragem

Os processos de amostragem estão relacionados à forma com que o conjunto de unidades amostrais será distribuído sobre uma população inventariada, visando gerar estimativas das variáveis de interesse. As unidades amostrais, nas quais as observações são realizadas, podem ser talhões, compartimentos, unidades administrativas, parcelas de área fixa, faixas ou pontos. A agregação de todas as unidades amostrais possíveis constitui a população. O grupo de unidades amostrais escolhidas para as observações e medições constitui a amostra (BONETES, 2003).

A distribuição das unidades amostrais nos inventários florestais está intimamente relacionada com a abordagem da população sobre o conjunto de unidades de amostra, que pode ser de forma aleatória, sistemática e mista (FICK, 2011).

Dentro desses arranjos, encontram-se como as metodologias mais utilizadas em inventários florestais a amostragem aleatória simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada (BONETES, 2003).

- Amostragem Casual simples (ACS)

Todos os procedimentos estatísticos têm origem na amostragem casual simples. Na amostragem aleatória simples toda combinação possível de unidades amostrais possui a mesma chance de ser sorteada como elemento da amostra, em que a seleção deve ser livre de qualquer escolha e totalmente independente das demais unidades amostrais.

De acordo com Péllico Netto e Brena (1997), a amostragem aleatória simples é o processo fundamental de seleção, a partir do qual surgiram todos os demais processos de amostragem existentes atualmente, sendo o mais antigo dos procedimentos de amostragem.

Caracteriza-se por ser um procedimento no qual não há qualquer restrição à casualização, ou seja, todas as parcelas cabíveis na população têm a mesma chance de serem sorteadas para a implementação do inventário, e as unidades amostrais são selecionadas de maneira independente (CUNHA, 2004).

Na amostragem casual simples, a área florestal a ser inventariada é tratada como uma população única. Este procedimento é preferencialmente aplicado em

florestas pequenas, de fácil acesso e homogêneas, para que a intensidade amostral não seja muito alta. Esse tipo de amostragem apresenta como desvantagem o caminhar entre as parcelas, em virtude da possibilidade de sorteio, por apresentarem uma distribuição bastante irregular no interior da área de trabalho. Em grandes áreas, uma das alternativas para aplicar o procedimento é utilizar a base da estratificação e então utilizar cada estrato como sendo uma população independente. Este é um procedimento muito utilizado no meio florestal pela simplicidade e facilidade de manuseio da formulação da análise (OLIVEIRA, 2006).

- Amostragem Sistemática (AS)

A amostragem sistemática é muito utilizada em levantamentos florestais, sobretudo pela praticidade e rapidez na coleta de dados, em que, as unidades amostrais são selecionadas a partir de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização, com o propósito de abranger a população, em toda a sua extensão, e obter um modelo sistemático simples e uniforme (SANQUETTA et al., 2014).

A localização das unidades amostrais é, em geral, mais fácil em uma amostra sistemática do que em uma aleatória, uma vez que as unidades são distribuídas uniformemente, seguindo a mesma orientação (SOARES et al., 2011). Esta amostragem é indicada principalmente quando os elementos amostrais são heterogêneos, no entanto a precisão é bastante influenciada pelo tamanho e forma das unidades amostrais. Em decorrência disso, ocorre redução de custos ocasionados pelo caminhar entre as unidades de amostra, facilidade de seleção e alocação das parcelas no campo, além da possibilidade de mapear a população, com reflexos positivos sobre os custos finais, que serão simplificados (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; HUSCH et al., 2003).

Como desvantagem desse processo de amostragem, pode-se citar a periodicidade, ou seja, a população possui um tipo periódico de variação e se o intervalo entre sucessivas unidades na amostragem sistemática acontece de coincidir com o comprimento da onda (ou um múltiplo dela) a amostra obtém uma péssima tendência.

- Amostragem estratificada (AE)

O processo estratificado geralmente é utilizado quando a variável de interesse possui considerável variabilidade, uma vez que este processo pode ser aplicado em florestas naturais com diferentes estágios sucessionais, sendo que os diferentes estágios serão os diferentes estratos da população (SANQUETTA et al., 2009). Já em florestas plantadas, a estratificação é recomendável em povoamentos que apresentam alto grau de variabilidade nas variáveis de interesse, que podem ser volume, índice de sítio, biomassa, entre outras (OLIVEIRA, 2006).

Nesse sentido, as técnicas de estratificação podem ser uma alternativa para ajustar uma relação equilibrada entre custo operacional e representatividade da amostra, pois torna possível subdividir uma população heterogênea em estratos que, individualmente, sejam homogêneos, resultando ganho em eficiência, diminuição dos custos e, conseqüentemente, aumento no grau de precisão do inventário (KANEGAE JUNIOR, 2004).

O processo de amostragem estratificada consiste em dividir a população amostrada em algumas classes ou estratos, de modo que dentro desses estratos se reduza a variabilidade da variável que está sendo estudada. As unidades amostrais na amostragem estratificada podem ser distribuídas na área de forma aleatória ou sistemática, contudo os estimadores da amostragem estratificada são preservados em ambos os casos (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997).

Assim, o fundamento desse tipo de amostragem consiste em eliminar fontes de variação que podem mascarar resultados do inventário. Para tal, a variabilidade dentro dos estratos deve ser menor que a variabilidade da floresta como um todo, de tal modo que ocorrerá redução na variância da amostragem estratificada em relação à amostragem casual simples (SCOLFORO, 1998).

Para qualquer empreendimento florestal é desejável a obtenção de informações precisas e que demande menos tempo na execução dos procedimentos de campo (MELLO, 2004). Nesse sentido, os diversos tipos de amostragem vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos com o objetivo de reduzir custos e aumentar a eficiência dos inventários florestais.

O trabalho realizado por Miranda (2016), comparando a Amostragem casual simples (ACS) com a Amostragem sistemática (AS), demonstrou que em inventário Pré-Corte, a ACS foi mais precisa e eficiente para um arranjo com intensidade amostral maior e parcelas de tamanho menores, já a AS foi melhor com intensidade amostral menor e parcelas maiores.

Mello et al. (2009) e Souza et al. (2015) também obtiveram melhores resultados utilizando a amostragem sistemática em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*, respectivamente.

Com relação aos estudos comparando a amostragem estratificada com os processos tradicionais, a estratificação sempre gerou melhores estimativas para os parâmetros avaliados, como podem ser citados os trabalhos realizados por Couto e Bastos (1987) e Santos (2014).

A escolha de uma metodologia que seja precisa, eficiente e que demande menos tempo e recursos, significa economia e planejamento seguro para as empresas florestais. Logo, é importante que os inventários florestais mensurem os recursos florestais, de forma a reduzir os erros oriundos da amostragem, obtendo-se maior acurácia nos resultados, com menor custo possível (MIRANDA et al., 2015).

2.4 Estimativas hipsométricas e volumétricas

O volume é a variável dendrométrica mais importante para o conhecimento sobre a produção madeireira de uma floresta, estabelecimento de planos de manejo e planejamento de toda a atividade de colheita de acordo com a verdadeira necessidade desse recurso (RUFINI et al., 2010; GAMA, 2015). Porém, para estimar o volume, a partir de medidas de fácil obtenção como o diâmetro à altura do peito (DAP), é importante desenvolver e aplicar equações hipsométricas e volumétricas (PARENT e MOORE, 2003).

A estimativa da produção volumétrica de madeira de uma floresta normalmente é realizada por meio de inventário florestal, utilizando-se a amostra como base para se fazer inferências sobre seus parâmetros, tais como diâmetro, altura, volume e número de árvores por hectare (MACHADO et al., 2000). Como medir a altura das árvores é um processo oneroso e sujeito a erros, o uso de relações hipsométricas é

uma operação rotineira, pois diminui o esforço na obtenção das alturas e, em geral, apresenta boa precisão (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Para desenvolver equações hipsométricas é necessário medir pares de valores de DAP e altura e ajustar as equações através de métodos de regressão. Para a obtenção do volume, utiliza-se o processo conhecido como cubagem rigorosa, para, posteriormente, com esses dados, ajustar equações de regressão para a obtenção do volume para o povoamento florestal (LIMA, 2015).

Modelos volumétricos são essenciais para quantificar o estoque de madeira nos povoamentos florestais, pois permitem gerar informações do volume por árvore individual. Por isso, muitos modelos volumétricos foram desenvolvidos ao longo dos anos, para que, de uma forma ou outra, se consiga descrever o mais próximo possível o fuste das árvores e assim, posteriormente, estimar com certa precisão seu volume (CERDEIRA, 2012).

Apesar da eficiência de alguns modelos, nem sempre eles se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los por meio de estatísticas adequadas, identificando o melhor para cada situação (THOMAS et al., 2006). A seleção de equações é uma das etapas mais importantes nos trabalhos relacionados ao inventário florestal, uma vez que qualquer erro de tendência na estimativa do volume por árvore terá reflexos na estimativa da população, causando uma sub ou superestimativa da produção de madeira do povoamento florestal (FIGUEIREDO, 2005).

2.5 Efeito de borda

A Bordadura consiste em uma linha imaginária em que se tem uma faixa limite do povoamento e com largura variável, cujas condições de crescimento são um pouco diferenciadas das averiguadas no interior da floresta (TOMÉ, 2007). Ou seja, é a linha que circunda todo o perímetro de um talhão, independente da forma que este apresenta, criando um ambiente distinto no sentido borda-interior do povoamento (SILVA FILHO, 2007).

O efeito de borda é definido como uma alteração na estrutura e na composição da vegetação em resposta a um complexo gradiente microclimático envolvendo aumento na umidade do solo, redução dos níveis de luminosidade e da temperatura

do ar, no sentido borda-interior (PALIK e MURPHY, 1990). Mudanças no microclima e na estrutura física das florestas, redução da heterogeneidade ambiental e extinções locais, são algumas consequências desse processo que segue da direção da borda para o seu interior (BARROS, 2006).

Sobre o efeito de borda nas florestas plantadas, especificamente com o gênero *Eucalyptus*, foi encontrado o trabalho de Miranda (2016), em que foram verificadas mudanças na vegetação da margem para o interior da floresta nas duas primeiras linhas do talhão. No entanto, carecem de estudos sobre a influência de borda em povoamentos plantados, pois ao se fazer os inventários é percebido que não existem informações confiáveis sobre o melhor método de amostragem dessas bordas e até que distância este efeito é significativo.

O efeito de borda em fragmentos de florestas naturais já foi largamente estudado, entretanto o efeito da existência de uma bordadura no desenvolvimento de árvores em povoamentos florestais plantados ainda é incipiente. Devido a este fato serão descritos a seguir alguns aspectos relacionados aos efeitos de borda em florestas naturais, visando subsidiar as discussões dos resultados dessa dissertação.

No âmbito da ecologia, o efeito da bordadura é a tendência do aumento na densidade e na variedade das espécies no ponto de encontro entre comunidades (ODUM e BARRETT, 2008). No início do desenvolvimento das árvores, as populações de borda e do interior das florestas possuem estruturas homogêneas ou semelhantes. Ao longo do tempo, ocorrem transformações relacionadas aos efeitos de borda que fazem com que a população comece a ser desuniforme, comparando o limite marginal e o interior das florestas (RODRIGUES e NASCIMENTO, 2006).

A borda possui um microambiente que, geralmente, difere do interior da floresta, cuja formação causa mudanças abióticas e bióticas. Os efeitos abióticos envolvem mudanças nos fatores climáticos, pois a zona sob influência das bordas apresenta maior exposição aos ventos, altas temperaturas, baixa umidade e alta radiação solar, além de causar alterações na estrutura florestal (OOSTERHOORN; KAPPELLE, 2000). Dentre os efeitos bióticos, podem-se incluir as mudanças na abundância e na distribuição de espécies nas proximidades das bordas (MURCIA, 1995).

Os efeitos diretos que a criação de uma borda pode causar em remanescentes florestais e os processos envolvidos são inúmeros, incluindo a perturbação física da vegetação e do solo, mudanças do meio abiótico e de trocas de energia do ecossistema, alterações na evapotranspiração, na densidade de árvores, área foliar, biomassa, bem como mudanças significativas nas variáveis dendrométricas e em fatores edáficos. Apesar desses efeitos serem menos intensos com o tempo, eles não cessam, sendo a borda sempre mais dinâmica e vulnerável que o interior das florestas, devido às variações de microclima (DODONOV, 2013).

A proximidade com clareiras e estradas em talhões de florestas plantadas deixa as árvores da bordadura mais expostas à luz, reduzindo a competição entre as árvores da margem, obtendo maior volume individual de produtos sólidos (SANTOS, 2011).

Estudos abordando esse tema foram desenvolvidos em outras regiões do Brasil, sendo a maioria recentes. De acordo com Harper et al. (2005) a influência da borda tem sido o principal tópico de interesse em estudos no padrão de paisagem e processos relacionados com a criação de bordas e fragmentação durante os últimos anos.

Oliveira Filho et al. (2004) realizaram estudos em uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Minas Gerais, que apresenta bordas abruptas nos seus limites com o campo de altitude. Foram verificadas as correlações entre as variações da estrutura do componente arbóreo margem-interior da floresta e variáveis ambientais relacionadas ao substrato e efeito de borda. O fragmento apresentou maior densidade de indivíduos na borda que no interior da floresta, sobretudo para os de menor diâmetro (entre 5 e 10 cm) e altura (entre 1,30 e 5 m).

Resultados semelhantes foram relatados por Lima-Ribeiro et al. (2008) ao estudarem os efeitos de borda sobre a vegetação e estrutura populacional em três fragmentos florestais no sudoeste goiano. Neste, foi considerado ambiente de borda toda a faixa mais externa dos fragmentos, com largura de 15 metros. Os fragmentos estavam localizados em propriedades rurais particulares, inseridos em uma matriz antrópica, perturbados com atividades de pastoreio, fogo e retirada seletiva de madeira.

Os resultados citados também corroboram com os de Oliveira Filho et al. (2007) que estudaram a dinâmica da comunidade e de populações arbóreas da borda e do

interior de um remanescente florestal em Minas Gerais, em um intervalo de 5 anos. Foi observado que a comunidade e as populações arbóreas não estavam estáveis no período e que as taxas de mudança do número de indivíduos e da área basal foram mais aceleradas na borda.

As diferenças relatadas entre a borda e o interior dos fragmentos florestais mostram os efeitos bióticos provocados pelos fatores abióticos, de acordo com Murcia (1995) e Laurance et al. (1998).

Outros estudos realizados sobre comparação da estrutura de comunidade arbustivo-arbórea entre borda e interior de fragmentos de floresta mostraram resultados diferentes. Em Minas Gerais, Ferreira e Ramos (2007) estudaram um fragmento de Mata Atlântica circundado principalmente por uma matriz de pastagem. Medidas de altura, circunferência à altura do peito e altura total foram realizadas da borda para o interior, sendo considerada como borda uma faixa com distância de até 50 m da matriz. Não houve diferenças significativas entre borda e interior na área basal, diâmetro, altura, densidade, fuste e número de indivíduos. Segundo os autores, estes resultados podem estar relacionados com distúrbios antropogênicos no interior do fragmento. Sobre os fragmentos de florestas costeiras, não foram encontrados estudos referentes às mudanças na vegetação da margem para o interior da floresta.

Um dos resultados mais imediatos e perceptíveis da criação de uma borda em um ecossistema florestal é a mudança nas condições microclimáticas, como temperatura e umidade do ar (HARPER et al., 1991; MURCIA 1995). Estas mudanças estão entre as principais consequências diretas da criação de uma borda, e podem causar alterações na estrutura e composição da vegetação (HARPER et al. 2005). O padrão mais comum em fragmentos florestais é o aumento da temperatura e redução da umidade na borda, que em alguns casos pode se estender até 100 metros ou mais em direção ao interior da floresta (DIDHAM e LAWTON, 1999; NEWMARK, 2001). No entanto, Harper et al. (2005) relatam que normalmente a influência de borda não se estende além dos 100 metros.

Em inventários de florestas plantadas, a bordadura do povoamento deve ter uma representação adequada na amostra. Algumas vezes, pode-se pensar que a bordadura do povoamento tem pouca importância em termos de área, uma vez que é apenas uma estreita linha em volta do povoamento. No entanto, devido ao fato da

bordadura cercar todo o povoamento, ela representa uma área bastante elevada em termos percentuais (TOMÉ, 2007).

2.6 Multiprodutos da madeira

A necessidade da otimização do uso dos recursos madeireiros dentro do conceito de multiprodutos se origina com a diminuição drástica do estoque de madeira nas florestas tropicais, decorrente da expansão da agricultura e da exploração predatória, além dos desperdícios produzidos pelos processos de transformação. Assim, diante da pressão exercida sobre as florestas nativas, as florestas plantadas tornam-se importantes fontes alternativas de multiprodutos da madeira, especialmente as de *Eucalyptus* (SANTANA, 2008).

Quando bem manejadas e direcionadas para obter múltiplos produtos, as florestas de produção garantem a maximização dos lucros na medida em que se adotam práticas com o objetivo de agregar valor à madeira. Além disso, a obtenção de múltiplos produtos reduz o impacto das oscilações do mercado sobre cada produto individualmente (ASSIS et al., 2002).

O conceito de múltiplos produtos ou multiprodutos refere-se à possibilidade de extrair da madeira de um mesmo fuste diferentes usos e, ainda, o aproveitamento dos resíduos, podendo essa alternativa ser considerada de maior possibilidade de remuneração (SOARES et al., 2003). Refere-se ainda aos vários tipos de materiais que são produzidos, otimizando os ganhos finais com a sua colocação estratégica no mercado (CARVALHO, 2000).

Soares (2002) também argumenta que no mercado competitivo, a demanda e a oferta do produto definem o uso a ser dado a determinada tora e em qual, ou quais produtos ela deve ser convertida. Sugere que os multiprodutos advindos da conversão da madeira podem ser madeira serrada, laminados, dormentes, postes, moirões, estacas, aglomerados, celulose, carvão, lenha, dentre outros. Essa multiplicidade de produtos permite à empresa florestal uma maior flexibilidade quanto à comercialização de produtos que têm diferentes valores de mercado, apresentando, também, variações em relação à demanda, no decorrer do tempo. Além disso, sobretudo para pequenos e médios produtores, as diversas opções de uso da madeira podem garantir

uma rentabilidade momentânea da atividade florestal (LEITE, 1994; LIMA, 1996; ASSIS, 2000).

As constantes e rápidas transformações ambientais, tecnológicas, sociais, econômicas, políticas e institucionais em curso nos âmbitos internacional e nacional, exigem que os sistemas público e privado busquem cada vez mais uma maior sintonia com os rumos da sociedade, antecipando os novos desafios ao seu desenvolvimento (ASSIS, 2000). Nesse sentido, as empresas, além de concentrar esforços e tecnologias para produção de florestas energéticas de eucalipto, nos últimos anos têm direcionado suas atividades também para diversificar a produção e produtos, a fim de diluir os riscos e a vulnerabilidade de um único segmento de negócio (MENDES, 2011).

Tendo em vista as inúmeras vantagens advindas da conversão de árvores em multiprodutos, pode-se perceber que as empresas florestais brasileiras estão se estruturando operacionalmente e administrativamente dentro de uma metodologia gerencial mais moderna, adotando novas tecnologias que permitam seu desenvolvimento e retornos financeiros melhorados, a partir de vantagem competitiva de produtos no mercado, para garantir sua sobrevivência em longo prazo (SOARES, 2002).

A busca por técnicas capazes de permitir a obtenção de vários produtos da madeira, em quantidade e, principalmente, qualidade adequadas, mostra-se como uma alternativa para o desenvolvimento do setor florestal brasileiro (SARTORI, 2013). O investimento em plantações florestais direcionadas para obter multiprodutos provenientes da madeira é uma alternativa que visa garantir o fluxo contínuo de matéria-prima e a viabilidade econômica da atividade. Desde que adotadas práticas corretas de manejo com objetivo de agregar valor à madeira por meio da obtenção de multiprodutos, é bem provável que se tenha a maximização dos lucros (ASSIS et al., 2002).

Soares et al. (2003) defendem que o investimento em florestas para multiprodutos é a melhor alternativa em comparação ao uso único, gerando assim um retorno econômico superior. Conforme Leite et al. (2006) produtos diversificados e de qualidade são exigidos cada vez mais no mercado, e os produtos florestais não são

exceções. Diante da grande demanda atual pela madeira e seus multiprodutos, torna-se necessário o emprego de modelos que permitam estimá-los com exatidão.

Dessa forma, a utilização de funções de afilamento é vista como uma importante ferramenta estatística para atender a estas novas necessidades, as quais correspondem a uma excelente opção para o aprimoramento das técnicas de inventários florestais e quantificação dos sortimentos (QUEIROZ et al., 2008; SOUZA et al., 2012; YOSHITANI JÚNIOR et al., 2012). Essas técnicas também permitem a determinação de volumes das diferentes partes da árvore e conseguem representar a forma do tronco, influenciando diretamente na qualidade e quantidade dos multiprodutos (KOHLENER, 2013).

Assim, vê-se a combinação entre a aplicação das técnicas de modelagem de funções de afilamento e a quantificação de multiprodutos como uma importante contribuição ao planejamento de projetos florestais (SOUZA, 2008). E ainda, propiciar diferentes usos do tronco de árvores para diversas finalidades é uma importante alternativa devido às diversidades de uso pelo mercado consumidor de produtos florestais (SANTOS, 2008).

As funções de afilamento, segundo Murta-Júnior (2013), constituem uma importante ferramenta estatística de uso corrente na determinação dos perfis de troncos, pois permitem ao usuário estimar três características básicas das árvores: diâmetro em qualquer ponto do fuste; altura total ou a que se encontra em um diâmetro limite especificado no fuste e o volume entre pontos quaisquer do fuste. As aplicações dessas funções se constituem em um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permitem valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal (FISCHER, et al., 2001).

Equações de *taper* são necessárias para a quantificação de multiprodutos, uma vez que as alternativas de uso da madeira são formuladas em função do comprimento da tora, do diâmetro máximo e do diâmetro mínimo (LIMA, 1996). O uso das funções de afilamento em inventário e planejamento florestal resulta em informações sobre o número de toras vinculadas às dimensões mínimas de cada produto a ser obtido do povoamento, permitindo um planejamento de produção e logística de transporte e comercialização de madeira (SOARES, 2002).

Diversos modelos de *taper* têm sido propostos e testados (KOZAK et al., 1969; DEMAERSCHALK, 1972; ORMEROD, 1973; GOULDING e MURRAY, 1976; GUIMARÃES e LEITE, 1992; LEITE e GARCIA, 2001; dentre outros), ressaltando-se que, para cada espécie, método de regeneração e idade, um desses modelos resulta em estimativas de *taper* mais precisas embora a precisão de cada modelo dependa do objetivo em que será empregado, ou seja, um modelo que estime com maior precisão o diâmetro não necessariamente expressará melhor as alturas e os volumes (CAMPOS e LEITE, 2013).

Com o uso dessas técnicas, busca-se que o inventário exiba como resultado final quantidades de madeira para cada classe de qualidade de fuste, de modo que a madeira seja traçada em tamanhos predeterminados, maximizando a quantidade de toras com padrões de diâmetro e comprimento e que os resíduos do processo tenham a menor quantidade possível (MENDONÇA, 2008).

CAPÍTULO 1:

INFLUÊNCIA DA BORDA NAS ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE MADEIRA DE UM POVOAMENTO DE EUCALIPTO

RESUMO

O emprego das técnicas de amostragem em inventários florestais se destina a gerar informações confiáveis para o conhecimento dos recursos florestais, de forma a subsidiar a obtenção do volume dos povoamentos florestais. Tendo em vista a importância de informações geradas pela aplicação da técnica de amostragem, esta pesquisa foi concebida com o objetivo de avaliar uma metodologia de inventário florestal, considerando uma amostragem da borda de povoamentos para melhorar as estimativas de volume estocado. O estudo foi desenvolvido no município de Grão Mogol, Minas Gerais, e os seus dados foram provenientes de um plantio comercial com híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com uma área de 16,73 hectares. A abordagem metodológica consistiu, inicialmente, na realização de um censo, onde foram mensuradas todas as circunferências a 1,30 metros de altura. A estimativa da altura foi realizada por uma relação hipsométrica. Foram selecionadas 112 árvores para a realização da cubagem rigorosa pelo método de Smalian, para a seleção de uma equação volumétrica, buscando-se a obtenção do volume por árvore. Conhecendo-se todos os diâmetros, alturas e volumes das árvores do povoamento e a localização das mesmas no talhão, estes dados foram inseridos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), para a realização das simulações de amostragem. A simulação do inventário Pré-corte (IPC) foi dividida em dois tipos: convencional e bordadura, em que foram lançadas para cada situação seis parcelas circulares. No IPC convencional foram testados dois processos de amostragem de uso recorrente, a Amostragem Casual Simples (ACS) e Amostragem Sistemática (AS). Já no IPC de bordadura, as parcelas foram distribuídas seguindo duas amostragens de borda, em um primeiro momento de maneira aleatória e, posteriormente, de forma sistemática, testando três profundidades de borda (10, 15 e 20 m). Os inventários foram processados e, na comparação dos volumes médios dos processos de amostragem

testados e o do censo, foi utilizando o teste t de *student* com 1% de nível de significância. Os modelos hipsométrico e volumétrico que melhor se ajustaram aos dados, de acordo com as estatísticas de ajuste e análise dos resíduos, foram o de Curtis e de Schumacher e Hall logaritimizado, respectivamente. Nos processos de amostragem simulados, verificou-se que não houve diferença significativa entre a amostragem aleatória simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada (aleatória e sistemática) quando comparados com o volume obtido pelo censo, embora o volume médio observado na borda de 15 m de profundidade tenha sido 4% superior ao volume médio do interior do povoamento. Portanto conclui-se que a utilização de processos de amostragem que forcem a seleção de amostras nas bordas dos povoamentos não promove qualquer ganho em termos de precisão e que qualquer um dos processos de amostragem pode ser utilizado para estimativa do estoque de madeira.

Palavras-chave: inventário florestal, volumetria, bordadura, simulações, acuracidade.

1 INTRODUÇÃO

A expansão dos plantios comerciais de florestas no país destaca a participação do setor florestal brasileiro no mercado de produtos de origem florestal. Assim, com a alta demanda por recursos energéticos e naturais, o eucalipto se destaca por ser uma espécie de rápido crescimento, uso múltiplo da madeira, elevada capacidade de regeneração após o corte e produção madeireira de importância comercial para os mais diversos usos industriais (SILVA, 2001). Diante disso, o conhecimento do estoque madeireiro e do potencial produtivo desses povoamentos torna-se fundamental para o correto manejo, planejamento e sustentabilidade da produção.

O volume é a variável dendrométrica mais utilizada no diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta, cuja estimativa é uma das principais finalidades dos inventários florestais, principalmente quando estes têm fins comerciais. Em virtude da crescente valorização da madeira como matéria-prima e produto, a avaliação precisa e eficiente dos povoamentos florestais é decisiva para a aplicação de ações silviculturais e de colheita adequadas, além de permitir gerenciar os recursos, planejando a atividade florestal. Assim, os inventários florestais são executados com o objetivo de fornecer tais estimativas, que podem ser traduzidas como a quantidade e distribuição de madeira por unidade de área.

As informações de ordem técnica são, em sua essência, obtidas por meio do inventário florestal, o qual é baseado em processos de amostragem ou pelo censo. A comparação entre dois ou mais métodos de amostragem visando determinar qual deles proporciona o menor custo para uma mesma precisão, permite conhecer, para um determinado tipo florestal, o mais econômico, pois o tempo de instalação, medição e de caminhamento entre eles são distintos (CESARO et al., 1994). Dessa forma, torna-se necessário investigar os métodos e processos de amostragem para o tipo florestal específico, visto que, a não utilização de um método adequado às características da população estudada, certamente levará a um grande incremento no custo do inventário, o qual é diretamente influenciado pelo tempo de medição e pelo caminhamento na área.

O censo florestal consiste na obtenção de informações qualitativas e quantitativas de todos os indivíduos em uma área de interesse. Em função do maior

custo envolvido quando comparado com a amostragem, o censo florestal é uma atividade praticada em situações específicas, como em populações pequenas e que possuem grande importância econômica (SANQUETTA et al., 2014).

Os processos de amostragem mais utilizados para a realização do inventário florestal consistem na Amostragem Aleatória Simples, Amostragem Sistemática, Amostragem em Conglomerados e Amostragem Estratificada, as quais devem ser aplicadas de acordo com as características do local, para obter maior precisão com menor custo.

As árvores no povoamento apresentam comportamentos diferentes, visto que os indivíduos localizados nos limites dos talhões podem apresentar características físicas e estruturais distintas à medida que se aproximam do interior dos povoamentos (NEWTON, 2007). Isso decorre do efeito de fragmentação ser mais intenso nessa margem que, em geral, apresenta indivíduos com maior altura e diâmetro, devido à menor competição entre plantas e maior disponibilidade de luz e nutrientes. Estes fatores que afetam diretamente o desenvolvimento da planta tendem a refletir em maior produtividade, afetando assim, o estoque total da população e até mesmo os múltiplos produtos desta madeira.

Assim, avaliar os aspectos que exercem influência sobre o volume estocado, bem como as diferentes possibilidades de amostragem dessas bordas, são parâmetros importantes na avaliação da precisão e acurácia do resultado do inventário, além de auxiliar na redução de custos e de gastos com a amostragem de parcelas.

É nesse contexto que se insere este capítulo, que tem por objetivo estudar os diferentes processos de amostragem no inventário florestal, considerando uma amostragem da borda dos povoamentos para melhorar as estimativas de volume estocado em florestas de eucalipto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Grão Mogol, Minas Gerais, Brasil. Os dados foram provenientes de um plantio comercial, de posse da empresa Norflor, situado na fazenda Santa Terezinha, sub-bacia do córrego Itacambiruçu, na Bacia Hidrográfica do rio Jequitinhonha, cujas coordenadas geográficas são 16° 40' 59,05" latitude (S) e 42°37'46,25" longitude (W). O empreendimento abrange uma área de aproximadamente 34 mil hectares, sendo 17 mil hectares plantadas com *Eucalyptus* spp.

Conforme o sistema de classificação de Köppen – Geiger, o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, clima subtropical de inverno seco com temperaturas inferiores a 18 °C e verão quente, com temperaturas superiores a 22 °C. A região possui temperatura média anual de 21 °C, altitude média de 829 m, com pluviosidade média anual em torno de 1.182 mm e chuvas concentradas no período de outubro a março, quando são registrados 80% do total anual precipitado (MME, 2016).

A vegetação predominante constitui-se de Caatinga, entretanto, há presença de campo rupestre nas áreas de afloramento rochoso mesclados aos Litossolos da direção Centro-oeste e de campos de Cerrado a Nordeste do município (GEOMINAS, 1996).

Os solos da região são, em geral, muito pobres, pouco produtivos e de difícil mecanização devido ao relevo. A porção Nordeste que se estende até o Sudeste é uma das partes mais produtivas dessa região, possuindo boa disponibilidade hídrica e se constitui no campo de deposição de *húmus* dos importantes rios do município, sendo que os principais cultivos comerciais estão alocados nessa porção, principalmente nas áreas de Latossolo Vermelho-escuro (FONSECA, 2010).

2.2 Levantamento dos dados

Para a realização deste estudo foi selecionado o talhão de 16,73 hectares plantado com um híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, com idade de oito anos e em espaçamento de 3,6 m por 2,6 m.

Este local foi selecionado para o estudo pelo fato de ser uma área onde verificaram-se diversas situações em termos de vizinhança, sendo o talhão delimitado por estradas, por outro talhão, e por uma faixa de servidão, além de estar próximo à idade de corte praticada pela empresa.

2.2.1 Inventário 100%

Na etapa de realização do censo, inicialmente definiu-se a forma de caminhamento na área, em que a mensuração das árvores foi realizada por linha, a partir da margem do talhão junto à estrada e obedecendo a um esquema em forma de zig-zag. Em cada uma das 142 linhas, mediu-se as circunferências à altura do peito (CAP), tomadas a 1,30 metros de altura do solo, de todos os indivíduos do povoamento, empregando-se uma fita métrica.

2.2.2 Cubagem rigorosa

Com a definição das classes diamétricas a partir dos dados do censo, foram derrubadas e cubadas rigorosamente 112 árvores distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo constante de quatro centímetros para as primeiras 5 classes e a última com intervalo aberto, de modo a abranger árvores com variações em altura e evitar classes vazias (CAMPOS e LEITE, 2013). Assim, cubou-se rigorosamente 20 árvores por classe diamétrica, exceto a classe seis, onde foram cubadas 12 árvores (Tabela 1).

Após a derrubada, as árvores tiveram suas alturas totais mensuradas com trena e os galhos separados do tronco para facilitar a realização das medições.

Todos os indivíduos derrubados foram cubados rigorosamente, tomando-se medidas de diâmetros nas posições 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 2,0; 3,0 metros. Após esta marca, as seções foram tomadas de um em um metro (SOARES et al., 2006; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009; CAMPOS e LEITE, 2013; LEAL, 2015), até atingir o diâmetro mínimo de 4 centímetros, visando obter o volume. Mensurados os diâmetros às várias posições, o volume foi calculado por seção, utilizando-se a fórmula de Smalian.

Os dados coletados em campo foram tabulados com o auxílio do *software Excel*[®] 2016 e processados para cálculo do volume total com casca das árvores cubadas. Após a obtenção dos volumes e das alturas das árvores, foram ajustados modelos hipsométricos e volumétricos para o povoamento estudado.

Tabela 1 – Frequência do número de árvores obtida pelo censo e pela cubagem, distribuída nas diferentes classes diamétricas dos indivíduos de eucalipto mensurados

Classe de Dap	Intervalos	Frequência		Vol./classe ¹ (m ³)
		Censo	Cubagem	
1	7-11	41	20	1,092399
2	11-15	1.309	20	3,183199
3	15-19	15.278	20	5,111317
4	19-23	646	20	7,176856
5	23-27	199	20	10,408619
6	>27	23	12	7,800537
Total		17496	112	34,772927

¹ Volume comercial obtido na cubagem rigorosa referente ao somatório por classe diamétrica, considerando a exclusão do toco.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

2.3 Ajuste de equações

2.3.1 Modelos hipsométricos

Com base nos dados de diâmetro e altura coletados na etapa da cubagem, utilizou-se da análise de regressão para ajustar sete modelos hipsométricos amplamente utilizados no setor florestal, visando selecionar o modelo mais representativo para estimar a variável altura total das árvores do povoamento estudado (Tabela 2).

Tabela 2 – Modelos de relação hipsométrica testados para estimativa de altura em função do DAP em híbridos de eucalipto no norte de Minas Gerais

N°	Autor(es)	Modelo
1	Campos e Leite (2002)	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon$
2	Azevedo et al. (1999)	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$
3	Henricksen (1950)	$H = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon$
4	Trorey (1932)	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
5	Curtis (1967)	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 (1/DAP) + \varepsilon$
6	Stoffel (1953)	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon$
7	Silva (1980)	$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 (1/DAP) + \varepsilon$

Onde: H = altura total; DAP = diâmetro 1,30 m do solo; β'_{is} = parâmetros a serem estimados; Ln = logaritmo neperiano; ε = erro de estimativa.
 Fonte: Scolforo (2005).

2.3.2 Modelos volumétricos

Com base nos dados de volume advindos das 112 árvores cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, foram ajustados os modelos volumétricos de simples e dupla entrada disponíveis na literatura (Tabela 3), a fim de encontrar um modelo que estime de forma confiável o volume individual total de cada árvore.

Tabela 3 – Modelos volumétricos de simples e dupla entrada ajustados para obter estimativas do estoque volumétrico do povoamento florestal a partir de dados de cubagem

Nº	Autor(es)	Modelo
1	Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$
2	Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
3	Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
4	Berkhout	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$
5	Husch	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \varepsilon$
6	Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \beta_2 \frac{1}{DAP} + \varepsilon$
7	Schumacher-Hall(log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \beta_2 Ln(H) + \varepsilon$
8	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$
9	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2} + \varepsilon$
10	Honner	$V = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{H}} + \varepsilon$
11	Ogaya	$V = DAP^2(\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$
12	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$
13	Naslund	$V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H^2 + \varepsilon$
14	Takata	$V = \frac{DAP^2 H}{\beta_0 + \beta_1 DAP} + \varepsilon$
15	Spurr(log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP^2 H) + \varepsilon$
16	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$

Onde: V – volume; DAP – diâmetro à altura do peito; H – altura total; (β_{is}) – parâmetros estimados; Ln – logaritmo neperiano.
 Fonte: Finger (1992) e Scolforo (2005).

2.4 Georreferenciamento

De posse dos dados de diâmetro, altura, volume e localização das árvores no talhão, foi possível construir, em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma

base digital do talhão, com a finalidade de simular diferentes situações de amostragem e profundidade de borda. Essa base digital foi construída com o auxílio do *software Arcgis 10.1* cujos planos de informação foram georreferenciados e projetados no sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), zona 23, com Datum Sirgas 2000. Assim, cada árvore foi locada e identificada através da sua posição no talhão. Foram utilizadas imagens de satélite, registradas em maio de 2016, disponíveis no *Google Earth Pro*, para auxiliar na demarcação das 142 linhas e do número de árvores em cada linha.

Por meio dos dados acerca da quantidade de árvores existentes na linha, foi possível georreferenciá-las de maneira equidistante, obedecendo a área útil de 9,36 m² por árvore (3,6 x 2,6m) e obter a localização e as coordenadas X e Y das 17.496 árvores que foram mensuradas no censo, para a realização das diferentes simulações de amostragem.

Na etapa de realização do censo e com base nas imagens de satélite foi possível identificar que o talhão em estudo teve aproximadamente um hectare de área queimada (Figura 1), decorrente de um acidente operacional, ocorrido no ano de 2014, o que afetou a estrutura da vegetação, provocando alta mortalidade de indivíduos, rápida regeneração natural, além de aumentar significativamente o número de árvores perfilhadas (Figura 2). Estes fatores comprometeriam a avaliação e medição dos indivíduos, acarretando modificações no diâmetro e altura, e por consequência, no volume. Optou-se, portanto, por excluir essa área queimada da base digital do talhão, uma vez que ela não representa a realidade do povoamento florestal.

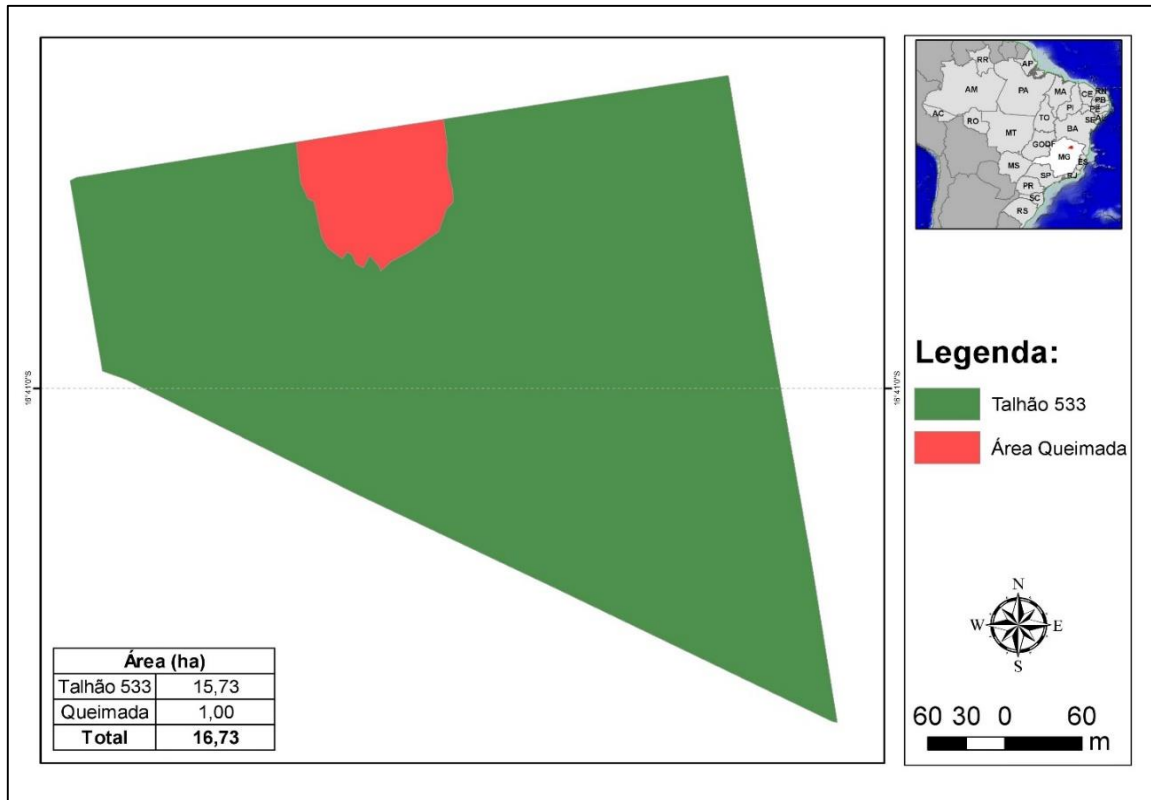


Figura 1 – Localização da área no município de Grão Mogol, Minas Gerais, mostrando a área total e queimada (ha).
 Fonte: elaborado pela autora (2017).



Figura 2 – Área queimada, decorrente de um acidente operacional, mostrando a estrutura da vegetação e a regeneração pós-incêndio.
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

2.4.1 Simulações do Inventário Pré-corte

O Inventário Pré-corte (IPC) foi dividido em dois tipos: convencional e bordadura. Para estimar os parâmetros da população estudada no IPC convencional, foram testadas as metodologias de amostragem tradicionalmente utilizadas em inventários florestais. Para o IPC bordadura foi testada uma metodologia adotada pela empresa onde os dados foram coletados, a fim de validá-la para a possível utilização nas atividades de inventário florestal. Essa metodologia consistiu na definição de uma bordadura no entorno do talhão a ser inventariado de largura fixa de 15 metros.

Para simular uma amostragem casual simples, foi utilizada a extensão *Hawth's Analysis Tool* do programa *Arcgis*, a qual possibilitou o lançamento de parcelas de maneira aleatória através da opção *Sampling tools* e *Generation random points*, permitindo escolher o número desejável de parcelas a serem lançadas na área específica e a escolha do raio.

Na amostragem de parcelas de forma sistemática, a primeira unidade de amostra foi aleatorizada e as demais, distribuídas de forma equidistante. Para isso, foi necessário criar *grids*, ou seja, linhas regulares, distando 150 metros entre si, a fim de distribuir parcelas em toda a área.

Assim, distribuídos os pontos em ambas as simulações de amostragem, criou-se um *buffer* automático com base no raio escolhido e os dados coletados foram transferidos para uma planilha do *software Excel®* 2016 e processados para cálculo do volume para cada processo de amostragem escolhido.

2.4.1.1 Inventário convencional

O inventário convencional foi realizado por dois processos de amostragem: amostragem casual simples e amostragem sistemática. Foram lançadas seis parcelas circulares de 400 m² com raio de aproximadamente 11,3 m, em uma intensidade de amostragem de uma parcela a cada 3 ha, para cada tipo, sem forçar uma amostragem de borda.

2.4.1.2 Inventário de Bordadura

O Inventário Pré-corte de bordadura foi realizado com o propósito de forçar uma amostragem de borda para a estimativa de volume do povoamento. Para isso, as parcelas foram distribuídas seguindo duas amostragens de borda (aleatória e sistemática), sendo lançadas seis parcelas considerando diferentes tamanhos de borda (10, 15 e 20 m), com a finalidade de testar diferentes profundidades e verificar onde este efeito exerce influência no volume. A metodologia testada no presente estudo seguiu o padrão adotado pela empresa onde foram coletados os dados, em que se utiliza uma profundidade de borda correspondente a 15 m.

A maneira de simular ambas as amostragens seguiu a mesma metodologia descrita para o IPC convencional, uma vez que a forma de lançamento de parcelas e a distribuição das mesmas na área não se alteram.

Os inventários foram divididos em dois ambientes: borda e interior, em que foram lançadas parcelas circulares com raio variável de acordo com a largura da borda:

- Para 10 metros de largura de borda foram lançadas parcelas de 5 metros de raio;
- Para 15 metros de largura de borda foram lançadas parcelas de 7,5 metros de raio;
- Para 20 metros de largura de borda foram lançadas parcelas de 10 metros de raio.

2.5 Análises de dados

2.5.1 Ajuste e seleção de equações

As relações hipsométricas e os modelos volumétricos foram ajustados no *software* R versão 2.15.2 (R CORE TEAM, 2017). As funções *lm* e *nls*, disponíveis no pacote *stats*, foram utilizadas para o ajuste dos modelos lineares e não lineares, respectivamente.

A precisão das equações foi verificada por meio da análise gráfica da distribuição dos resíduos conforme as seguintes estatísticas de ajuste:

a) Erro padrão residual (S_{yx}): expressa o quanto em termos médios os valores observados variam em relação aos estimados, sendo que, quanto mais próximo de zero, melhor será a equação ajustada.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(h_o - h_e)^2}{n - p}}$$

Dessa forma, o erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) é dado por:

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{h}_o} * 100$$

Onde:

h_o = Altura observada (m);

h_e = Altura estimada pela equação (m);

n = Número de dados observados;

p = Número de coeficientes do modelo incluindo o β_0 ;

\bar{h}_o = Altura média observada (m).

b) Critério de informação Akaike (AIC) (SAKAMOTO; ISHIGURO; KITAGAWA, 1986): esse critério de informação constitui-se em uma medida relativa da qualidade de ajuste de um modelo estatístico estimado. Quando o resultado de $\frac{n}{K}$ for maior do que 40, o AIC pode ser definido como:

$$AIC = -2 \left(\frac{-n}{2} \ln \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \right) \right) + 2k$$

No entanto, quando o resultado de $\frac{n}{K}$ for menor do que 40, então, o AIC pode ser definido e calculado através da fórmula (BURNHAM e ANDERSON, 2002):

$$AIC_c = -2 \left(\frac{-n}{2} \ln \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \right) \right) + 2k \frac{n}{(n - k - 1)}$$

Onde:

e = resíduos;

n = número de observações;

$K = p+1$;

p = número de parâmetros no modelo.

O critério de informação Akaike (AIC) é de grande relevância quando se trata da análise de regressão, pois penaliza modelos com grande número de parâmetros, selecionando modelos mais parcimoniosos. Quanto menor o valor de AIC, melhores as equações ajustadas.

2.5.2 Processamento do inventário

Para cada situação simulada a partir dos dados do censo, o inventário foi processado para as diferentes formas de amostragem da população, sendo que, para cada simulação de amostragem foram realizadas cinco repetições. Durante o processamento foi considerada como precisão desejada um erro máximo de 10% da média para um nível de significância $\alpha=0,10$, conforme resolução conjunta IEF/SEMAD No. 1.906, de 14 de agosto de 2013, que estabelece os procedimentos para regulamentação de colheita e comercialização das florestas plantadas com essência exótica no âmbito do estado de Minas Gerais (IEF/SEMAD, 2013).

Os inventários foram processados considerando a formulação de um inventário convencional (amostragem casual simples e amostragem sistemática) e de uma amostragem estratificada aleatória e sistemática com dois estratos definidos (área interior e borda).

Independentemente do processo de amostragem e da intensidade amostral, foram calculados para cada parcela: estimativas do volume total, volume médio por parcela e por hectare e variância da média. No cômputo da média e variância da média dos processos tradicionais (amostragem casual simples e amostragem sistemática), foram empregados os estimadores usualmente utilizados, e para a amostragem estratificada aleatória e sistemática, fez-se uso das metodologias básicas para a obtenção das estimativas por estrato e, em seguida, para a população estratificada.

Do ponto de vista do inventário florestal, todos os processos de amostragem testados que gerassem uma precisão igual ou inferior ao erro máximo admitido foram abordagens consideradas válidas para estimativa do volume médio do talhão.

2.5.2.1 Comparação do volume médio do inventário florestal com o volume médio do censo

Para comparar os volumes médios dos diferentes inventários com o censo, foi utilizado o teste *t* de *Student*, em que o volume do hectare obtido a partir do censo foi considerado o parâmetro populacional de comparação e os volumes médios dos diferentes inventários foram considerados os estimadores amostrais. O teste *t* consiste em uma prova paramétrica cuja finalidade é comparar a média amostral com a média da população, sendo necessário assumir a média paramétrica do universo em questão, ou seja, o valor de μ . O teste foi efetuado estimando-se a variância da população (σ^2) pela variância amostral (S^2). Realizou-se este teste no *software* R versão 2.15.2 (R CORE TEAM, 2017), considerando um nível de significância $\alpha=0,01$ ou 1%.

A partir dessa comparação, foi possível apontar dentre as diferentes situações estudadas, quais foram os processos de amostragem na obtenção de estimativa da média do volume estocado mais preciso para o povoamento estudado.

Neste teste, as hipóteses avaliadas foram:

H_0 = Não existe diferença entre o volume obtido pela amostragem e pelo censo;

H_1 = Existe diferença entre o volume obtido pela amostragem e pelo censo.

Diante dessas hipóteses, optou-se por trabalhar com um nível de significância de 1%, admitindo-se maior chance de cometer erro Tipo II, ou seja, aceitar H_0 quando na verdade essa hipótese é falsa. No caso deste estudo, em um teste de hipóteses com o nível de significância de 1%, quando rejeita-se a hipótese de nulidade, tem-se maior segurança de que de fato existem diferenças entre a amostragem e o censo, mesmo com maiores chances de cometer erro tipo II.

Assim, considerou-se para maior segurança dos resultados, usar o nível de significância de 1% mais apropriado e conservador.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inventário 100 %

No censo florestal foram medidos o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) de 17.496 árvores. Os indivíduos avaliados atingiram em média, 16,82 cm de DAP e 24,55 m de altura total (Ht). A variância e o desvio-padrão foram iguais a 2,72 cm² e 1,65 cm para o diâmetro (DAP) e 0,66 m² e 0,82 m para a altura total (Ht), demonstrando uma homogeneidade nesse povoamento.

Os valores de DAP e Ht, anteriormente citados, demonstram o grande potencial de crescimento da espécie na região estudada. No que concerne às variáveis dendrométricas, Ferreira et al. (2014), estudando crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* com sete anos de idade, avaliando diferentes espaçamentos na região de Avaré, no estado de São Paulo, observaram DAP médio de 16,1 cm e Ht média de 24,6 m e baixos valores para as medidas de dispersão para o espaçamento de 3,0 x 2,5, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Esse maior crescimento em diâmetro dos plantios de eucalipto nos maiores espaçamentos é relatado também por outros autores (BERNARDO et al., 1998; LELES et al., 2001; OLIVEIRA NETO et al., 2010), principalmente nas idades em torno de 5 a 7 anos após o plantio, dependendo da qualidade do sítio onde o experimento foi instalado.

A partir dos dados obtidos neste estudo, observou-se uma relação direta entre DAP e Ht. Essa relação foi significativa ($\alpha=0,05$) considerando indivíduos com diâmetro variando entre 7,48 e 32,77 cm e altura entre 15,87 e 29,21 m. Este fato pode ser confirmado pelo alto coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis ($r=0,97$).

3.2 Ajustes

3.2.1 Modelos hipsométricos

A Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros e estatísticas de ajuste dos modelos hipsométricos testados.

Tabela 4 – Parâmetros e estatísticas de ajuste dos modelos hipsométricos selecionados para a estimativa de altura total (Ht) em função do DAP para híbridos de eucalipto no Norte de Minas Gerais

Modelo Trorey (Syx = 8,93%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	3,508964	1,780735	1,971	0,0513*	
β_1	2,017421	0,205959	9,795	<0,0001***	488,4501
β_2	-0,042554	0,005472	-7,777	<0,0001***	
Modelo Campos e Leite (Syx = 11,08%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	16,4805	0,7741	21,29	<0,0001***	
β_1	0,4356	0,0402	10,84	<0,0001***	526,7031
Modelo Azevedo (Syx = 11,08%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	20,550519	0,518320	39,648	<0,0001***	
β_1	0,010377	0,001175	8,835	<0,0001***	795,4683
Modelo Henricksen (Syx = 9,82%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	1,6314	1,7152	0,951	0,344 n.s	
β_1	8,0369	0,6002	13,391	<0,0001***	522,7767
Modelo Curtis (Syx = 8,52%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	3,54979	0,02482	143,04	<0,0001***	
β_1	-5,83672	0,36343	-16,06	<0,0001***	474,9594
Modelo Stoffel (Syx = 47,32%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	2,14028	0,08002	26,75	<0,0001***	
β_1	0,36703	0,02800	13,11	<0,0001***	982,2673

Modelo Silva (Syx = 7,72%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	5,7494	0,4570	12,581	< 0,0001 ***	
β_1	-0,5856	0,1215	-4,819	< 0,0001 ***	453,2968
β_2	-14,3730	1,8020	-7,976	< 0,0001 ***	

Em que: β 's = parâmetros do modelo; Syx % = erro padrão da estimativa em porcentagem; t = valor de t da análise de variância; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; *** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade e AIC: critério de informação de Akaike.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Quanto às estatísticas de ajuste e precisão encontradas para os modelos utilizados para explicar a variação da altura em função do DAP, pode-se verificar que os mesmos tiveram comportamentos semelhantes e, a princípio, com indicadores satisfatórios em termos de ajuste, dado que, apenas o modelo de Henricksen não obteve significância para o parâmetro β_0 .

Todavia, baseando-se em outros critérios, alguns modelos são superiores a outros. Quando se considera o erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) de cada modelo (Tabela 4), os menores valores foram verificados nos modelos de Silva, seguido por Curtis, Trorey e Henricksen. Por sua vez, o maior valor foi encontrado para o modelo de Stofel. Nota-se ainda que dois dos modelos selecionados com menores valores de erro padrão da estimativa foram coerentes para o critério de Akaike (AIC), indicando os modelos 4 (Curtis) e 7 (Silva) com melhores estimativas para estes parâmetros. Embora dois dos modelos testados (Trorey e Henricksen) não tenham demonstrado compatibilidade para estes dois critérios de seleção, eles foram avaliados por meio do exame gráfico dos resíduos por apresentarem baixos valores de Syx%.

A seleção do melhor ajuste para estimar a altura foi realizada com o auxílio da dispersão dos resíduos, a dispersão entre os valores estimados e os valores observados, conforme a Figura 3.

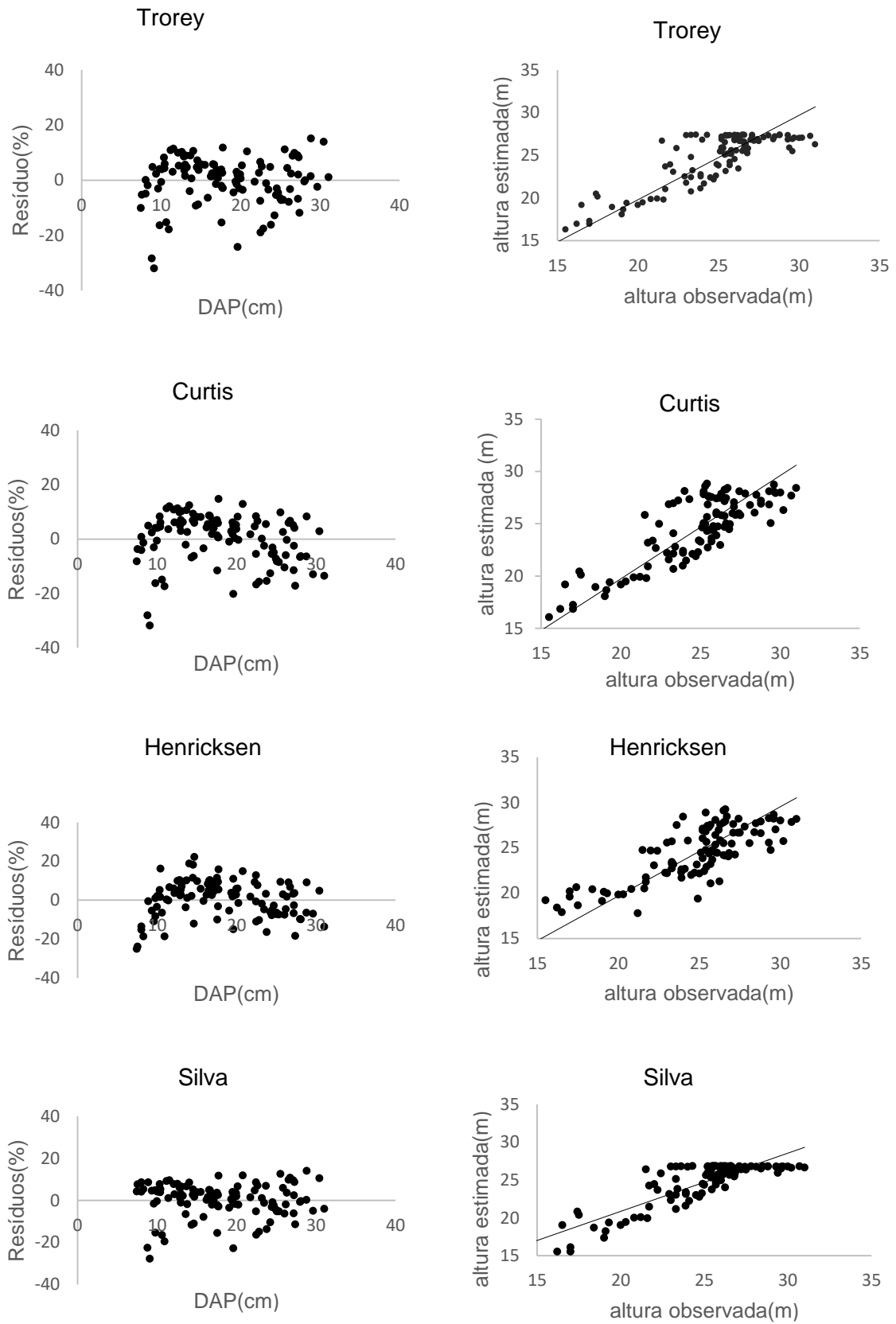


Figura 3 – Gráfico de distribuição dos resíduos entre altura observada (H) e altura estimada (H') em função do diâmetro a altura do peito (DAP) a partir dos modelos de Silva, Trorey, Curtis e Henricksen.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

É possível observar que os modelos de Trorey e Silva apresentaram um comportamento tendencioso para estimativa de altura nas árvores mais grossas, indicando que nenhum dos dois modelos consegue descrever o comportamento da variável altura nas maiores classes. Ao passo que para as equações de Curtis e Henricksen a distribuição não demonstrou tendências evidentes ao longo da linha de regressão, apresentando comportamento semelhante em termos de dispersão de resíduos, e não houve diferença expressiva entre estes dois modelos, indicando que ambos os modelos podem favorecer estimativas confiáveis para a variável altura.

Nos modelos que apresentaram medidas de precisão e distribuição de resíduos semelhantes, optou-se pelo modelo mais simples, acarretando em fácil aplicação. Neste sentido, decidiu-se escolher o modelo de Curtis por ser bastante difundido na área florestal, conforme pode ser verificado em trabalhos realizados em povoamentos florestais que apresentaram resultados semelhantes.

Dentre os trabalhos, tem-se o de Soares et al. (2004), buscando diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica de *Eucalyptus grandis*, no município de Guataporã, estado de São Paulo; Figueiredo et al. (2009), ao comparar modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L. na região Planalto Norte do estado de Santa Catarina; Rufino et al. (2010) ao estudar povoamento de eucaliptos conduzidos sobre o sistema de rebrota no município de Niquelândia, Goiás; e Batista et al. (2001) estudando a relação hipsométrica em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, aos seis anos de idade, no município de Anhembi, estado de São Paulo, em que constataram que o modelo de Curtis foi o mais adequado para a estimativa de altura.

3.2.2 Modelos volumétricos

De posse dos modelos volumétricos, relacionando a altura, o DAP e suas variações com o volume total, verificou-se quais modelos melhor se ajustaram às características do povoamento estudado, cujos resultados estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Estatísticas de ajuste dos modelos volumétricos e seus respectivos parâmetros estimados para o volume em função do DAP e Ht para um povoamento híbrido (*Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis*), no Norte de Minas Gerais

Modelo Kopecky (Syx = 16,04%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-0,2477497	0,0140824	-17,59	<0,0001 ***	763,6954
β_1	0,0307502	0,0007314	42,04	<0,0001 ***	
Modelo Dissecu - Meyer (Syx = 15,90%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_1	0,0017008	0,0044593	3,674	0,000372 ***	776,4929
β_2	0,0007605	0,0001185	3,263	0,001474 **	
Modelo Hohenald Krem (Syx = 15,20%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-0,1299222	0,0385554	-3,370	0,001041 **	
β_1	0,0163819	0,0044593	3,674	0,000372 ***	635,1858
β_2	0,0003865	0,0001185	3,263	0,001474 **	
Modelo Berkhout (Syx = 15,77%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	0,0012493	0,0002313	5,401	3,87e-07 ***	
β_1	1,8724914	0,0581814	32,184	<0,0001 ***	774,0569
Modelo Husch (Syx = 12,02%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-7,77759	0,12542	-62,01	<0,0001 ***	
β_1	2,23042	0,04389	50,82	<0,0001 ***	671,4614
Modelo Brenac (Syx = 7,63%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-1,8710	0,6972	-2,683	0,008423 **	
β_1	0,6714	0,1854	3,622	0,000446 ***	629,9342
β_2	-23,5224	2,7494	-8,556	<0,0001 ***	
Modelo Schumacher-Hall logaritimizado (Syx = 3,46%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-10,79596	0,15067	-71,65	<0,0001 ***	
β_1	1,71281	0,03081	55,60	<0,0001 ***	524,82931
β_2	1,41027	0,06554	21,52	<0,0001 ***	

Modelo Spurr (Syx = 10,50%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	0,028940	0,005345	5,415	<0,0001 ***	
β_1	0,00002927	0,00000045	55,60	<0,0001 ***	712,3308
Modelo Schumacher- Hall (Syx = 8,36%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	0,0000297	0,0000076	3,926	0,000152 ***	
β_1	1,6280000	0,0344100	47,322	<0,0001 ***	550,2234
β_2	1,377	0,0843600	16,318	<0,0001 ***	
Modelo Honner (Syx = 11,80%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-69,67	134,09	-0,520	0,604 n.s	
β_1	33855,01	3641,99	9,296	<0,0001 ***	580,0884
Modelo Ogaya (Syx = 11,80%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	- 0,000038	0,0000897	-0,425	0,671 n.s	
β_1	0,000033	0,0000034	9,740	<0,0001 ***	588,7896
Modelo Stoate (Syx = 8,83%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	- 0,084290	0,024740	-3,407	0,000922 ***	
β_1	- 0,000113	0,000091	-1,234	0,219767 n.s	582,1852
β_2	0,000031	0,000003	8,979	<0,0001 ***	
β_3	0,005696	0,001097	5,190	<0,0001 ***	
Modelo Naslund (Syx = 8,25%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	0,003430	0,017440	0,197	0,844477 n.s	
β_1	0,000212	0,000115	1,842	0,068227*	500,4209
β_2	0,000008	0,000008	0,488	0,626252 n.s	
β_3	0,000023	0,000007	3,476	0,000737 ***	
β_4	-0,000142	0,000087	-1,628	0,106481 n.s	

Modelo Takata (Syx = 8,92%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	20765,81	1142,60	18,174	<0,0001 ***	
β_1	454,07	47,16	9,628	<0,0001 ***	591,4242
Modelo Spurr log (Syx = 12,02%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	-7,77759	0,12542	-62,01	<0,0001 ***	
β_1	1,11521	0,02194	50,82	<0,0001 ***	671,4614
Modelo Meyer (Syx = 8,35%)					
Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	T	p> t	AIC
β_0	0,06604	0,1350	0,489	0,626 ^{n.s}	
β_1	-0,005925	0,01960	-0,302	0,763 ^{n.s}	474,7570
β_2	-0,000154	0,0005873	-0,262	0,794 ^{n.s}	
β_3	0,000905	0,0007557	1,197	0,234 ^{n.s}	
β_4	0,000016	0,000022	0,743	0,459 ^{n.s}	
β_5	-0,006775	0,005695	-1,190	0,237 ^{n.s}	

Em que: β_{is} = parâmetros do modelo; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; t = valor de t da análise de variância; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade; *** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($0,01 \leq p \leq 0,05$); AIC: critério de informação de Akaike.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Analisando as estatísticas de ajuste e precisão encontradas para os modelos volumétricos testados (Tabela 5), observa-se que na maior parte das equações ajustadas, pelo menos um dos seus parâmetros (β_{is}) foram estatisticamente significativos (diferentes de zero), exceto o modelo de Meyer, no qual nenhum parâmetro foi significativo.

Observa-se que a variação para o erro padrão percentual para os diferentes modelos testados ficou entre 3,46% e 16,04%, sendo considerados, em princípio, satisfatórios, indicando o quanto os valores estimados diferem em média dos valores observados.

Leite et al. (2011), estudando um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Mineiros-GO, encontraram erros-padrão da estimativa percentuais entre 10,36 e 12,87%. Pereira et al. (2014), estudando povoamentos de 13 anos em Moju-PA, observaram que os erros-padrão da estimativa para os modelos testados variaram

de 16,7 a 18,7%. No estudo realizado por Drescher (2004), o autor reportou valores de $Syx\%$ da ordem de 4,9 a 16,9%, dependendo do modelo testado. Figueiredo (2005) verificou erro de 7,32%, enquanto Christo et al. (2012), por sua vez, estudando indivíduos de teca com cinco anos de idade, na região de Alta Floresta, no estado do Mato Grosso, encontraram valores de 11,9 a 54,4%. Portanto, constata-se que a magnitude do erro percentual das equações também varia consideravelmente e é influenciada pelos dados utilizados no ajuste e pela formulação matemática dos modelos.

Os modelos que pior se ajustaram aos dados para a estimativa do volume total foram os propostos por Kopecky, Dissecu-Meyer e Berkhout, com maiores valores para o $Syx\%$ acima de 15,77%, e valores superiores de AIC, e o modelo de Meyer que não obteve significância em nenhum parâmetro, uma vez que estes modelos não devem ser indicados para estimativas volumétricas do povoamento.

Estes modelos que apresentaram elevados valores para o erro padrão da estimativa, estimam o volume apenas em função do DAP. Ao passo que os modelos com melhores ajustes utilizam o DAP e Ht como variáveis independentes. Assim, a altura é uma variável que apresenta uma alta correlação com o volume e, sempre que possível, deve ser considerada (AZEVEDO et al., 2011). Apesar do custo com medição de alturas e de ser muito passível a erros, ela tem um alto valor agregado (SILVA et al., 2007).

Para se determinar com precisão a escolha do melhor modelo, realizou-se a análise gráfica como critério decisivo, buscando-se verificar tendenciosidade nas equações ajustadas. Tal análise pode ser observada na Figura 4, onde são mostrados os valores estimados sobre a nuvem de pontos e a análise da dispersão dos resíduos para os quatro modelos selecionados, com base nas estatísticas de ajuste, sendo eles Schumacher-Hall log, Brenac, Spurr log e Hush.

Em todos os modelos selecionados para a estimativa de volume para o povoamento em questão, os valores estimados aproximaram-se dos valores reais e houve pequena dispersão dos resíduos, ficando os mesmos próximos à linha de regressão. Entretanto, ao analisar-se em conjunto todas as estatísticas de ajuste e o gráfico de dispersão, fica evidente que o modelo de Schumacher-Hall log apresentou os melhores resultados para a estimativa do volume.

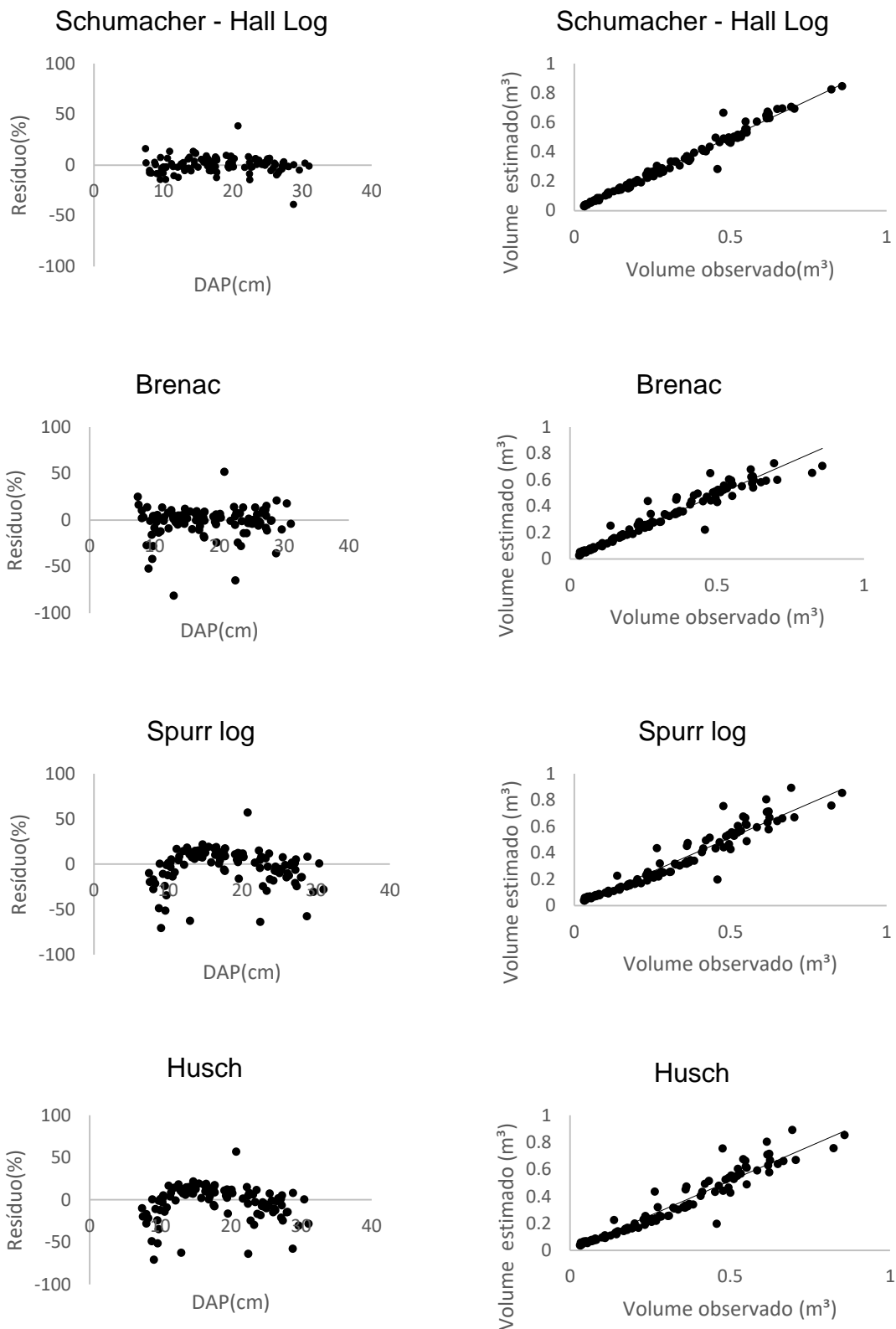


Figura 4 – Resíduos percentuais em relação ao DAP e altura observada (H) versus altura estimada (H') para as estimativas de volume de árvores de eucalipto, a partir dos modelos de Schumacher-Hall log, Brenac, Spurr log e Hush.
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

Esta ligeira superioridade deste modelo também foi vista em trabalhos realizados por Azevedo et al. (2011), ao ajustar modelos de simples e dupla entrada para povoamentos de *Eucalyptus* sp. na FLONA do estado de Sergipe, bem como e Miranda et al. (2015), estudando híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, localizados no município de Nova Canaã, no estado de Mato Grosso.

Colpini et al. (2009), recomendaram a equação de Schumacher e Hall (SH) logaritimizada para a região noroeste de Mato Grosso, por apresentar maior precisão para estimar o volume em função do diâmetro e da altura total das árvores, sendo a equação selecionada pelos pesquisadores e recomendada para a área estudada. Guimarães e Leite (1996), em estudo com *Eucalyptus grandis* no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, trabalhando com o modelo logaritmico de SH, concluíram que equações de volume ajustadas a partir de 150 árvores forneceram estimativas volumétricas similares às obtidas pelo emprego da equação resultante da cubagem de 500 árvores.

O modelo de Schumacher e Hall logaritimizado é um dos mais difundidos na área florestal devido às suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas (LEITE e ANDRADE, 2002; CAMPOS e LEITE, 2006). Portanto, fica demonstrado que a equação de Schumacher e Hall logaritimizada é satisfatória para as condições vigentes nesse estudo.

3.3 Simulações

3.3.1 Inventário Pré-corte convencional

Os resultados do IPC convencional pelos processos de amostragem avaliados (ACS e AS) para a obtenção do volume médio por hectare do povoamento, juntamente com o volume obtido pelo censo, podem ser verificados na Tabela 6. Encontram-se na mesma tabela as estatísticas obtidas nas diferentes formas de processamento dos dados, bem como os resultados do teste t e do p-valor.

Tabela 6 – Estimativa do volume médio por hectare pela Amostragem Casual Simples e Sistemática, além do volume real obtido pelo censo juntamente com as estatísticas de ajuste

Método	Volume médio (m³/ha)	Variância	E%	S	CV(%)	Intervalo de Confiança	t	p-valor
Censo	264,37	0,0031	-	0,0558	0,0211	-	-	-
ACS	264,68	39,3011	5,1034	6,2691	2,3685	257,93≤264,68≤273,97	0,1093 ^{ns}	0,9183
AS	260,67	64,5970	6,1558	8,0372	3,0833	252,37≤260,67≤270,12	-1,0309 ^{ns}	0,3608

Em que: Prof: profundidade de borda; E%: erro de amostragem em porcentagem; s: desvio padrão; CV(%) coeficiente de variação em porcentagem; Intervalo de confiança para 99%; t = estatística para o teste t; p-valor: probabilidade associada a estatística t calculada; ^{ns}: não significativo pelo teste t para o nível de 1% de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

De posse dessas informações, é possível observar pelo teste t ao nível de 1% de significância, que não houve diferenças significativas entre o censo e os processos de amostragem. Assim, verifica-se que ambos os processos utilizados no IPC convencional apresentaram volumes médios estatisticamente iguais aos do censo. Dessa forma, para o povoamento em questão, é possível trabalhar tanto com a amostragem casual simples como com a sistemática, pois as duas amostragens resultarão em estimativas precisas do volume para o povoamento, além de permitir a realização de um planejamento das ações no campo, buscando minimizar o tempo e o custo do IPC.

Sendo assim, na condição estudada, fica a critério do manejador florestal escolher o método de amostragem que melhor atenda aos seus objetivos e que permita reduzir a intensidade amostral, que está diretamente relacionada ao tempo e custo na execução do trabalho (CESARO et al., 1994; NAKAJIMA et al., 1998), sem perder a precisão das estimativas. Deste modo, autores como Péllico Netto e Brena (1997) sugerem que a escolha do melhor método se baseie na experiência prática e um confronto entre precisão e custos. Em contrapartida, de acordo com Husch et al. (2003) e Sanquetta et al. (2014), em florestas pequenas e homogêneas, a amostragem casual simples é mais indicada quando comparada com a amostragem sistemática, por obter resultados mais precisos.

As principais dificuldades da amostragem casual simples são localizar as unidades amostrais no campo e o acesso ao local exato onde estas deverão ser demarcadas. Estas dificuldades aumentam quanto mais extensa e acidentada for a

área e quanto mais densa for a floresta. Estes fatores têm implicação direta nos custos do inventário (SCOLFORO e MELLO, 2006).

Autores como Soares et al. (2006) e Miranda (2016) citam que a amostragem sistemática é um procedimento geralmente mais rápido e barato de ser executado do que a amostragem casual simples, devido ao fato de que o deslocamento entre as unidades amostrais é menor já que o caminhamento entre as parcelas é preestabelecido anteriormente.

Para Soares et al. (2011), no Inventário Pré-corte (IPC) a amostragem sistemática (AS) é mais indicada, pois este tipo de amostragem possui uma representatividade da população superior em relação às demais, visto que há uma melhor caracterização do perfil da população. Isto é confirmado também no trabalho de Miranda (2016), em que a amostragem sistemática (AS) independentemente do formato ou localização das parcelas, foi mais exata e precisa que a amostragem casual simples (ACS). Resultados semelhantes foram verificados por Mello et al. (2009) e Souza et al. (2015), que obtiveram melhores estimativas volumétricas utilizando a AS em povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Tectona grandis*, respectivamente.

3.3.2 Inventário Pré-corte bordadura

Para o melhor entendimento sobre as variações do diâmetro e altura obtidas por meio do censo e por equações hipsométricas, respectivamente, são apresentados na Tabela 7 os valores mínimos, médios e máximos de tais variáveis, nas diferentes profundidades de borda (10, 15 e 20 m), conforme sua localização no talhão (interior e borda).

Tabela 7 – Valores médios de diâmetro (DAP) e altura total (Ht) conforme sua localização no talhão (interior e borda), nas diferentes profundidades de borda

Profundidade (m)	Área	Variáveis	Mínimo	Médio	Máximo
10	Interior	DAP	7,48	16,59	26,42
		Ht	15,87	24,46	27,97
	Borda	DAP	9,23	18,79	32,75
		Ht	18,44	25,38	29,21
15	Interior	DAP	7,48	16,56	26,42
		Ht	15,87	24,45	27,97
	Borda	DAP	8,66	18,13	32,75
		Ht	17,67	25,12	29,21
20	Interior	DAP	7,48	16,54	26,42
		Ht	15,87	24,44	27,97
	Borda	DAP	8,66	17,82	32,75
		Ht	17,67	24,99	29,21

Em que: Ht = altura total (m); DAP = diâmetro medido a 1,30 m de altura (cm).

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Diante dos dados apresentados na Tabela 7, verifica-se que as árvores encontradas na borda apresentam, em média, maiores diâmetros e alturas quando comparadas com as árvores do interior da floresta. À medida que a profundidade de borda aumenta, os diâmetros médios (interior e borda) ficam mais próximos. Miranda (2016) estudou o efeito de borda em povoamentos de eucalipto e observou que não existe diferença diamétrica entre as 10 primeiras linhas de borda do talhão. Assim, considerou-se que este efeito só é expressivo nas 2 primeiras linhas, pois segundo a autora, a borda não vai muito além das primeiras linhas, diferente dos resultados encontrados no presente estudo.

Na Figura 5, pode-se observar o gradiente de diâmetros do talhão, no sentido borda-interior. Verifica-se que em grande parte do entorno do talhão as diferenças diamétricas concentram-se nas primeiras linhas, conforme verificado por Miranda (2016), exceto na porção inferior direita do talhão, onde estes maiores diâmetros se estendem até a quarta árvore da linha.

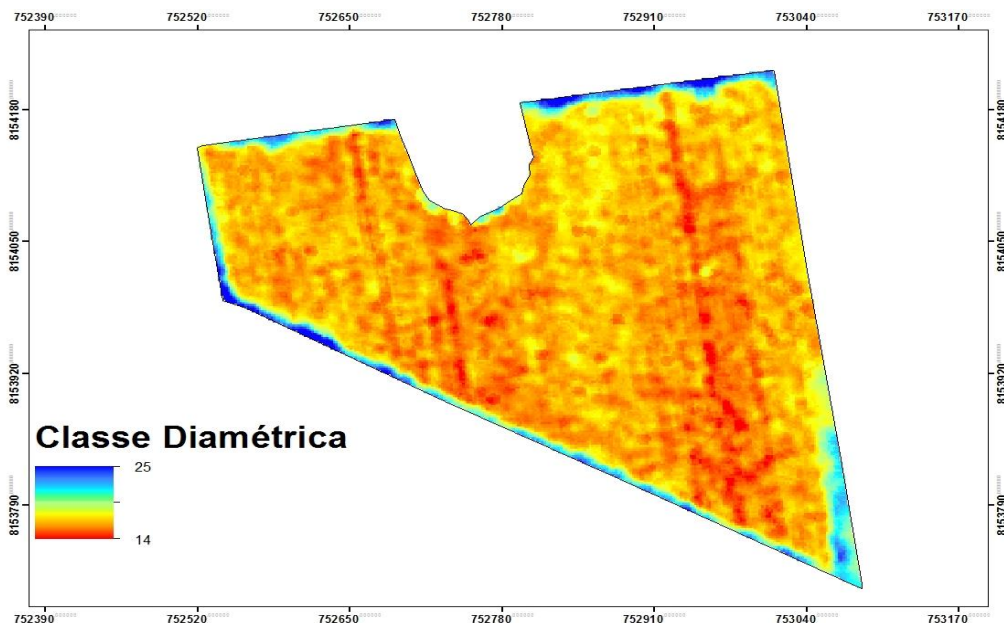


Figura 5 – Gradientes de diâmetros encontrados no sentido borda-interior do povoamento. Fonte: elaborado pela autora (2017).

A possível causa para que os diâmetros das árvores marginais sejam maiores está atribuída à menor competição que existe entre elas, devido ao maior espaço para crescimento, já que o talhão em questão é limitado por estradas e por uma faixa de servidão. Dessa forma, há maior aproveitamento dos recursos disponíveis das árvores limítrofes e, com isso, maior crescimento.

Segundo diversos autores (LELES et al., 2001; BERGER et al., 2002), o crescimento em diâmetro é altamente influenciado pelo espaçamento, o qual tem influência direta no volume de madeira produzido. Todavia, no que se refere à altura, esta é menos influenciada à medida que segue no sentido borda-interior (OLIVEIRA NETO et al., 2010). Isso se dá em razão da altura de uma árvore estar condicionada a fatores de natureza hereditária, sendo pouco influenciada pela densidade do povoamento e por desbastes.

Na Figura 6, encontram-se distribuídas as parcelas na área em cada processo de amostragem simulado, sendo eles: amostragem casual simples (ACS), amostragem sistemática (AS), amostragem estratificada aleatória e estratificada sistemática, nas três profundidades estudadas (10, 15 e 20 m), respectivamente.

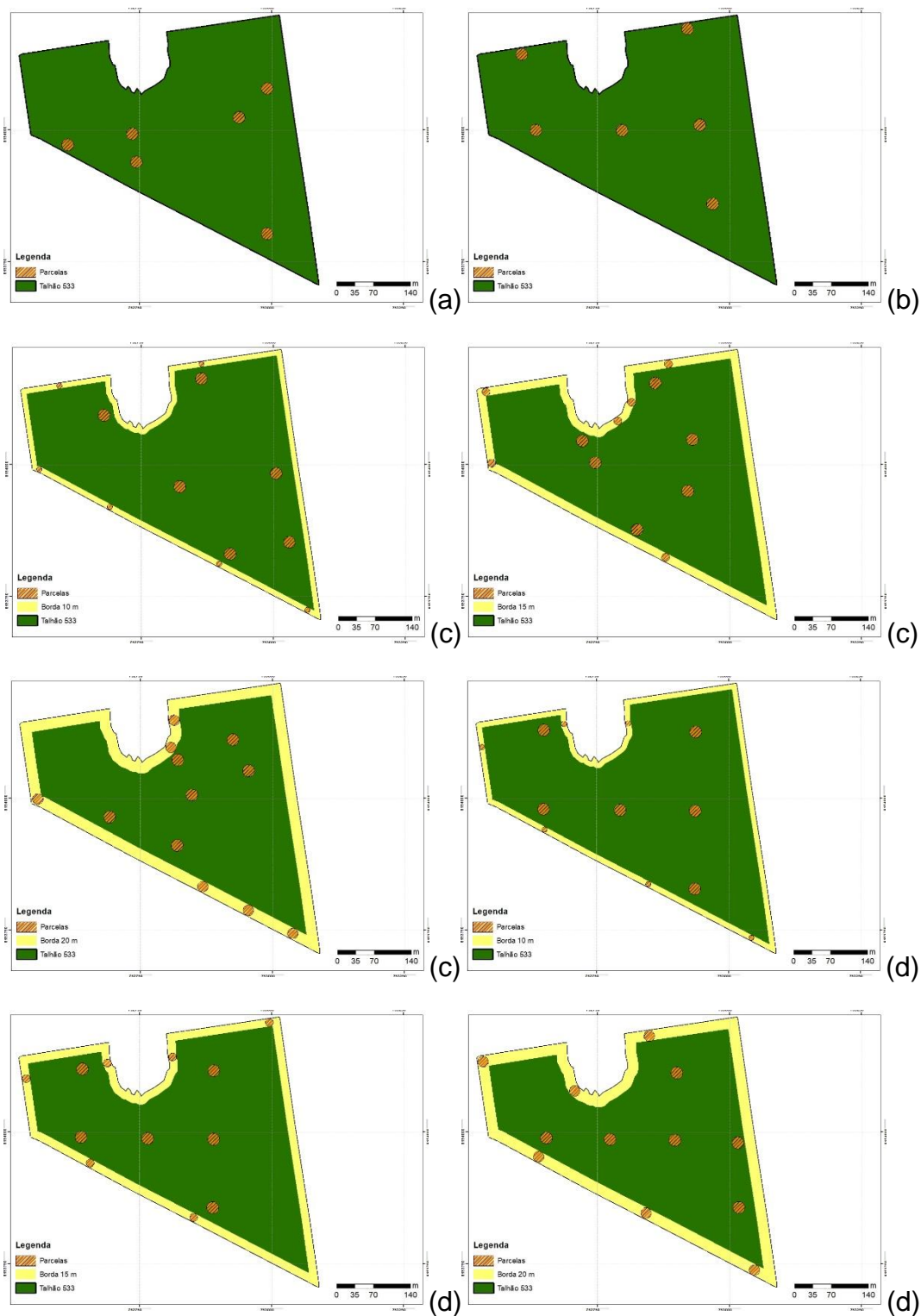


Figura 6 – Distribuição das parcelas pelos processos de amostragem simulados: (a) amostragem casual simples, (b) amostragem sistemática, (c) amostragem estratificada aleatória (10,15 e 20 m) e (d) amostragem estratificada sistemática (10,15 e 20 m).
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

Na Tabela 8, estão apresentados os resultados referentes à área ocupada pelos estratos borda e interior, nas diferentes profundidades estudadas, bem como a proporção correspondente aos mesmos em termos percentuais.

Tabela 8 – Proporção de área interior e borda nas diferentes profundidades

Profundidade (m)	Área (ha)		Proporção (%)	
	Borda	Interior	Borda	Interior
10	1,91245	13,80372	12,17	87,83
15	2,826973	12,889197	17,99	82,01
20	3,716459	11,999711	23,65	76,35

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A proporção de borda em termos percentuais é bastante expressiva à medida que aumenta a distância borda-centro, visto que com este efeito na profundidade de 20 m, aproximadamente 24% da área total do povoamento é ocupada pela borda.

O resultado encontrado pode estar relacionado com o tamanho da área avaliada, dado que o talhão estudado possui 15,73 hectares (Tabela 8), e que quanto menor o tamanho do talhão, maior é a proporção borda/área. Deste modo, talhões menores, assim como ocorre em fragmentos florestais naturais, estão mais sujeitos aos efeitos de borda (ZUIDEMA et al., 1996; SILVA e TABARELLI 2000). Neste sentido, quanto maior for o talhão, maiores proporções de áreas interiores e, portanto, menores os efeitos de borda.

O crescimento volumétrico é a consequência da combinação entre o crescimento em altura e o crescimento em diâmetro. Partindo desse pressuposto, a Tabela 9 apresenta os volumes encontrados a partir do censo e extrapolado para o povoamento, nas diferentes profundidades de borda em ambos os estratos (borda e interior) e a diferença percentual do volume da borda em relação ao interior do povoamento.

Tabela 9 – Volumes encontrados nas diferentes profundidades de borda e a proporção em termos percentuais do quanto maior é esse volume em relação ao interior

Profundidade (m)	Volumes (m ³ /ha)		Proporção (%)
	Borda	Interior	
10	269,3902	261,1417	3,2
15	270,7051	260,2032	4,0
20	262,4013	261,9966	0,15

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Os resultados apresentados na Tabela 9 revelam que a diferença de volume encontrada na borda é 3,2% maior que no interior do povoamento na profundidade de 10 m, indicando que essa diferença só é expressiva até a terceira árvore na linha, ao passo que a maior diferença foi verificada na profundidade de 15 m, até a quarta árvore na linha, sendo 4,0% maior que no interior. Dessa forma, é possível observar que à medida que se aumenta a distância borda-interior (20 m), a partir da quinta árvore na linha, esse efeito cessa, havendo proximidade entre ambos os volumes, comprovado pela pequena diferença entre os volumes da borda e do interior (0,15%). Portanto, verifica-se que o efeito de borda neste povoamento não ultrapassa 15 metros de profundidade ou a quarta árvore na linha, no sentido borda interior.

Sabe-se que árvores localizadas nas bordas do povoamento ou isoladas acabam desenvolvendo mecanismos de adaptação, já que sofrem uma maior interferência dos ventos e luminosidade, além de possuir maior espaço para desenvolver as raízes e assim captar mais recursos do solo (ANDERSON e SMITH, 1976). Dessa forma, a existência de uma área aberta ocasiona maior influência do ambiente externo e mudanças estruturais (BOURLEGAT, 2003; MELO et al., 2007), obtendo maior volume individual de produtos sólidos (SANTOS, 2011), e conseqüentemente, maiores estimativas volumétricas para o povoamento.

Contudo, Miranda (2016) relata em seu estudo sobre a influência de borda em um povoamento de 23,27 hectares plantados com eucalipto, que em relação ao posicionamento das parcelas no talhão, desconsiderando o método e o formato da parcela, seja borda, centro, ou borda e centro, concomitantemente, os resultados foram em média mais exatos e precisos quando as parcelas foram alocadas apenas no centro do talhão, seguidos das parcelas alocadas na borda e centro, simultaneamente e por fim, parcelas alocadas apenas na borda.

Resultados semelhantes ao de Miranda (2016) foram encontrados neste estudo. Os volumes médios para Amostragem Estratificada Aleatória e Estratificada Sistemática, para as diferentes profundidades de borda, quando comparados com o volume do povoamento obtido pelo censo, também não apresentaram diferenças significativas. Portanto, o uso de qualquer um dos dois processos de amostragem em qualquer profundidade de borda pode ser usado para estimar o volume do

povoamento. Isso pode ser confirmado pelo teste t e pelos resultados das estatísticas do inventário florestal (Tabela 10).

Tabela 10 – Comparação entre dois processos de amostragem, mostrando o volume médio para cada profundidade de borda, bem como as estatísticas obtidas no inventário florestal

Método	Prof.	Volume médio (m ³ /ha)	Variância	E%	S	Cv(%)	Intervalo de Confiança	t	p-valor
Estrat. Aleatória	10	272,12	44,7122	4,0892	6,6867	2,4573	264,84≤272,12≤282,22	2,5896 ^{ns}	0,0607
	15	267,20	28,5821	4,2654	5,3462	2,0008	259,88≤267,20≤273,64	1,1812 ^{ns}	0,3029
	20	267,06	21,5556	4,6955	4,6428	1,7385	259,14≤267,06≤270,44	1,2931 ^{ns}	0,2656
Estrat. Sistemática	10	267,68	7,3940	5,0441	2,7192	1,0158	263,99≤267,68≤271,01	2,7197 ^{ns}	0,0530
	15	272,38	41,5494	4,3810	6,4459	2,3665	266,75≤272,38≤282,63	2,7796 ^{ns}	0,0499
	20	266,29	22,0070	4,5686	4,6912	1,7616	260,07≤266,29≤272,36	0,9151 ^{ns}	0,4119

Em que: Prof: profundidade de borda; E%: erro de amostragem em porcentagem; s: desvio padrão; Cv(%) coeficiente de variação em porcentagem; Intervalo de confiança para 99%; t = estatística para o teste t; p-valor: probabilidade associada a estatística t calculada; ^{ns}: não significativo pelo teste t para 1% de nível de significância.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Estes resultados podem estar relacionados com o fato de que a área amostrada pelas parcelas no interior do povoamento foi bem maior do que a área amostrada na borda, assim, ocorre uma espécie de “compensação de volumes”, isto é, embora na borda as árvores sejam maiores e, portanto, de maior volume, essas representam uma menor quantidade de indivíduos do que as árvores do interior, que representam a maior parte dos indivíduos do povoamento, visto que a área das parcelas foi diferente para cada estrato estudado e o seu efeito no volume médio do povoamento é diluído.

Na amostragem estratificada houve aumento da intensidade amostral, sendo lançadas doze parcelas para cada profundidade de borda, ao passo que para a amostragem casual simples e sistemática houve o lançamento de seis parcelas. Porém este aumento da intensidade amostral não obteve nenhum ganho em termos de precisão em nenhum processo de amostragem avaliado, além do erro de amostragem ser bem próximo aos erros encontrados pelos processos tradicionais de amostragem (ACS e AS).

Para cada profundidade estudada, a área das parcelas foi alterada em função do raio pré-estabelecido, contudo, não se verificou diferenças significativas nas três distâncias de borda testadas nos diferentes processos de amostragem. Assim, a escolha do tamanho de parcela a ser utilizada dependerá de fatores, tais como: o

tamanho da área a ser inventariada, o tempo de deslocamento e medição, o número de horas a serem trabalhadas por dia e as condições de acesso à área (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Diversos trabalhos relacionados aos tamanhos das parcelas têm confirmado uma maior eficiência das parcelas menores, entre 100 e 300 m (WRIGHT, 1964; NASH e ROGERS, 1975; KRAMER e AKÇA, 1982; HUSCH et al., 2003).

Para Husch et al. (1982); Scolforo e Mello (1997) e Sanquetta et al. (2014), quanto menores forem as unidades amostrais, maior será a precisão, levando em conta que seja utilizada a mesma intensidade amostral para o mesmo número de parcelas. No entanto, cada indivíduo da amostra deve dar uma imagem representativa da floresta. Dessa forma, Miranda (2016) estabelece que para florestas plantadas com o eucalipto, quando se utiliza a amostragem sistemática com uma intensidade amostral maior, obtêm-se melhores estimativas para parcelas de tamanho menor, entretanto, quando a intensidade amostral foi menor e as parcelas tiveram um tamanho maior, a amostragem casual simples apresentou melhores resultados.

Em contrapartida, Silva (1980), Bonetes (2003) e Ubiali (2007) afirmam que as estimativas sem tendência do volume de madeira de uma floresta podem ser obtidas por parcelas de qualquer tamanho, porém sua localização não poderá ser tendenciosa. Mas, para isso, é preciso que exista um intervalo limitado de tamanhos, em que a eficiência da amostragem seja a melhor possível. O melhor tamanho pode ser diferenciado de uma amostragem para outra e vai depender do quanto as árvores estão agrupadas e do custo.

Como não houve diferença estatística nas estimativas de volume nas diferentes amostragens, pode-se utilizar qualquer uma das metodologias para estimar o estoque volumétrico do povoamento, tanto para o IPC convencional como para o IPC bordadura. Isso é possível devido ao fato de que o erro de amostragem do inventário gerou valores inferiores aos 10% exigidos pelos órgãos reguladores do estado de Minas Gerais (IEF/SEMAD, 2013). Dessa forma, é possível realizar um planejamento das ações no campo, buscando minimizar o tempo e o custo do IPC.

Em empresas de base florestal, com a finalidade de planejamento de colheita, normalmente exige-se um erro de inventário menor que 5% e os resultados encontrados no presente estudo para quase todos os processos de amostragem

(Tabelas 6 e 10), considerando este limiar de erro para o inventário, também foi satisfatório.

A decisão de definir a distribuição das unidades amostrais de forma aleatória ou sistemática, ou se estratifica ou não, depende de diversos fatores, dentre eles: disponibilidade de estradas, grau de homogeneidade da população e dentro do estrato em caso de amostragem estratificada, fatores característicos do terreno, como declividade, entre outros (SANQUETTA, 2014).

Tomando como base o trabalho realizado nesse talhão acerca da influência de borda no estoque volumétrico nas florestas plantadas, especificamente com o gênero *Eucalyptus*, apesar desse efeito não ser significativo no processamento do inventário florestal, a melhor forma de obter maior precisão para as estimativas é considerar todas as premissas dos diferentes processos de amostragem e fazer um planejamento criterioso das atividades, bem como das formas que serão realizadas as atividades de campo, na busca de precisão aliada à redução de tempo operacional e, conseqüentemente, de custos.

Considerando apenas o estoque volumétrico, pode-se afirmar que a bordadura não exerceu influência nos resultados em relação ao censo em nenhuma situação estudada, portanto, não se faz necessário realizar uma estratificação do povoamento e nem forçar a alocação de unidades amostrais nas bordas dos povoamentos.

4 CONCLUSÕES

- Os modelos hipsométrico e volumétrico que melhor se ajustaram aos dados de acordo com as estatísticas de ajuste e análise dos resíduos foram o de Curtis e de Schumacher e Hall logaritimizado, respectivamente.
- Nos processos de amostragem simulados, verificou-se que não houve diferença significativa entre a amostragem aleatória simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada (aleatória e sistemática) quando comparados com o volume obtido pelo censo, embora o volume médio observado na borda de 15 m de profundidade tenha sido 4% superior ao volume médio do interior do povoamento.
- A utilização de processos de amostragem que forcem a seleção de amostras nas bordas dos povoamentos não promove qualquer ganho em termos de precisão, assim qualquer um dos processos de amostragem pode ser utilizado para estimativa do estoque de madeira.
- O tamanho do povoamento pode influenciar a proporção de borda, o que poderia trazer um efeito significativo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, D. A.; SMITH, W. A. **Forests and Forestry**. Dainville: The interstate printers and publishers, 1976, 432 p.
- AUGUSTYNCZIK, A. L.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S. Avaliação do tamanho de parcelas e de intensidade de amostragem em inventários florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 361-368, 2013.
- AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista brasileira de ciências agrárias**, v. 6, n. 1, p. 105-112, 2011.
- BATISTA, J. L.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 149-163, dez. 2001.
- BERNARDO, A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, n. 1-3, p. 1-3, 1998.
- BONETES, L. **Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma Floresta Ombrófila Mista**. Curitiba-PR: UFPR, 2003, 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.
- BERGER, R.; da et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BOURLEGAT, C. A. L. A Fragmentação da Vegetação Natural e o Paradigma do Desenvolvimento Rural. In: Fragmentação Florestal e Alternativas de Desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste. Reginaldo Brito da Costa (Org). Campo Grande: UCBD, 2003.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2 ed. New York: Springer, 2002, 488 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002, 407 p.
- CESARO, A. D.; ENGEL, O. T.; FINGER, C. A. G; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Revista Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.

CHRISTO, J. C.; DIAS, N. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MENON, F. V. Modelagem e crescimento de *Tectona grandis* Linn F. no município de Alta Floresta – MT a partir de anatro (análise de tronco) completa. In: Congresso Florestal Paranaense. **Anais...** Paraná, 2012, p. 01-09.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado do Mato Grosso – Brasil.** Santa Maria-RS: UFSM, 2004, 116 p. (Tese de doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria.

FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; MACHADO, E. C.; ABREU, A. H. M.; ABILIO, F. M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

FIGUEIREDO, E. O. Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.F.) na microrregião do Baixo Rio Acre. Minas Gerais-MG: UFLA, 2005, 331 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

FIGUEIREDO, R. F.; NASCIMENTO, A. F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MIRANDA, G. M.; ARCE, J. E.; DIAS, A. N. Comparação de modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L. In: Semana de integração ensino, pesquisa e extensão. **Anais...** p. 01-04.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992, 269 p.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, dez. 1996.

HUSCH, B.; MILLER, C.I; KERSHAW, J. **Forest Mensuration.** 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003, 443 p.

IEF/SEMAD – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS; SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Resolução conjunta nº 1905 de 12 de agosto de 2013. Dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 13 ago. 2013, 29 p.

KRAMER, H., AKÇA, A. **Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur.** Frankfurt/M.: J.D. Sauerländer's Verlag, 1982, 249 p.

LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M, DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.; LAURANCE, S. G.; SAMPAIO, E. Rain Forest Fragmentation and the Dynamics of Amazonian Tree Communities. **Ecology**, v. 79, p. 2032-2040, 1998.

LELES, P. S. dos S.; REIS, G. G. dos; REIS, M. das G. F.; MORAIS, E. J. de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G; GORENSTEIN, M. R. Efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de Floresta Estacional Semidecidual, SP, Brasil. **Acta botânica brasileira**, v. 21, n. 4, p. 927-934, 2007.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO C. R. de; SCOLFORO, J. R. S.; JUNIOR, F. W. A. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 185-194, 2009.

MME, Ministério de Minas e Energia. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Vale do Jequitinhonha: **Diagnóstico do Município de Grão Mogol-MG**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 22 Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Ministério de Minas e Energia, 2005.

MIRANDA, L. P. **Efeito de borda no inventário pré-corte de um povoamento *Eucalyptus sp.*** Diamantina-MG: UFVJM, 2016, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

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**, v. 11, n. 03, p. 01-08, 2015.

NAKAJIMA, N. Y.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R. POSONSKI, M. **Elaboração de um sistema de amostragem para estimativa de valores correntes e mudança/crescimento em reflorestamento de *Pinus***. Curitiba: UFPR, 1998, 33 p.

NASH, A. J.; ROGERS, B. **Inventory and evaluation of the forest resources in the state of Pará**. Belém: IDESPUSAID, 1975, 188 p.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes

espaçamentos e níveis de adubação na região de Cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010.

PÉLLICO-NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventários florestais**. 1. ed. (editorado pelos autores), Curitiba, 1997, 316 p.

PEREIRA, K. D.; PAIXÃO, M. V. C.; MONTEIRO, C. W.B.; LAURIDO, F. T.; FERREIRA, P. S. T. Ajuste de modelos hipsométricos para árvores de *Tectona grandis* L.f. no município de Mojú, Pará. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 181-189, 2014.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 22/11/ 2016.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L, LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, Pará. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 301-307, 2011.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. **Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota**. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 6, n. 10, 2010.

SANQUETTA, C. A.; DALLA-CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; WATZALAWICK, L. F. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. 3. ed. Curitiba: multi-graphic gráfica e editora, 2014, 406 p.

SANTOS, M. D. dos. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Botucatu-SP: UNESP. 2011, 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual Paulista.

SAKAMOTO, Y.; ISHIGURO, M.; KITAGAWA, G. **Akaike information criterion statistics**. Tokyo: KTK Scientific, 1986, 320 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não linear: parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso da matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005, 352 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006, 561 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997, 341 p.

SILVA, J. N. M. **Eficiência de diversos tamanhos e formas de unidades de amostras aplicadas em inventário florestal na região do Baixo Tapajós**. Curitiba-

PR: UFPR. 1980, 84 p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) – Universidade Federal do Paraná.

SILVA, J.M.C, TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic Forest of northeast Brazil. **Nature**, v. 404, p. 72-74, 2000.

Silva, J. N. M. **Manejo Florestal**. Embrapa Amazônia Oriental, 3. ed. Belém, 2001, 49 p.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 4, p. 685-694, 2007.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 276 p.

SOARES, C.P.B; PAULA NETO, B.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011, 272 p.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, S. O.; MELLO, J. M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 845-854, 2004.

SOUZA, H.S.; CHAVES, A.G.S.; VENDRUSCOLO, D.G.S.; SILVA, R.S.; MOTTA, A.S. Processos de amostragem para estimativa de produção em plantio de Teca. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 2, n. 3, 2015.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.J. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

ROCHA, T. B.; CABACINHA, C. D.; ALMEIDA, R. C.; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista-BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, 2010.

UBIALLI, J. A. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos e estimativas de estoque de uma floresta ecotonal na Região Norte Matogrossense**. Curitiba-PR: UFPR, 2007, 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

WRIGHT, J. W. **Mejoramiento genético de los árboles**. Roma: FAO, 1964, 436 p.

ZUDEIMA, P. A.; SAYER, J. A.; DIJKMAN, W. Forest fragmentation and biodiversity: the case for Intermediate-sized conservation areas. **Environmental Conservation**, v. 23, p. 290-297, 1996.

CAPÍTULO 2:

EFEITO DA BORDA NA ESTIMATIVA DE MULTIPRODUTOS EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

RESUMO

A necessidade da otimização do uso dos recursos madeireiros dentro do conceito de multiprodutos surge com a alta demanda por produtos florestais. Com isso, o emprego de técnicas de amostragem que geram informações confiáveis para o conhecimento dos recursos florestais é indispensável. Tendo em vista a importância das informações geradas pela aplicação da técnica correta de amostragem na obtenção dos multiprodutos, esta pesquisa foi concebida com o objetivo de estudar o efeito das árvores de borda na otimização do uso da madeira, visando a conversão das mesmas em multiprodutos, em povoamentos de eucalipto. O estudo foi desenvolvido no município de Grão Mogol, Minas Gerais, e seus dados foram provenientes de um plantio comercial de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, abrangendo uma área de 16,73 hectares. A abordagem metodológica consistiu, inicialmente, na realização de um censo, onde foram mensuradas todas as circunferências a 1,30 metros de altura. As estimativas da altura e do volume foram obtidas por equações ajustadas aos modelos de Curtis e de Schumacher e Hall logaritimizado, respectivamente. Realizou-se dois tipos de inventário Pré-corte (IPC): convencional e bordadura, em que foram lançadas para cada situação seis parcelas circulares. No IPC convencional foram testados dois processos de amostragem de uso recorrente na área florestal: a Amostragem Casual Simples (ACS) e Amostragem Sistemática (AS); já no IPC de bordadura, as parcelas foram distribuídas seguindo duas amostragens de borda, em um primeiro momento de maneira aleatória e, posteriormente, de forma sistemática, considerando uma distância de borda de 20 m. Para descrever o afilamento dos fustes coletados foi utilizado o modelo linear polinomial de Ormerod. Conhecendo-se a distribuição diamétrica do povoamento, as estimativas da altura e a frequência de árvores em cada classe de diâmetro, estes dados foram inseridos no software *SigmaE*, para a realização da otimização dos

produtos considerando os usos para serraria, celulose e energia. Os diâmetros e comprimentos de toras também foram inseridos no *software*. Para comparar a quantidade de toras obtidas pelos processos de amostragem com o censo, aplicou-se o teste de Qui-quadrado para um nível de significância de 5%. Os processos de amostragem das bordas por meio das amostragens estratificadas geraram estimativas da quantidade de toras mais precisas quando comparadas com os processos tradicionais de amostragem.

Palavras-chave: sortimentos, bordadura, estratificação.

1 INTRODUÇÃO

O mercado atual de madeira vem se tornando cada vez mais competitivo, exigindo o desenvolvimento e aplicação de técnicas e ferramentas a fim de reduzir custos e desperdícios nos processos de produção de um empreendimento florestal, aumentando assim, sua competitividade e estabilidade no mercado. Com isso, o uso de procedimentos corretos de inventário florestal é fundamental para a quantificação e classificação exata e precisa dos produtos madeireiros extraídos da floresta.

A aplicação de técnicas de otimização para definição de estratégias torna-se cada vez mais necessária dentro desse contexto, buscando o máximo aproveitamento da produção, maximização de lucros do empreendimento e redução do impacto gerado diante de oscilações do mercado sobre determinado produto (MARTINS, 2016).

Dessa forma, uma alternativa atraente para o planejamento florestal é a conversão de árvores em multiprodutos, em que de um mesmo fuste consegue-se extrair madeira para diversos usos, tais como, laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, sendo essa, provavelmente, a opção que apresenta maior rentabilidade volumétrica e econômica do produto advindo de povoamentos florestais (SOARES et al., 2003; CHICHORRO, 2000).

Para quantificar os multiprodutos ou sortimentos de madeira em povoamentos florestais, é de extrema importância a aplicação de modelos que sejam capazes de mostrar o detalhamento do perfil do tronco das árvores. Assim, os modelos de *taper* ou afilamento, são amplamente utilizados na área florestal. Essas funções são responsáveis por estimar diâmetros superiores, principalmente acima da altura do DAP, bem como determinar alturas comerciais em diâmetros pré-especificados e calcular o volume total e comercial de partes ao longo do tronco (LIMA et al., 1997; SOARES et al., 2007; CAMPOS e LEITE, 2009).

As árvores localizadas nos limites dos talhões possuem características dendrométricas distintas quando comparadas com as do interior da floresta, decorrente da alteração dos fatores bióticos e físicos nessa margem. No inventário florestal, as árvores que sofrem o efeito da bordadura podem influenciar na estimativa

dos multiprodutos obtidos do povoamento, o que depende do grau de amostragem realizada no interior do talhão e na bordadura.

Assim, estudar a influência da amostragem na bordadura e identificar os efeitos de borda nas árvores são parâmetros importantes na avaliação da precisão e acurácia do resultado do inventário, afetando, deste modo, o estoque total da população e até mesmo os múltiplos produtos desta madeira, quando este efeito não é captado pelo processo de amostragem.

Nesse contexto, pode-se perceber uma tendência entre as empresas florestais brasileiras de se estruturarem operacional e administrativamente dentro de uma metodologia gerencial mais moderna, adotando novas tecnologias que permitam seu desenvolvimento e maior retorno financeiro, na busca pelo melhor uso e máximo aproveitamento da madeira. Isso que garantirá a melhor utilização das árvores, levando-se em consideração informações como qualidade e dimensões do fuste. Assim, tendo em vista as inúmeras vantagens advindas da conversão de árvores em multiprodutos, estudos têm sido realizados com o objetivo de estabelecer o melhor aproveitamento na conversão de troncos.

Levando em consideração que não existem estudos sobre o impacto das árvores de borda sobre os sortimentos e a melhor forma de amostragem desses indivíduos no povoamento, fica evidente a importância da utilização de uma metodologia correta de amostragem. Caso essa tecnologia não consiga captar as variações diamétricas do povoamento, poderá influenciar de forma negativa na determinação dos multiprodutos de acordo com as dimensões do tronco, acarretando prejuízos para a empresa.

Diante do exposto, considerando a necessidade de maior eficiência na utilização dos recursos florestais, realizou-se o presente estudo com o objetivo de avaliar o impacto das árvores de borda na otimização do uso da madeira considerando diferentes tipos de amostragem, visando a melhor forma de conversão das mesmas em multiprodutos, em povoamentos de eucalipto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Grão Mogol, Minas Gerais, Brasil. Os dados são provenientes de um plantio comercial, de posse da empresa Norflor, situado na fazenda Santa Terezinha, sub-bacia do córrego Itacambiruçu, na Bacia Hidrográfica do rio Jequitinhonha, cujas coordenadas geográficas são 16°40'59,05" latitude (S) e 42°37'46,25" longitude (W). O empreendimento abrange uma área de aproximadamente 34 mil hectares, sendo 17 mil hectares plantados com *Eucalyptus* spp.

Conforme o sistema de classificação de Köppen – Geiger, o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, clima subtropical de inverno seco com temperaturas inferiores a 18 °C e verão quente com temperaturas superiores a 22 °C. A região possui temperatura média anual de 21 °C, altitude média de 829 m, com pluviosidade média anual em torno de 1.182 mm e chuvas concentradas no período de outubro a março, quando são registrados 80% do total anual precipitado (MME, 2016).

A vegetação predominante constitui-se de Caatinga, entretanto, há presença de campo rupestre nas áreas de afloramento rochoso, mesclados aos Litossolos da direção Centro-oeste e de campos de Cerrado a Nordeste do município (GEOMINAS, 1996).

Os solos da região são, em geral, muito pobres, pouco produtivos e de difícil mecanização devido ao relevo. A porção Nordeste que se estende até o Sudeste é uma das partes mais produtivas dessa região, possuindo boa disponibilidade hídrica e se constitui no campo de deposição de *húmus* dos importantes rios do município, sendo que os principais cultivos comerciais estão alocados nessa porção, principalmente nas áreas de Latossolo Vermelho-escuro (FONSECA, 2010).

2.2 Levantamento dos dados

Para a realização deste estudo foi selecionado um talhão de 16,73 hectares, com um híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, com idade de oito anos, plantados no espaçamento 3,6 por 2,6 m.

Este local foi selecionado para o estudo pelo fato de ser uma área onde verificaram-se diversas situações práticas em termos de vizinhança, sendo o talhão delimitado por estradas, por outro talhão e por uma faixa de segurança de linhas de transmissão, além de estar próximo à idade de corte preestabelecida pela empresa.

Para uma melhor amostragem na obtenção do volume real para o povoamento, foi utilizado o critério da distribuição por classe diamétrica, e as amplitudes de classe foram definidas com base no desvio padrão dos diâmetros.

Definidas as classes diamétricas, a quantidade de árvores por classe e sua localização no talhão a partir dos dados do censo, foram derrubadas e cubadas rigorosamente com suta de 40 cm, 112 árvores, distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo constante de quatro centímetros para as primeiras 5 classes e a última com intervalo aberto, de modo a abranger árvores com variações em altura e evitar classes vazias). Foram cubadas rigorosamente 20 árvores por classe diamétrica, exceto a classe seis, onde foram cubadas 12 árvores, por apresentarem menor frequência, cujos diâmetros são maiores (Tabela 1).

Tabela 1 – Frequência do número de árvores obtida pelo censo e pela cubagem, distribuída nas diferentes classes diamétricas dos indivíduos de eucalipto mensurados

Classe de Dap	Intervalos	Frequência		Vol./classe ¹ (m ³)
		Censo	Cubagem	
1	7 F 11	41	20	1,0924
2	11 F 15	1.309	20	3,1832
3	15 F 19	15.278	20	5,1113
4	19 F 23	646	20	7,1769
5	23 F 27	199	20	10,4086
6	>27	23	12	7,8005
Total		17496	112	34,772927

¹ Volume comercial obtido na cubagem rigorosa referente ao somatório por classe diamétrica, considerando a exclusão do toco.

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Todos os indivíduos derrubados foram cubados rigorosamente, tomando-se medidas de diâmetros nas posições 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 2,0; 3,0 metros. Após esta marca, as seções foram tomadas de um em um metro (SOARES et al., 2006; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009; CAMPOS e LEITE, 2013; LEAL, 2015), até atingir o diâmetro mínimo de 4 centímetros.

Os dados coletados em campo foram tabulados com o auxílio do *software Excel*® 2016, e processados para cálculo do volume total com casca das árvores cubadas. Após a obtenção dos volumes e das alturas das árvores, foram ajustados modelos hipsométricos e volumétricos para o povoamento estudado.

Para coletar os dados referentes às alturas foram consideradas todas as árvores-amostras selecionadas para a cubagem. Assim, mediu-se a altura de 112 árvores no talhão. As informações obtidas foram utilizadas no ajuste de modelos hipsométrico e para os modelos de *taper*, para a obtenção dos multiprodutos gerados a partir do tronco das árvores.

2.3 Estimativas de altura

Com base nos dados de diâmetro e altura coletados na etapa da cubagem, foram ajustados oito modelos hipsométricos amplamente utilizados no setor florestal (Capítulo 1), e com base nas estatísticas de ajuste e precisão, selecionou-se o modelo hipsométrico de Curtis para estimar a variável altura total das árvores do povoamento estudado.

A relação funcional do modelo de Curtis é dada por:

$$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{DAP}\right)$$

2.4 Modelos de Taper

A avaliação de multiprodutos da madeira exige uma descrição do perfil do fuste, através de equações de afilamento ou *taper* (HUSCH et al., 1982), tornando-se uma ferramenta obrigatória para a quantificação dos multiprodutos, uma vez que as alternativas de uso são formuladas em função das variáveis: comprimento da tora, diâmetro máximo e diâmetro mínimo (LIMA et al., 1997). De acordo com Fischer et al. (2001), a aplicação das funções de *taper* é um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal, já que permite valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal.

Neste estudo buscou-se estabelecer, para cada árvore, a alternativa de uso que proporcionasse maior retorno econômico ao converter as toras em multiprodutos. Para descrever o afilamento dos fustes coletados foi utilizado o modelo linear polinomial de Ormerod (1973), apresentado a seguir:

$$d = DAP \left(\frac{Ht - h}{Ht - 1,3} \right)^{\beta_1}$$

Isolando h , obtém-se a função de afilamento que permite estimar as alturas, em cada seção ao longo do tronco, e em cada diâmetro considerado.

$$h = Ht - \left[\left(\frac{d}{DAP} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} (Ht - 1,3) \right]$$

Em que: d = diâmetro com casca na altura h (cm); DAP = diâmetro com casca (cm), a 1,3m de altura; h = altura comercial (m); Ht = altura total (m).

Foi ajustado o modelo de Ormerod (1973) devido a sua simplicidade e facilidade de ajustamento aos dados, além da precisão das suas estimativas e pelos resultados apresentados nos trabalhos realizados por Mendonça (2006) e Môra (2014), os quais o consideram como o modelo mais apropriado para descrever o afilamento do fuste em povoamentos de eucalipto.

2.5 Simulações do Inventário Pré-corte

De posse dos dados de diâmetro, altura, volume e localização das árvores no talhão, foi possível construir em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma base digital do talhão, com a finalidade de realizar as simulações do Inventário Pré-corte (IPC). Essa base digital foi construída com o auxílio do *software Arcgis 10.1*, com a locação e identificação de cada árvore através da sua localização no talhão (linha e posição). Foram utilizadas imagens provenientes de imagens de satélite, registradas em maio de 2016, disponíveis no *Google Earth Pro*, com o auxílio dos *shapefiles* disponibilizados pela empresa, de modo que foi possível realizar a localização do talhão na área e a demarcação das 142 linhas e do número de árvores em cada linha.

Por meio desses dados da quantidade de árvores existentes na linha, foi possível georreferenciá-las de maneira equidistante, obedecendo à área útil de 9,36 m² por árvore (3,6 x 2,6m) e obter a localização e as coordenadas X e Y das 17.496 árvores que foram mensuradas no censo, para a realização das diferentes simulações de IPC.

De posse desse mapa da área, realizou-se a simulação de dois tipos de Inventário Pré-corte (IPC): convencional e bordadura, e para cada método de amostragem realizou-se cinco repetições.

2.5.1 Inventário convencional

O inventário convencional foi realizado por dois processos de amostragem de uso mais frequente nos inventários florestais: amostragem casual simples e amostragem sistemática, em que para cada situação foram lançadas seis parcelas circulares de 400 m² com raio de aproximadamente 11,3 m, sem estratificação de borda.

Para simular uma amostragem casual simples (ACS), adotou-se uma intensidade de amostragem de uma parcela a cada 3 ha. Já na amostragem sistemática (AS), a primeira unidade de amostra foi aleatorizada e as demais, distribuídas de forma equidistante, distando 150 metros entre si, a fim de distribuir parcelas em toda a área.

Assim, distribuídas as parcelas em ambas as simulações de amostragem, foram coletados os dados referentes ao DAP e altura total e transferidos para uma planilha do *software Excel*[®] 2016.

2.5.2 Inventário de Bordadura

No IPC bordadura, as parcelas foram distribuídas seguindo duas amostragens de borda, em um primeiro momento de maneira aleatória, e em seguida de forma sistemática. Os inventários foram divididos em dois ambientes: interior e borda.

Na primeira foi realizada uma amostragem estratificada aleatória (AEA), na qual foram lançadas, no interior, seis parcelas circulares de 400 m² com raio de

aproximadamente 11,3 m, em uma intensidade de amostragem de uma parcela a cada 3 há. Na segunda foi realizada uma amostragem estratificada sistemática (AES), em que a primeira unidade amostral foi aleatorizada e obedeceu a uma equidistância de 150 metros de onde as demais parcelas foram locadas.

Em ambas (AEA e AES), nas amostragens da borda foram lançadas seis parcelas circulares de aproximadamente 314 m² com raio de 10 m, cuja intensidade de amostragem para a ACS foi de uma parcela a cada 0,5 ha, e para a sistemática obedeceu a uma equidistância de 100 m entre parcelas.

No interior do talhão, aplicou-se a mesma metodologia do inventário convencional, em que foram lançadas seis parcelas circulares de 400 m², de maneira aleatória e sistemática. Em todas as etapas de simulações de amostragem do Inventário Pré-corte, utilizou-se o *software Arcgis 10.1*, e a forma de lançamento e obtenção dos dados podem ser verificados no Capítulo 1.

As diferentes simulações de inventário foram realizadas com o propósito de obter a distribuição diamétrica do povoamento, a frequência de árvores por classe diamétrica (árvores/hectare) e a altura média dessas árvores em cada classe.

2.6 Alternativas de conversão da madeira para obtenção dos multiprodutos

Uma das informações fundamentais em modelos de otimização é a destinação do melhor uso da madeira, o que garantirá um melhor aproveitamento das árvores. Essa definição deve ser realizada levando-se em consideração informações como qualidade e dimensões do fuste. Deste modo, o tronco de uma árvore pode ser subdividido em toras e estas terem diferentes destinos, proporcionando maior rentabilidade volumétrica e econômica (CHICHORRO, 2003).

A determinação das classes diamétricas, utilizadas como cenários no trabalho, adveio da distribuição diamétrica dos indivíduos cubados, adotando amplitude de quatro centímetros entre as classes.

A partir da equação de afilamento de Ormerod ajustada, juntamente aos dados de distribuição diamétrica e altura média por classe de diâmetro, foram realizadas cinco repetições para cada método de amostragem.

No total, três destinos para a madeira foram considerados: venda das toras para a serraria, fabricação de celulose e, por último, geração de energia. Caso o destino fosse a serraria, a madeira poderia servir para a produção de MDF, compensado, pallets, chapas de fibra ou venda para a construção civil. Já se o destino fosse a celulose, a madeira teria como destinatários as indústrias de papel. No caso da classe energia, a madeira poderia ser utilizada para lenha, cavaco ou, até mesmo, fabricação de carvão.

A obtenção dos multiprodutos foi realizada empregando o software *SigmaE*. O modelo de programação dinâmica, inserido no software, contém três sub-modelos: Num primeiro nível, os fustes são transformados em toras; num segundo nível são definidas as espessuras das peças a serem serradas e, no terceiro nível, são analisados o desdobro e as peças de madeira serrada. No presente estudo, utilizou-se apenas o primeiro nível, em que os fustes foram transformados em toras e contabilizada a quantidade de toras obtidas por produto.

As especificações das dimensões, comprimentos de tora (L) para cada alternativa de uso, diâmetro mínimo (*dmin*) e máximo (*dmax*), estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações dos sortimentos e suas dimensões utilizadas neste estudo

Produtos	Comprimento (cm)	Diâmetro Mínimo (cm)	Diâmetro Máximo (cm)
Serraria	300	20	50
Celulose	210	8	40
Energia	250	4	40

Fonte: Campos e Leite (2013).

Assim, a partir das características das árvores de cada alternativa de uso, o aplicativo fornece a conversão das árvores em toras e permite avaliar o melhor uso de cada parte da árvore de acordo com sua posição no tronco, além de definir os produtos, quantidade de toras por produto, suas dimensões (comprimento e diâmetros máximo e mínimo das toras) e o volume de toras, além de outras informações, considerando as alternativas de uso preestabelecidas.

Para verificar a existência de diferença estatística para a quantidade de toras geradas para os multiprodutos entre os processos de amostragem e o censo, aplicou-

se o teste de Qui-quadrado (χ^2). Realizou-se esse teste no *software* R versão 2.15.2 (R CORE TEAM, 2017), considerando um nível de significância $\alpha=0,01$.

A partir dessa comparação, foi possível apontar qual foi, para as diferentes situações estudadas, o melhor método de amostragem para obtenção do máximo aproveitamento possível para os multiprodutos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros e da medida de precisão das equações hipsométricas e de *taper*, estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros e medida de precisão para as equações ajustadas

Equação	β_0	β_1	Syx(%)
Hipsométrica	3,54979	-5,8367	8,52
<i>Taper</i>	-	0,7774	9,22

Fonte: elaborado pela autora (2017).

A Figura 2 apresenta a análise gráfica da dispersão residual em função do DAP para o modelo hipsométrico (Curtis) e em função da altura das seções para a equação de *taper* (Ormerod). Estes modelos foram selecionados com base nas estatísticas de ajuste, e a distribuição residual não demonstrou tendências evidentes sobre a nuvem de pontos, indicando que estes modelos podem fornecer estimativas confiáveis para as variáveis analisadas.

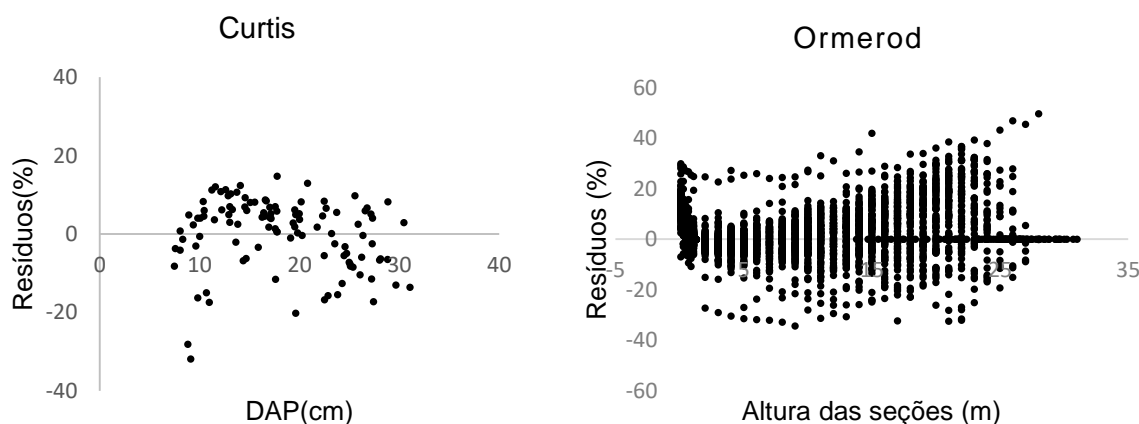


Figura 2 – Resíduos percentuais em relação ao DAP para o modelo hipsométrico (Curtis), e em função da altura das seções para o modelo de *taper* (Ormerod).

Fonte: elaborado pela autora (2017).

As Tabelas 4 e 5 apresentam a frequência de árvores e a altura total média para o censo e para os quatro processos de amostragem, agrupadas nas cinco classes diamétricas, respectivamente. Estas informações contidas em ambas as tabelas foram inseridas no programa *SigmaE* para a obtenção dos multiprodutos.

Tabela 4 – Resultados das frequências e altura total de árvores de eucalipto, agrupadas nas seis classes diamétricas, obtidos no censo

Método	Valor central da classe diamétrica (cm)	Altura total média (m)	Frequência (nº arv./ha)
Censo	9	18,9	3
	13	23,0	83
	17	24,6	971
	21	26,1	41
	25	27,5	13
	29	28,5	1

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Tabela 5 – Dados de frequência e altura total (Ht) de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, distribuídos em seis classes diamétricas, considerando os processos de amostragem testados para as cinco repetições

Método	Repetições														
	1			2			3			4			5		
	Cl	Ht	F	Vc	Ht	F	Vc	Ht	F	Vc	Ht	F	Vc	Ht	F
ACS	9			9	22,6	42	9	18,8	4	9	19,7	8	9	19,7	8
	13	23	75	13	25,6	1.042	13	23	58	13	23,2	71	13	23,2	71
	17	24,7	1.042	17	25,9	58	17	24,6	1.025	17	24,6	1.025	17	24,6	1.025
	21	25,8	4	21	27,4	4	21	25,9	42	21	26,3	17	21	26,3	17
	25	-	-	25	-	-	25	-	-	25	27,1	4	25	27,1	4
	29	-	-	29	-	-	29	-	-	29	-	-	29	-	-
AS	9			9	20,3	4	9	19,7	4	9			9		
	13	23,2	92	13	23,1	67	13	23,4	67	13	22,9	113	13	23	63
	17	24,6	1.075	17	24,6	1.054	17	24,5	1.050	17	24,6	1013	17	24,6	1.029
	21	26,1	4	21	25,7	13	21	-	-	21	25,7	8	21	25,7	17
	25	-	-	25	-	-	25	-	-	25	-	-	25	-	-
	29	-	-	29	-	-	29	-	-	29	-	-	29	-	-
AEA	9	18,7	4	9	18,7	3	9	19,325	4	9	18,7	3	9	18,7	4
	13	22,9	84	13	23,0	76	13	22,987	80	13	22,9	78	13	23,0	85
	17	24,6	987	17	24,7	971	17	24,637	989	17	24,7	979	17	24,6	977
	21	26,1	47	21	26,2	69	21	26,146	41	21	26,1	49	21	26,1	41
	25	27,5	9	25	27,5	6	25	27,3457	9	25	27,5	11	25	27,6	10
	29	29,0	1	29	-	-	29	-	-	29	-	-	29	-	-
AES	9	18,9	4	9	18,9	5	9	18,9	4	9	19,4	5	9	18,9	4
	13	23,1	95	13	23,0	90	13	23,1	160	13	23,1	165	13	23,1	112
	17	24,6	1.000	17	24,7	980	17	24,7	1.100	17	24,7	950	17	24,6	998
	21	26,1	29	21	26,2	40	21	26,1	40	21	26,1	47	21	26,0	37
	25	27,4	6	25	27,6	9	25	27,6	13	25	27,2	6	25	27,5	14
	29	28,6	3	29	-	-	29	-	-	29	28,4	1	29	28,6	3

Em que: Cl: valor central da classe diamétrica (cm); Ht: altura total (m); F: frequência de árvores por classe diamétrica; ACS: Amostragem Casual Simples; AS: Amostragem Sistemática; AEA: Amostragem Estratificada Aleatória; AES: Amostragem Estratificada Sistemática.
 Fonte: elaborado pela autora (2017).

Após o ajuste do modelo de Ormerod para descrever o afilamento do conjunto de dados, com as funções de diâmetro e altura foi possível determinar os diâmetros em posições definidas do fuste e assim otimizar o aproveitamento dos sortimentos para os diferentes usos (madeira para serraria, celulose e energia), em cada classe diamétrica, para as cinco repetições simuladas.

Os resultados da otimização considerando a conversão da tora para os multiprodutos estão apresentados em duas tabelas; a primeira (Tabela 6) mostra os resultados obtidos por meio do censo, e a segunda (Tabela 7) apresenta a quantidade de toras nas cinco repetições para os diferentes processos de amostragem testados.

Tabela 6 – Quantidade de toras para os multiprodutos (serraria, celulose e energia), considerando os resultados do censo.

Método	Produtos	Nº toras por classe diamétrica (toras/ha)					Total geral	
		9	13	17	21	25		29
Censo	Serraria	-	-	-	-	26	4	30
	Celulose	3	415	6.797	369	91	5	7.680
	Energia	12	249	1.942	82	13	1	2.299
Total geral		15	664	8.739	451	130	10	10.009

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Tabela 7 – Quantidade de toras para os multiprodutos (serraria, celulose e energia), considerando os diferentes processos de amostragem testados

Processos	Produtos	Repetições por classe diamétrica (toras/ha)					Média	Intervalo de confiança
		1	2	3	4	5		
ACS	Serraria	-	-	-	8	8	3	3±1,96
	Celulose	7.705	6.836	7.847	7.719	7.719	7.565	7.565±184,12
	Energia	2.313	3.418	2.282	2.316	2.316	2.529	2.529±222,34
Total geral		10.018	10.254	10.129	10.043	10.043	10.097	+43,44
AS	Serraria	0	0	0	0	0	0	0
	Celulose	8.021	7.834	7.689	7.728	7.818	7.818	7.818±57,54
	Energia	2.430	2.338	2.317	2.373	2.365	2.365	2.365±19,13
Total geral		10.451	10.172	10.006	10.101	10.183	10.183	+60,55
AEA	Serraria	22	18	18	20	20	20	20±1,72
	Celulose	7.824	7.843	7.759	7.707	7.707	7.768	7.768±28,53
	Energia	2.299	2.257	2.284	2.276	2.276	2.278	2.278±6,80
Total geral		10.145	10.112	10.061	10.003	10.003	10.064	+23,32
AES	Serraria	24	18	26	16	40	25	25±4,22
	Celulose	7.797	7.738	8.955	7.950	7.996	8.087	8.087±222,08
	Energia	2.339	2.299	2.749	2.469	2.402	2.452	2.452±79,54
Total geral		10.160	10.055	11.730	10.435	10.438	10.564	+245,92

Fonte: elaborado pela autora (2017).

Analisando conjuntamente os resultados obtidos na conversão das toras para serraria, celulose e energia, observa-se que a quantidade de toras obtidas pelas amostragens testadas apresentou valores totais muito próximos quando comparado com os resultados do censo (Tabela 6). Pelo censo, a quantidade total de toras produzida por hectare foi igual a 10.009 e o método que apresentou valores mais próximos a este valor de referência foi a AEA (10.064), seguida pela ACS (10.097) e AS (10.183), e por último a AES (10.614).

Entretanto, quando os produtos são analisados individualmente, observa-se que para os usos destinados à celulose e energia, o número de toras/ha é muito próximo entre as amostragens avaliadas, uma vez que os valores encontrados ficam quase dentro do intervalo de confiança estimado. Por outro lado, para o uso destinado à serraria, produto de maior bitola, esse número de toras varia bastante entre os processos avaliados. Para o censo foram verificadas 30 toras/ha para serraria, as amostragens aleatória e sistemática geraram as piores estimativas para este uso, contando com 3 e 0 toras/ha, respectivamente.

Já com a subdivisão do povoamento em estratos, os resultados se aproximam do valor de referência, cujas estimativas mostram valores equivalentes a 25 e 20 toras/ha para a serraria, para a amostragem estratificada sistemática e estratificada aleatória, nesta sequência. Autores como Soares et al. (2003), citam que a venda de madeira para serraria é a opção mais lucrativa quando comparada com a venda de madeira somente para energia ou para celulose, por ser um dos principais produtos de exportação do setor florestal (ABRAF, 2010) e por apresentar alto valor de mercado para esse produto.

A conversão de toras em multiprodutos (serraria, celulose e energia) para as amostragens testadas demonstra que o uso da madeira para celulose gera a maior quantidade de toras, corroborando com os resultados encontrados por Santos (2010), que verificou que a maior proporção de uso da madeira de eucalipto, foi para celulose (acima de 60%).

Isso pode estar atribuído à maior frequência de árvores na classe intermediária de diâmetros, em torno de 17 cm, uma vez que, os diâmetros preestabelecidos para este uso variam de 8 cm (dmin) a 40 cm (dmax). Ao passo que, os diâmetros maiores indicam árvores de maior porte, ou maior possibilidade de aproveitamento para

serraria, e o uso destinado à energia consiste no que não pode ser aproveitado pelos usos anteriormente citados.

Segundo Figueiredo Filho et al. (1992), primeiro destina-se todo o material possível para serraria, depois para celulose e então para energia. Entretanto, destinar a produção a um único uso poderá resultar em prejuízo em relação ao uso de multiprodutos, pois quanto maior o número de usos alternativos, maior será a receita total, já que partes das árvores serão alocadas para seus usos mais apropriados e mais rentáveis (LIMA, 1997; SOARES et al., 2003).

A avaliação da otimização da conversão para cada uso utilizando o teste Qui-quadrado (χ^2) (Tabela 8) foi realizada para comparar os diferentes processos de amostragem para a obtenção dos multiprodutos da madeira a fim de selecionar aquele que retorna valores iguais aos do censo, do ponto de vista estatístico.

Tabela 8 – Teste Qui-Quadrado para avaliar a quantidade de toras para os produtos em cada método de amostragem em relação ao censo

Comparação	χ^2	p-valor
Censo x ACS	33,5308*	<0,0001
Censo x AS	30,6656*	<0,0001
Censo x AEA	2,4358 ^{ns}	0,2958
Censo x AES	0,9161 ^{ns}	0,6325

Onde: ACS: Amostragem Casual Simples; AS: Amostragem Sistemática; AEA: Amostragem Estratificada Aleatória; AES: Amostragem Estratificada Sistemática; χ^2 : Valor de Qui-Quadrado; χ^2_{tab} : 2,8693; ns: não significativo pelo teste χ^2 ; *: significativo a 1% pelo teste χ^2 .

Fonte: elaborado pela autora (2017).

O teste de χ^2 , ao nível de 99% de probabilidade para os multiprodutos avaliados, evidencia que a quantidade de toras destinadas para serraria, celulose e energia, obtidas pela amostragem estratificada aleatória e estratificada sistemática são estatisticamente iguais aos valores do censo, ao passo que, para as amostragens aleatória simples e sistemática, o teste foi altamente significativo (p-valor <0,0001), indicando que a utilização desses processos de amostragem geram estimativas do número de toras diferentes do censo, portanto menos precisas.

Estes resultados podem estar atribuídos à forma de locação das parcelas em cada processo de amostragem, visto que na ACS as parcelas são distribuídas de maneira totalmente aleatória na área, existindo um risco de unidades amostrais serem locadas ou não na borda. Na amostragem sistemática, somente a primeira unidade

amostral é sorteada e as demais distribuídas de maneira equidistante na área em função dessa, havendo também um certo risco de parcelas serem locadas ou não na borda do povoamento. Como a área de borda representa aproximadamente 24% da área total, as chances de serem locadas um maior número de parcelas no interior é maior, com isso as amostragens casual simples e sistemática não captam o efeito das árvores de borda para os multiprodutos da madeira.

Contudo, para ambas as amostragens estratificadas, o talhão foi dividido em dois estratos (borda e interior), e houve o lançamento de seis parcelas em cada situação. É importante observar que, quando as árvores que se encontram nas bordas do povoamento desenvolvem mecanismos de adaptação, como, por exemplo, um sistema radicular mais extenso, isso conseqüentemente acarreta em uma maior captação dos recursos disponíveis e, portanto, o crescimento pode ser mais acentuado. Além disso, a maior exposição à radiação solar pode resultar em um incremento diamétrico mais significativo (RODRIGUES, 1998).

Com a estratificação do povoamento e criando-se um estrato para a borda, esse efeito de não amostragem de borda é eliminado, havendo uma melhor captação das variações diamétricas existentes nos estratos borda e interior e uma representação mais fidedigna do povoamento estudado para os sortimentos.

De posse desses resultados, constata-se que apesar da borda ser uma estreita faixa que circunda todo o povoamento, ela é bastante representativa em termos de diâmetro, dispondo de maior quantidade de produtos para os diferentes usos da madeira (TOMÉ, 2007), uma vez que, a não amostragem dessas bordas ou mesmo a utilização de processos que não consigam captar as suas variações diamétricas, como é o caso dos processos tradicionais de amostragem estudados, tende à subestimativas para a quantidade de toras geradas com os diferentes usos da madeira.

Logo, a estratificação em povoamentos em que se verifica a existência do efeito de borda, gera resultados mais precisos para os sortimentos, em detrimento dos demais processos de amostragem. No entanto, carecem de estudos relacionados ao efeito de borda e quais as conseqüências deste sobre as variáveis dendrométricas para a obtenção de multiprodutos em povoamentos homogêneos, para que seja possível desenvolver um plano de manejo florestal adequado, destinado à utilização

da floresta de maneira que obtenha o máximo aproveitamento dos recursos e rentabilidade econômica no mercado consumidor, além da vantagem de uma maior flexibilidade quanto à comercialização de produtos com diferentes valores de mercado e variações em relação à demanda, ao longo dos anos.

Portanto, uma opção para as empresas florestais é utilizar a floresta sob o conceito de multiprodutos e aplicar a amostragem estratificada a partir da geração de uma borda, para que as estimativas fiquem mais precisas.

4 CONCLUSÃO

- As árvores da borda dos povoamentos exercem influência significativa na estimativa dos multiprodutos da madeira para o produto de maior bitola.
- As amostragens estratificada aleatória e sistemática geram estimativas mais precisas para a obtenção da quantidade de toras para os multiprodutos quando comparadas com as amostragens aleatórias simples e sistemática.
- A não amostragem dessas bordas acarreta em erros de estimativas para os sortimentos e podem gerar prejuízos financeiros para as empresas florestais.

REFERÊNCIAS

- ABRAF – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS**. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010, 140 p.
- ASSIS, A. L.de; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.de. Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.
- CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013, 605 p.
- CHICHORRO, J. F. **Análise estrutural e econômica de multiprodutos da madeira**. Viçosa-MG: UFV, 2000, 241 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.
- CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T.; KIKUTI, P. Avaliação econômica da resinagem em floresta de *Pinus elliottii*. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - **IPEF**, Piracicaba, v. 45, p. 48-63, 1992.
- FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.; ACERBI, F. W. J. R.; MELLO, J. M.; MAESTRI R. Exatidão dos modelos polinomiais não segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.
- FONSECA, D. S. R. Um breve diagnóstico ambiental do parque estadual de Grão Mogol (MG) e seu contexto espacial. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, set. 2010, p. 260-274.
- HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: J. Willey & Sons, 1982, 397 p.
- KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.H.G. Taper functions and their application in forest inventory. **Forest Chronicles** v. 45, n. 4, p. 1-6, 1969.
- LEAL, F. A.; CABACINHA, C. D.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Amostragem de árvores de *Eucalyptus* na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 91-103, 2015.

LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; PAULA JUNIOR, G. G. Emprego de um modelo de programação dinâmica para conversão de troncos em multiprodutos da madeira. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 447-465, 1995.

LIMA, D.G.; LEITE, H.G.; PAULA JUNIOR, G.G.; SOUZA, A.L. Um modelo de suporte a decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 35-48, 1997.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed., 1.^a reimpressão, Guarapuava: UNICENTRO, 2009, 309 p.

MARTINS, A. P. M. **Evolução da forma do tronco e do sortimento em plantios de Araucaria angustifolia (bertol.) kuntze na região centro-sul do Paraná**. Curitiba, PR: UFPR, 2016, 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

MENDONÇA, A. R. **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de Eucalyptus sp. em função da qualidade do fuste**. Alegre-ES: UFES, 2006, 90 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

MME - Ministério de Minas e Energia. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Vale do Jequitinhonha: **Diagnóstico do Município de Grão Mogol-MG**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 22 Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Ministério de Minas e Energia, 2005.

MIRANDA, L. P. **Efeito de borda no inventário pré-corte de um povoamento Eucalyptus sp.** Diamantina-MG: UFVJM, 2016, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

MÔRA, R.; SILVA, G. F.; GONÇALVES, F. G.; SOARES, C. P. B.; CHICHORRO, J. F.; CURTO, R. D. A. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 237-249, 2014.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**, Curitiba: Edição Autores, 1997, 316 p.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 22/11/ 2016.

RODRIGUES, E. **Edge effects on the regeneration of forest fragments in south Brazil**. Cambridge: Massachusetts, 1998, 172 p. Tese (Departament of Organismic and Evolutionary Biology) – Harvard University.

SANTOS, F. R. **Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos**. Jerônimo Monteiro-ES: UFES,

2010, 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo.

SANTOS, J. S. **Estratificação de florestas de eucalipto com base na forma do fuste das árvores**. Jerônimo Monteiro-MG: UFES, 2014, 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUSA, A. L. **Dendrometria e inventário Florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 276 p.

SOARES, N. S.; Silva, F. L.; Silva, M. L.; Aziz Silva Júnior, A. G.; Lírio, V. S. Viabilidade da implantação de um contrato de comercialização futura da madeira de reflorestamento no Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 331-336, 2007.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

TOMÉ, M. **Inventário de Recursos Florestais – Volume II**. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia Centro de Estudos Florestais. 2007. Disponível em: <[http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/inventario%20florestal/Caracterizacao de Povoamentos-20080229.pdf](http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/inventario%20florestal/Caracterizacao%20de%20Povoamentos-20080229.pdf)>. Acesso em: 16 de abril de 2017.

3 CONCLUSÕES GERAIS

A escolha do processo de amostragem é um fator decisivo em trabalhos de inventário florestal, pois as empresas buscam aliar o aumento na precisão das estimativas das variáveis de interesse com o menor tempo e custo na execução do trabalho. Entretanto, na área florestal, ainda existe uma lacuna no conhecimento sobre a influência que as árvores de borda exercem sobre os plantios homogêneos e a consequência delas sobre as variáveis dendrométricas, o que torna duvidosa a forma de lançamento das parcelas e qual o melhor método de amostragem dessas bordas para que as estimativas das variáveis de interesse tornem-se confiáveis.

Nesse sentido, o emprego das diferentes amostragens para a obtenção do volume real do povoamento estudado indicou que não houve diferença significativa entre a amostragem casual simples, amostragem sistemática e amostragem estratificada (aleatória e sistemática) quando comparados com o volume obtido por meio do censo, podendo utilizar qualquer um desses processos de amostragem, a depender do objetivo, da precisão requerida e do tempo de realização do trabalho. Além disso, observou-se que o volume obtido na borda é 4% maior que no interior do povoamento e só é expressivo até 15 m de profundidade ou até a quarta árvore da linha no sentido borda-interior, sendo que, a partir dessa distância, este efeito de borda torna-se nulo.

Entretanto, quando foi testada a influência das árvores de borda para a obtenção dos multiprodutos para os mesmos processos de amostragem, observa-se que a estratificação gera estimativas da quantidade de toras mais precisas ao valor de referência obtido pelo censo. Logo, a não amostragem dessas bordas acarreta em erros de estimativas para os sortimentos e, com isso, prejuízos financeiros para as empresas florestais.

Os resultados do estudo evidenciam que não há necessidade de forçar uma amostragem da borda para estimativas de volume do povoamento, no entanto, ao analisar a influência das árvores de borda nos multiprodutos, verificou-se que existe diferença na quantidade de produtos obtidos e o melhor método para captar as variações diamétricas do povoamento consiste na amostragem estratificada.

Portanto, para o produtor que maneja povoamentos florestais para um único produto, não é necessário amostrar a borda, já para aquele que maneja visando um aproveitamento do povoamento para multiprodutos, este efeito é significativo.

REFERÊNCIAS

ACR – **Associação catarinense de empresas florestas plantadas**. Anuário Estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 ano base 2015. Santa Catarina: 2016, 108 p. Disponível em: <http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR_2016.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ASSIS, A. L. de. **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. Lavras-MG: UFLA, 2000, 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

ASSIS, A. L. de; SCOLFORO, J. R. S. ; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.

AUGUSTYNCZIK, A. L.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S. Avaliação do tamanho de parcelas e de intensidade de amostragem em inventários florestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 361-368, set. 2013.

BARROS, F.A. **Efeito de borda em fragmentos de floresta montana, Nova Friburgo-RJ**. Niterói-RJ: UFF, 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense.

BERTOLA, A. **Uso de fotografias digitais para quantificar o volume sólido de madeira empilhada**. Viçosa-MG: UFV, 2002, 47 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013.

BONETES, L. **Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma floresta ombrófila mista**. Curitiba-PR: UFPR, 2003, 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. Lavras-MG: UFLA, 2003, 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013, 605 p.

CARVALHO, A. M. de. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha.** Piracicaba-SP: USP, 2000, 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais) – Universidade de São Paulo.

CERDEIRA, A. L. N. **Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*.** Brasília-DF: UNB, 2012, 66 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília.

CESARO, A. D.; ENGEL, O. T.; FINGER, C. A. G; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus* sp. **Revista Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.

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

CORRÊA, B. S.; ALVES, J. M. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 1, p. 149-161, 2007.

CUNHA, U. S. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Série Técnica. Escola Agrotécnica Federal de Manaus, Manaus, 2004, 61 p.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. **Biotropica**, v. 31, n. 1, p. 17-30, 1999.

DINIZ, F. S. **Métodos de amostragem e geoestatística aplicados ao inventário florestal.** Lavras-MG: UFLA, 2007, 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

DODONOV, P.; HARPER, K. A. ; SILVA-MATOS, D. M. . The role of edge contrast and forest structure in edge influence: vegetation and microclimate at edges in the Brazilian cerrado. **Plant Ecology** (Dordrecht), v. 214, p. 1345-1359, 2013.

FARIAS, C, A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Comparação de Métodos de Amostragem para Análise Estrutural de Florestas Inequiâneas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, 2002.

FERREIRA, B. R. C. **Comparação da estrutura de comunidade arbórea entre borda e interior de um fragmento de mata atlântica do sul de Minas Gerais.**

Alfenas-MG: UNIFAL, 2007, 37 p. Monografia (Graduação em ciências biológicas) – Universidade Federal de Alfenas.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.; ACERBI, F. W. J. R.; MELLO, J. M.; MAESTRI R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

FISCHER, A.; SURDI, A. P.; JUNIOR, S. S.; WINCK, C. A. A Silvicultura Madeireira na Secretaria de Desenvolvimento Regional de Joaçaba. **Editora Unijuí**, v. 13, n. 29, p. 225-256, 2015.

FICK, T. A. Amostragem para inventário florestal em sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 5, p. 1033-1038, 2011.

FRANCEZ, L. M. 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**. Secretaria do Meio Ambiente, Belém, 2010, 66 p.

GAMA, A. T.; CABACINHA, C. D.; MEIRA, M. R.; LEITE, M. V. S. Estimativas Volumétricas y Hipsométricas para el Barbatimão en el Norte de Minas Gerais. FLORAM, **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 483-493, 2015.

GOULDING, C. J.; MURRAY, J. C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. New Zealand. **Journal of Forest Science**, v. 5, n. 3, p. 313-322, 1976.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 170-180, 1992.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000, 846 p.

HARPER, K.; MACDONALD, E.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D.; JAITEH, M. S.; ESSEEN, A. P-A. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, Boston, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3 ed. New York, The Ronald Press Company, 1982, 402 p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I; KERSHAW, J. **Forest Mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2003, 443 p.

IBÁ – Indústria Brasileira de produtores de Árvores. **Relatório IBÁ 2016 ano base 2015**. Brasília: 2015. 80 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: 2015, 46 p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2015_v30.pdf>. Acesso em 10 de abril 2017.

KANEGAE JÚNIOR, H. **Avaliação de sistema de inventários sucessivos e dos interpoladores espaciais como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp.** Lavras-MG: UFLA, 2004, 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por classes de Idade. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 470-479, 2013.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **The Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; MERONA. J. M. R.; LAURANCE, S. G. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 2032-2040, 1998.

LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; MERONA. J. M. R.; LAURANCE, S. G. LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**. v. 1, p. 434-451, 2009.

LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R. Pesquisa e desenvolvimentos em inventário, mensurações e manejo florestal na CENIBRA. Viçosa, MG: **Sociedade de Investigações Florestais**, 2001, 49 p. (Relatório Técnico, SIF).

LEITE, H. G. **Conversão de tronco em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. Viçosa-MG: UFV, 1994, 230 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, p. 89-98, 2006.

LIMA, D. G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. Viçosa-MG: UFV, 1996, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, G. C. P. **Comparação de diferentes métodos de cubagem de madeira de povoamento de *Pinus taeda* I. na região serrana de Santa Catarina**. Lages-SC:

UESC, 2015, 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) – Universidade Estadual de Santa Catarina.

LIMA-RIBEIRO, M. S. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 2, p. 535-545, 2008.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. München, 1973, 436 p.

LÜPKE, N.V.; SABOROWSKI, J. Combining double sampling for stratification and cluster sampling to a three-level sampling design for continuous forest inventories. **European Journal of Forest Research**, New York, v. 133, n. 1, p. 89-100, 2014.

MACHADO, S. A. Complete enumeration Forest inventory versus cluster sampling method applied in the Amazonie Rain Forest. **Revista Floresta**, v. 18, n. 1-2, p. 122-130, 1988.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M.; BARROS, D. A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil. **Cerne**, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2000.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003, 309 p.

MASSAROTH, C. M. **Comparação da eficiência relativa paramétrica e de índices fitossociológicos entre dois sistemas de inventários florestais na floresta ombrófila mista no estado de Santa Catarina**. Curitiba-PR: UFPR, 2016, 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. Piracicaba-SP: USP, 2004, 122 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo.

MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S.; BATISTA, J. L.F.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; KANEGAE JUNIOR, H. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.36, n. ½, p. 251-260, 2006.

MELLO, J. M.; DINIZ, F. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO C. R. de; SCOLFORO, J. R. S.; JUNIOR, F. W. A. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 1, p. 185-194, 2009.

MENDES, L. M.; LOSCHI, F. A. P.; RAMOS E PAULA, L. E.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. MORI, F. A. Potencial de utilização da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 69-75, 2011.

MENDONÇA, A. R. **Avaliação de uma metodologia para a otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste**. Alegre-

ES: UFES, 2006, 109 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; ARCE, J. E.; MAESTRI, R. Avaliação de um sistema para otimização do sortimento de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 247-258, 2008.

MEUNIER, I. M. J.; SILVA, J. A. A. da; FERREIRA, R. L. C. **Inventário florestal: programas de estudo**. Recife: Imprensa universitária da UFRPE, 2002, 189 p.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014.

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**, v. 11, n. 03, p. 01-08, 2015.

MIRANDA, L. P. **Efeito de borda no inventário pré-corte de um povoamento *Eucalyptus* sp.** Diamantina-MG: UFVJM, 2016, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Florestas, PNF. Brasília: MMA/SBF/DIFLOR, 2000. 52p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_pnf/_arquivos/est_pnf_port.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

MURTA-JÚNIOR, L. S. **Avaliação do método de similaridade dos perfis e de redes neurais artificiais na estimação do volume de árvores**. Diamantina-MG: UFVJM, 2013, 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

NEWMARK, W. D. 2001. Tanzanian forest edge microclimatic gradients: Dynamic patterns. **Biotropica**, v. 33, p. 2-11, 2001.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2008, 612 p.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; CARVALHO, D. A.; FONTES, M. A. L.; VAN DEN BERG, E.; CURI, N.; CARVALHO, W. A. C. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 2, p. 291-309, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; CARVALHO, W. A. C.; MACHADO, E. L. M.; HIGUCHI, P.; APPOLINÁRIO, V.; CASTRO, G. C.; SILVA, A. C.; SANTOS, R. M.; BORGES, L. F.; CORRÊA, B. S.; ALVES, J. M. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da

borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 149-161, 2007.

OLIVEIRA, A. C. **Geotecnologia na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus spp.*** Lavras-MG: UFLA, 2006, 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras.

OOSTERHOORN, M.; KAPPELLE, M. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. **Forest Ecology and Management**, v. 126, p. 291-307, 2000.

ORMEROD, D.W. A simple bole model. **The Forest Chronicle**, v. 49, n. 3, p. 136-138, 1973.

PALIK, B.; MURPHY, P.G. Disturbance versus edge effects in sugar: maple/beech forest fragments. **Forest Ecology and Management**, v. 32, p. 187-202, 1990.

PARENT, D. R.; MOORE, J. A. A stand volume equation for cruising small-diameter material. **Journal of Forestry**, v. 110, n. 5, p. 5-6, 2003.

PEINHOPF, C. **Determinação de variáveis dendrométricas de *Eucalyptus urograndis* com dados LiDAR aerotransportado.** Irati-PR, 2012, 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual do Centro Oeste.

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

PUNTES, R. S. E. S. **Expansão das florestas plantadas com fins energéticos no Brasil e sua influência nas emissões dos gases de efeito estufa – GEE: análise de dois cenários futuros.** Rio de Janeiro-RJ: UFRJ, 2010, 147 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benthem em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

RODRIGUES, P. J. F. P.; NASCIMENTO, M. T. Fragmentação florestal e efeitos de borda. **Rodriguésia**, v. 57, n. 1, p. 63-74, 2006. Disponível em: <http://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/rodrig57_1/05-Pablo.pdf> Acesso em: 25 maio 2015.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. P. S.; DONIZETTE, D. A.; MELLO, J. M. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.

SANQUETTA, C. A.; DALLA-CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; WATZALAWICK, L. F. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. 3.ed. Curitiba: Multi-graphic gráfica e editora, 2014, 406 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. Curitiba, 2006, 270 p.

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; DALLA CORTE, A.P.; FERNANDES, L.A.V.; SIQUEIRA, J.D.P. **Inventários florestais: Planejamento e execução**. 2. ed. **Revista e ampliada**, Curitiba, 2009.

SANTANA, C. J. O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações desbastadas de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição weibull**. Curitiba-PR: UFPR, 2008, 115 p. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná.

SANTOS, M. D. dos. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Botucatu-SP: UNESP, 2011, 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual Paulista.

SANTOS, J. S. **Estratificação de florestas de eucalipto com base na forma do fuste das árvores**. Botucatu-SP: UNESP, 2014, 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita.

SARTORI, M. S. **Proposta de otimização para reflorestamento de eucalipto utilizando multiprodutos**. Jerônimo Monteiro-ES: UFES, 2013, 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Curitiba-PR: UFPR, 1990, 290 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; LIMA, C.S.A. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 123-134, 1993.

SCOLFORO, J. R. S.; MELO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006, 561 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998, 443 p.

SÉ, D. C.; MELLO, J. M.; SCALON, J. D.; MUNIZ, J. A.; OLIVEIRA, M. S.; SCOLFORO, J. R. Use of the correlation coefficient between plots in order to improve the accuracy of forest inventories. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 575-580, 2013.

SILVA, J.N.M. **Manejo Florestal**. Embrapa Amazônia Oriental, 3. ed. Belém, 2001, 49 p.

SILVA, S. T. **Estratificação da fitofisionomia cerrado para inventário florestal utilizando geotecnologia**. Lavras-MG: UFLA, 2009, 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras.

SILVA FILHO, D.F.; VEIGA, A.P.B.; POLIZEL, J. L.; COUTO, H.T.Z. ; BATISTA, J. L. F. . Efeito de borda no inventário dos maciços de Eucalipto do Parque Ibirapuera por meio do uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, p. 81-100, 2007.

SIF – Serviço Florestal Brasileiro. SAG-florestal: Os Mercados de Produtos Florestais no Brasil: Brasília: 2017. Disponível em:< <http://www.florestal.gov.br/snif/noticias-do-sfb/sag-florestal-os-mercados-de-produtos-florestais-no-brasil>>. Acesso em: 26 set. 2016.

SOARES, C.P.B; PAULA NETO, B.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2011, 272 p.

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. Viçosa-MG: UFV, 2002, 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. Avaliação de modelos de afilamento segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, v. 32 n. 3 Viçosa, 2008.

SOUZA, E. P.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R. Desempenho do setor florestal para a economia brasileira: uma abordagem da matriz insumo-produto. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, Viçosa, 2010.

SOUZA, C. A. M. de; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SILVA, G. F. da; THOMAS, C. Eficiência de um modelo de afilamento ajustado sem e com estratificação por classe de quociente de forma para formação dos sortimentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 125 - 135, 2012.

SOUZA, H.S.; CHAVES, A.G.S.; VENDRUSCOLO, D.G.S.; SILVA, R.S.; MOTTA, A.S. Processos de amostragem para estimativa de produção em plantio de Teca. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 2, n. 3, 2015.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952, 453 p.

TOMÉ, M. **Inventário de Recursos Florestais – Volume II**. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia Centro de Estudos Florestais. 2007. Disponível em: <[http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/inventario%20florestal/Caracterizacao de Povoamentos-20080229.pdf](http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/inventario%20florestal/Caracterizacao%20de%20Povoamentos-20080229.pdf)>. Acesso em: 28 de mar. 2015.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to special studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1987.

UBIALLI, J. A. **Comparação de métodos e processos de amostragem para estudos fitossociológicos e estimativas de estoque de uma floresta ecotonal na Região Norte Matogrossense**. Curitiba-PR: UFPR, 2009, 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

YOSHITANI JÚNIOR, M.; NAKAJIMA, N. Y.; ARCE, J. A.; MACHADO, S. A. do.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 169 - 176, 2012.