



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MARCOS FELIPE DE OLIVEIRA VALERIANO**

**A modelagem da produção em nível de distribuição  
diamétrica e povoamento total de *Eucalyptus*  
*urophylla* são compatíveis?**

Brasília

2017

**MARCOS FELIPE DE OLIVEIRA VALERIANO**

**A modelagem da produção em nível de distribuição  
diamétrica e povoamento total de *Eucalyptus*  
*urophylla* são compatíveis?**

MARCOS FELIPE DE OLIVEIRA VALERIANO

Orientador: Dr. Éder Pereira Miguel

Trabalho Final de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Florestal da  
Universidade de Brasília, como  
Requisito Parcial obtenção do grau  
de Engenheiro Florestal.

Brasília  
2017

# A modelagem da produção em nível de distribuição diamétrica e povoamento total de *Eucalyptus urophylla* são compatíveis?

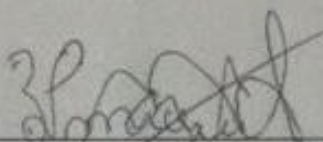
Estudante: Marcos Felipe de Oliveira Valeriano

Matrícula: 11/0150554

Orientador: Prof. Dr. Éder Pereira Miguel

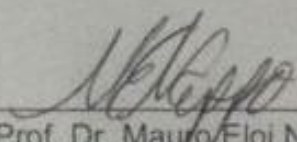
Menção: SS

Brasília, 03 de julho, 2017.



---

Prof. Dr. Éder Pereira Miguel  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador



---

Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Examinador



---

Eng. Florestal M. Sc. Ilvan Medeiros Lustosa Júnior  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Examinador

Julho 2017

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, pelo incentivo e força, pelo amor incondicional e suporte em todos os momentos de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por guiar meu caminho e dar forças para superar os desafios dessa vida.

Aos meus pais, Maria Zilda e Marleno Valeriano, por estarem sempre ao meu lado, educando, motivando e incentivando em todas as etapas de minha vida e por todos os sacrifícios que fizeram e fazem pela felicidade dos filhos. Agradeço também aos meus irmãos Michel, Markely e Matheus, por acreditarem e apoiarem os meus sonhos.

Ao orientador Éder pelo excelente suporte, comprometimento e direcionamento durante todo esse período de trabalho de conclusão de curso, ao compartilhar o seu conhecimento indicando os caminhos para alcançar os objetivos.

A minha namorada Any, por todo amor e carinho compartilhado nos momentos em que estamos juntos, tornando minha vida mais feliz.

Aos meus amigos de curso que sempre estiveram ao meu lado, Priscilla, Fabíula, Lamare, Patrícia, Lucas, Larissa e a todos aqueles que proporcionaram muitos momentos alegres durante o período acadêmico.

À ECOFLOR pelo aprendizado e experiências vividas, também pelas pessoas incríveis que encontrei lá, dentre elas minhas amigas de Adm&Fin, Biazete, Fernanda e Juliana.

Aos meus amigos de longa caminhada, Railton Vanes, Rayan, Rodrigo, Damião e Alan por todos os momentos alegres compartilhados com vocês.

Agradeço também a todos os professores do Departamento de Engenharia Florestal, pelo conhecimento e capacitação transmitidos ao longo do curso.

Enfim, agradços a todos que de alguma maneira participaram da minha vida pessoal e profissional.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência e comparar as estimativas geradas pelos modelos em nível de distribuição diamétrica (MDD), ajustada pela função Weibull 2 parâmetros, e por povoamento total (MPT), advindas do ajuste completo e simultâneo, na projeção do crescimento e produção do povoamento, frente ao inventário pré-corte. Foram avaliados dados de 30 parcelas permanentes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, sendo 24 parcelas destinadas para o ajuste dos modelos e 6 parcelas para validação. O volume de madeira por hectare foi estimado para diferentes unidades produtivas (Sítios) e tendo sete anos (7) como a idade de referência. A qualidade dos ajustes para os modelos foi verificada pelas estatísticas de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro padrão da estimativa ( $Syx\%$ ), análise gráfica da distribuição residual, histograma de frequência em classes de erros relativos e validação. A Função Weibull 2P, embora demonstrou aderência aos dados, quando realizado a evolução das árvores em classes de diâmetros para a idade de referência (7) nas diferentes classes de produtividade, gerou estimativas imprecisas do número de indivíduos, e conseqüentemente, estimativas não precisas da produção volumétrica, conforme demonstrado pelo teste de Tukey, indicando assim que o MDD não se adequou ao povoamento. O MPT proporcionou projeções confiáveis da produção em volume nas distintas classes de produtividades, para os dois tipos de ajuste, mostrando compatibilidade ao inventário pré-corte, conforme o teste de Tukey. Logo, a MPT gerou estimativas confiáveis com o inventário pré-corte, enquanto que as estimativas do MDD foram incompatíveis com o mesmo.

**Palavras-chave:** Compatibilidade; modelo de Clutter; Weibull; *Eucalyptus urophylla*.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the efficiency and to compare the estimates generated by the models at the level of diametric distribution (MDD), adjusted by the Weibull function 2 parameters and whole stands (MPT), results from the complete and simultaneous adjustment in the growth and yield projection compared to the pre-cut inventory. Data from 30 permanent plots were evaluated in a *Eucalyptus urophylla* stand, with 24 plots destined to adjust the models and 6 plots for validation. The volume of wood per hectare was estimated for different productive units (Sites) and having seven years (7) as the reference age. The quality of the adjustments of the models was verified by adjustment and precision statistics: coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of the estimate ( $Sy_x\%$ ), graphical analysis of the residual distribution, histogram of frequency in classes of relative errors and validation. The Weibull 2P Function, although it showed adherence to the data, but when it tried to estimate the evolution of trees in diameters classes for the reference age (7) and in the different productive classes, it generated imprecise estimates of the number of individuals, and consequently, non-precise estimates of the Volumetric production, as demonstrated by the Tukey test, thus indicating that the MDD was not adequate to the stand. The MPT provided reliable projections of the volume production in the different classes of productivities, for the two types of adjustment, showing compatibility to the pre-cut inventory, according to the Tukey test. Therefore, the MPT generated reliable estimates with the pre-cut inventory, whereas the estimates of the MDD were incompatible with the same.

**Keywords:** Compatibility; Clutter's model; Weibull; *Eucalyptus urophylla*.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>12</b>
2.1 GERAL .....	12
2.2 ESPECÍFICO .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1 ESPÉCIE ESTUDADA.....	13
3.2 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	14
3.1.1 Função Weibull.....	<b>15</b>
3.3 MODELO DE POVOAMENTO TOTAL .....	16
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	17
4.2 COLETA DE DADOS E OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS.....	18
4.3 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA .....	19
4.4 MODELO DE POVOAMENTO TOTAL .....	22
4.1.1 Modelo de Clutter Completo.....	22
4.1.2 Modelo de Clutter Simultâneo .....	22
4.5 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS MODELOS.....	23
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>24</b>
5.1 MODELAGEM EM NÍVEL DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	24
5.2 MODELAGEM EM NÍVEL DE POVOAMENTO TOTAL.....	40
5.1.1 Modelo de Clutter Completo.....	40
5.1.2 Modelo de Clutter simultâneo.....	42
<b>6. COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS</b> .....	<b>44</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>49</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Distribuição diamétrica observada e predita pela função Weibull 2P para o Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3 (C) do povoamento.....	25
<b>Figura 2</b> - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre o volume estimado e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para o Gama2 (1), Beta2 (2) e N2 (3). .....	28
<b>Figura 3</b> - Distribuição dos resíduos (%) (A), correlação entre a altura predita e observado (B) e o histograma de frequência em classes de erros relativos (C) do Sítio 1 (1), Sítio 2 (2) e Sítio 3 (3) para o modelo de Richards.....	30
<b>Figura 4</b> - Distribuições diamétricas observadas e preditas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no Sítio 1.....	32
<b>Figura 5</b> - Distribuições diamétricas observadas e preditas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no Sítio 2.....	33
<b>Figura 6</b> - Distribuições diamétricas observadas e preditas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no sitio 3. ....	34
<b>Figura 7</b> - Evolução diamétrica do Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3 (C) estimado pela função Weibull 2P para as idades 36, 48, 60 e 72 meses.....	36
<b>Figura 8</b> - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre o volume estimado e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para o modelo de Clutter completo. ....	41
<b>Figura 9</b> - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre variável predita e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para área basal (1) e volume (2) do modelo de Clutter simultâneo. ....	43
<b>Figura 10</b> - Volume de madeira observado (inventário pré-corte) e estimado pelos modelos de MDD, Clutter completo e simultâneo para o Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3(C).....	47

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DA VARIÁVEL ALTURA. ....	21
<b>TABELA 2</b> – PARÂMETROS DA FUNÇÃO WEIBULL 2P PARA CADA SÍTIO E SUAS RESPECTIVAS PROBABILIDADES. ....	24
<b>TABELA 3</b> - EQUAÇÕES QUE EXPRESSAM OS PARÂMETROS ESTIMADOS PELA FUNÇÃO WEIBULL 2P DO POVOAMENTO.....	26
<b>TABELA 4</b> - EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE PRECISÃO. ....	29
<b>TABELA 5</b> - FREQUÊNCIA PREDITA DO NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE AOS 72 MESES POR CLASSE DE DIÂMETRO E POR SÍTIO.....	37
<b>TABELA 6</b> - PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA PROJETADA A IDADE DE 72 MESES PARA O SÍTIO 1, 2 E 3. ....	39
<b>TABELA 7</b> - ESTATÍSTICAS ESTIMADAS PARA O MODELO DE CLUTTER COMPLETO. ....	40
<b>TABELA 8</b> - COEFICIENTES AJUSTADOS PARA O MODELO DE CLUTTER COMPLETO. ....	40
<b>TABELA 9</b> – ESTATÍSTICAS DOS AJUSTES E PRECISÃO DO MODELO DE CLUTTER SIMULTÂNEO. .....	42
<b>TABELA 10</b> – COEFICIENTES ESTIMADOS PELAS EQUAÇÕES DE CLUTTER EM DOIS ESTÁGIOS PARA ÁREA BASAL E VOLUME PARA O VOLUME. ....	43
<b>TABELA 11</b> - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS MODELOS. ....	44
<b>TABELA 12</b> – RESULTADOS DO TESTE DE TUKEY PARA OS BLOCOS (SÍTIOS) E TRATAMENTOS (MODELOS).....	45
<b>TABELA 13</b> – VOLUME MÉDIO ( $M^3 HA^{-1}$ ), ERRO (%) E INTERVALO DE CONFIANÇA DOS TRATAMENTOS AVALIADOS.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de florestas plantadas tornou-se, nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global. Com uma área de 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas, é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no País e um dos que apresenta maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (IBÁ, 2016). No ano de 2015, a produção primária florestal somou 18,4 bilhões de reais, sendo que a silvicultura participou com 74,3% (R\$ 13,7 bilhões) do total, enquanto a extração vegetal colaborou com 25,7% (R\$ 4,7 bilhões), segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016).

Dentre as espécies plantadas no Brasil, destaca-se o gênero *Eucalyptus* que possui cerca de 72% da área ocupada das florestas plantadas, o equivalente a 5.630.607 hectares (IBÁ, 2016). Devido a versatilidade do material a madeira de muitas espécies de eucalipto, tem sido utilizada para diversas finalidades, como produção de lenha, estacas, moirões, celulose e papel, dormentes, chapas de fibras e de partículas, fabricação de casas e móveis (PEREIRA et al., 2000). Neste cenário, nota-se então a importância deste gênero para as indústrias de base florestal, atendendo a demanda de madeira para diferentes usos, contribuindo também para minimizar a pressão exercida sobre as florestas nativas.

A produção em povoamentos florestais é estimada utilizando modelos que simulam a dinâmica natural e preveem a produção ao longo do tempo, considerando diferentes possibilidades de exploração (VANCLAY, 1994). Para aproveitar melhor o potencial dessas florestas, é importante utilizar modelos ou técnicas que fornecem previsões acerca do crescimento e produção, dando estrutura para a gestão do povoamento para as indústrias florestais.

Segundo Campos e Leite (2013), em função do nível de detalhamento desejado, os modelos de crescimento e produção podem ser classificados como os do tipo povoamento total (MPT), de árvores individuais (MAI) e de distribuição de diâmetros (MDD).

No MDD, a distribuição diamétrica é a ferramenta mais simples e poderosa para caracterizar a estrutura de uma floresta, pois se correlaciona com outras variáveis importantes da floresta como altura, volume, e tipificação de produtos. Ao modelar

uma floresta em nível de classes de diâmetro se faz necessário utilizar uma função densidade de probabilidade (f.d.p.) que descreve o comportamento atual e futuro da distribuição dos diâmetros em classes de amplitude previamente determinados (ARAÚJO JR. et al., 2013; AZEVEDO et al., 2016).

Quando se trabalha com a f.d.p existem diferentes funções e formas de obtenção de seus parâmetros, as quais são geralmente utilizadas para caracterização da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos (CAO, 2004; NOGUEIRA et al., 2005; PALAHÍ et al., 2007; BINOTI et al., 2010; AZEVEDO et al, 2016). A f.d.p. de Weibull é atualmente a mais utilizada no setor florestal (BINOTI et al., 2010; MIGUEL et al., 2010; AZEVEDO et al.,2016), devido sua flexibilidade para assumir diferentes formas e assimetrias, sendo uma condição favorável para se aplicar no ajuste de dados provenientes de diferentes locais (SOARES et al., 2010; WENDLING et al., 2011; CAMPOS; LEITE, 2013).

Os modelos em nível de povoamento total (MPT) estimam o crescimento e, ou, a produção a partir de atributos em nível de povoamento, como idade, área basal e índice de local (CAMPOS; LEITE, 2013). Para simular o crescimento de um povoamento, o MPT requer relativamente poucas informações, mas que geram conseqüentemente informações mais gerais sobre a predição do futuro do povoamento (VANCLAY, 1994). As principais relações funcionais utilizadas no modelo estão relacionadas principalmente aos modelos de Buckman (1962), Clutter (1963) e Schumacher (1939) (CAMPOS; LEITE, 2013).

Nesse contexto, a modelagem de crescimento e produção em nível de distribuição diamétrica e povoamento total seriam compatíveis para estimar o volume de um plantio de *Eucalyptus urophylla*? E qual modelo melhor descreve a produção no povoamento estudado?

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 GERAL**

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar as estimativas do crescimento e produção do volume total em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* em nível de

distribuição diamétrica (MDD) e por povoamento total (MPT) e compara-los com o inventário pré-corte.

## 2.2 ESPECÍFICO

- Modelar o volume em nível de distribuição diamétrica (MDD);
- Modelar o volume em nível de povoamento total (MPT);
- Quantificar a produção volumétrica presente para o plantio (inventário pré-corte);
- Avaliar a eficiência dos modelos (MPT e MDD) na previsão da produção de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* em relação ao volume presente.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 ESPÉCIE ESTUDADA

Tendo como origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania, o gênero *Eucalyptus* possui aproximadamente 730 espécies reconhecidas botanicamente, porém, as espécies mais utilizadas no Brasil, em função das características de suas madeiras são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* (SANTAROSA et al., 2014). A espécie escolhida para a realização do estudo foi o *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

O *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake tem sua área de ocorrência natural situada em Timor e outras ilhas a leste do arquipélago indonésio, entre as latitudes de 8 a 10° e altitudes de 400 a 3.000 m. A precipitação pluviométrica média anual compreendida entre 1.000 a 1.500 mm concentrada no verão, sendo que o período seco não ultrapassa 4 meses. Temperatura média das máximas do mês mais quente em torno de 29°C, e das mínimas do mês mais frio entre 8 a 12°C, podendo ocorrer geadas nas zonas de maior altitude (FERREIRA, 1979).

As características básicas do *E. urophylla* segundo Ferreira (1992) diz que a espécie apresenta uma boa forma do fuste, densidade básica de aproximadamente

0,5 g/cm<sup>3</sup>, presença de lignotubérculo, boa brotação, a espécie reage ao espaçamento e a adubação realizada, a segunda rotação apresenta bom desenvolvimento e é uma espécie resistente ao déficit hídrico. A madeira dessa espécie é considerada medianamente leve e possui propriedades de resistência mecânica moderadas, sendo uma madeira de relativa estabilidade e alta permeabilidade (ARANTES et al., 2013).

De acordo com Scanavaca Junior (2004), o *Eucalyptus urophylla* é uma das espécies de eucalipto mais cultivadas, apresentando grande potencial de crescimento em termos de área plantada devido a tolerância ao fungo causador do cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*) e resistência a seca do ponteiro, também possui boa produtividade e capacidade de utilização diversificada (celulose e papel, chapas duras, serraria, carvão, dentre outros).

### 3.2 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Os modelos de distribuição diamétrica (MDD) estimam o número de árvores por classe de diâmetro nas idades presente e futura. A partir disso, emprega-se de uma equação de volume, de taper ou de razão volumétrica, que permite estimar a produção por classe, sendo importantes para situações em que há interesse em múltiplos produtos da madeira (CAMPOS; LEITE, 2013). A distribuição é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, sendo a forma mais potente para descrever a capacidade produtiva de um povoamento. A variável diâmetro, obtida por medição direta das árvores, possui boa correlação com outras variáveis importantes tais como o volume, além de outras como qualidade de produção e custos da exploração (BAILEY; DELL (1973); BARTOSZECK et al., 2004).

Segundo Scolforo (1998), esses modelos permitem que toda a estrutura do povoamento seja analisada, propiciando um maior detalhamento na predição do porte das árvores do povoamento que facilita o planejamento da produção florestal e a simulação de efeitos de tratamentos silviculturais. Além de proporcionar conhecimentos detalhados sobre a estrutura diamétrica do povoamento, permite a avaliação dos multiprodutos, simulação de desbastes e uma avaliação econômica consistente, sem aumento significativo na complexidade dos modelos (BINOTI, 2015).

Uma alternativa que as empresas florestais têm procurado para maximizar seus lucros e minimizar seus custos, mantendo a qualidade, é a otimização das suas atividades. Assim, um manejador que saiba utilizar tais ferramentas possibilita um melhor planejamento das atividades. De uma maneira geral a dinâmica de qualquer floresta depende de uma série de fatores, mas pode ser explicada resumidamente de acordo com seu incremento em diâmetro, altura, área basal e mortalidade em um determinado intervalo de tempo. A prognose das classes diamétricas é uma das ferramentas que apoiam o planejamento do volume de madeira por classes diamétricas nos diferentes períodos (MIGUEL et al., 2010). As distribuições probabilísticas admitem antecipar certos fenômenos aplicando modelos matemáticos, possibilitando assim o estudo do comportamento de variáveis do meio biológico ou físico (JESUS et al., 2016).

A principal característica dos MDD é o emprego de uma função densidade de probabilidade, sendo que a função Weibull é a uma das mais usuais, principalmente pela sua grande flexibilidade (CAMPOS; LEITE, 2013).

### **3.1.1 Função Weibull**

De acordo com Bailey e Dell (1973), citados por Campos e Leite (2013, p. 434) a função Weibull é utilizada com frequência devido à flexibilidade, que permite identificar diferentes tendências de distribuição, desde exponencial até uma normal. Outras propriedades favoráveis são a facilidade de ajustamento e a de correlacionar seus parâmetros com atributos do povoamento.

Florestas equiâneas tendem a apresentar distribuições assimétricas à direita, em razão das árvores maiores apresentarem maiores taxas de crescimento que as menores (efeito de competição), gerando uma configuração que coincide com as condições ideais para ajuste da função Weibull. Além do mais, a característica dessa função de descrever curvas com diferentes pontos de inflexão proporciona maior capacidade de ajuste em comparação às demais funções que, em sua maioria, apresentam curvatura rígida (GUIMARÃES, 1994; ABREU et al. 2002).

A Função Weibull pode assumir dois ou três parâmetros apresentada como:

$$f(X) = \frac{\gamma}{\beta} \left( \frac{X-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[ - \left( \frac{X-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma} \right] \quad (1)$$

Onde: X = centro de classe de DAP;  $\gamma$  = parâmetro de forma;  $\beta$  = parâmetro de escala;  $\alpha$  = parâmetro de locação; sendo  $X \geq 0$ ;  $\beta > 0$ ;  $\gamma > 0$ .

O parâmetro " $\alpha$ " representa o menor limite da distribuição. Além de ser uma função flexível, a distribuição Weibull pode assumir praticamente todas as formas que uma distribuição diamétrica necessita. Dependendo dos valores de " $\gamma$ " apresentados, a função poderá ter diferentes inclinações. Por exemplo, quando " $\gamma$ " é menor que 1 a distribuição fica em forma de J - invertido, quando " $\gamma$ " é menor que 3,6 terá uma inclinação positiva, quando " $\gamma$ " é maior que 3,6 terá uma inclinação negativa e quando " $\gamma$ " é igual a 3,6 a curva terá uma forma de sino com pequena ou sem inclinação (EISFELD et al., 2005). E por fim quando  $\alpha$  é igual a zero a função passa ser conhecido como Weibull 2P.

### 3.3 MODELO DE POVOAMENTO TOTAL

No Brasil, predomina o uso de modelos em nível de povoamento, ou seja, em que a produção em volume e área basal é projetado com base nas características do povoamento como idade, área basal e índice de local (DIAS et al., 2005). Para a determinação do índice de local utiliza-se métodos quantitativos de classificação da capacidade produtiva, sendo comumente utilizado o método da curva-guia e a área basal projetada, pelas variáveis idade, área basal atual e índice de local, é utilizada em modelos de predição e projeção do volume por hectare. (ALCÂNTARA, 2012).

O modelo de povoamento total (MPT) permite a projeção da produção por unidade de área, sendo que não pode fazer nenhuma inferência para classe diamétrica ou para árvores individuais (CLUTTER et al., 1983).

Estes modelos podem ser divididos em modelos de produção que utilizam a idade e o índice local como variáveis independentes, e estimam a produção corrente e futura gerando tabelas de produção; e modelos de crescimento e produção que



utilizam, além das duas citadas acima, a densidade do povoamento como variável independente, sendo geradas tabelas de produção de densidade variável, e também estimativas de crescimento e produção, tanto corrente, quanto futura (CAMPOS; LEITE, 2013).

O modelo de crescimento e produção mais difundido no país é o modelo de Clutter sendo amplamente utilizado na Ciência Florestal, e suas qualidades são bastante estudadas e discutidas na literatura florestal (CAMPOS; LEITE, 2013; GÖRGENS, 2007).

O modelo de Clutter é do tipo povoamento total porque a variável estimada é o volume por unidade de área, independentemente da classe de tamanho da árvore. É de densidade variável porque permite estimar a produção para diferentes níveis de área basal inicial, é compatível pois a equação de crescimento quando integrada fornece a equação de produção, e a derivada desta resulta na equação de crescimento, é explícito porque a produção em volume é calculada diretamente e consistente e é consistente, pois as estimativas podem ser obtidas projetando-se a área basal ano a ano, ou diretamente de um para qualquer outro ano, com intervalos irregulares e, ainda, porque, ao estimar a produção em área basal para uma mesma idade, resulta em valores idênticos àqueles observados (CAMPOS; LEITE, 2013).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

Os dados utilizados foram provenientes de inventário florestal contínuo, realizados entre os anos de 2011 a 2015, em plantios clonais de *Eucalyptus urophylla*, na qual o método da área fixa foi utilizado e o processo de amostragem adotado foi o Casual Simple (HUSCH et al., 1982).

A área de estudo tem 300 hectares, pertencente à Cooperativa Agroindustrial dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO), localizado no município de Rio Verde, sudoeste do estado de Goiás, Brasil. O local de estudo apresenta altitude média de 700 m, limitado entre os paralelos 18° 00' 45" a 18° 01' 45" de latitude Sul, e entre os meridianos 50° 52' 45" a 50° 53' 15" de longitude Oeste. O clima, segundo

a classificação de Köppen, é o tipo Aw, tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca, que corresponde ao outono e inverno, e a outra úmida, com chuvas torrenciais, no período de primavera e verão (ALVARES et al., 2011). A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm, com média anual em torno de 1.300 mm e temperaturas médias entre 20° e 25°C (SIQUEIRA NETO et al., 2011).

#### 4.2 COLETA DE DADOS E OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS

Nas idades de 24, 36, 48, 60 e 72 meses, foram medidas 30 parcelas permanentes, cada uma em formato retangular (25x20m) de área útil de 500 m<sup>2</sup>, sendo que o espaçamento de plantio foi de 3,0 x 3,0 m. As variáveis mensuradas foram: o diâmetro com casca à altura 1,30 m do solo (DAP) de todas as árvores com DAP superior a 5 cm; a altura total (Ht) das árvores; e altura dominante (Hd), sendo considerada a média das alturas das cinco árvores de maior diâmetro de cada parcela, conforme Assmann (1970).

Para a classificação das unidades produtividade, foi utilizada a equação de Schumacher, ajustada para a mesma área de estudo:

$$\text{LnS} = \text{LnHd} + 15,55011596 \left( \frac{1}{\text{li}} + \frac{1}{\text{l}} \right) \quad (2)$$

(R<sup>2</sup> = 0,92; Syx% = 7,85)

Onde: S = índice de local, adimensional; Hd = altura dominante (m); li = idade-índice (72 meses); Ln = logaritmo natural; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação ajustado e Syx% = Erro padrão da estimativa em porcentagem.

O volume de cada árvore foi obtido a partir do ajuste do modelo de Schumacher e Hall, utilizando dados provenientes da cubagem rigorosa de 300 indivíduos do povoamento, distribuídos nas diferentes idades (25, 35, 90, 90 e 60 indivíduos nas idades de 24, 36, 48, 60 e 72 meses, respectivamente):

$$V = \exp(-10,8899 \ln(H) + 1,91625 * \ln(DAP) + 1,31456) \quad (3)$$

( $R^2 = 0,9894$ ;  $Syx\% = 6,75$ ).

Onde: V = volume (m<sup>3</sup>); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); H = altura total (m); Ln = Logaritmo natural; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem.

Para a realização dos ajustes, os dados foram separados de forma aleatória em 2 conjuntos, o de validação e o de ajuste dos modelos. No conjunto de validação, foram separadas aleatoriamente 2 parcelas para representar cada uma das classes produtivas (Sítios), resultando assim no total de 6 parcelas de validação. O segundo conjunto é composto por 24 parcelas que foram utilizadas para ajustar os modelos de distribuição diamétrica e por povoamento total.

#### 4.3 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Para o ajuste do modelo de distribuição diamétrica (MDD), as árvores, de cada parcela e em cada idade, foram agrupadas de acordo com o seu diâmetro, em classes com amplitude de 2 cm, conforme Araújo Júnior et al. (2010) e Azevedo et al. (2016), sendo o limite inferior da primeira classe definido com base no diâmetro mínimo de inclusão (5 cm). Após realizado o agrupamento, obteve-se 8 classes diamétricas e o valor central das classes variaram de 5 a 19 cm.

Para cada parcela, em cada idade, foi ajustada a função densidade de probabilidade de Weibull com dois parâmetros (2P), sendo esta a mais utilizada no Brasil descrita por Campos e Leite (2013), definida pela equação:

$$F(x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{\beta} \right)^\gamma \right] \quad (4)$$

Onde: X = centro de classe de diâmetro, em cm;  $\beta$  = parâmetro de escala;  $\gamma$  = parâmetro de forma.

O método utilizado para a obtenção dos parâmetros da função de Weibull foi a aproximação linear no solver do Excel.

Para testar a aderência da função aos dados, foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov descrito por Sokal e Rohlf (1995), visando comparar a frequência acumulada estimada com a observada, sendo a classe de maior divergência o valor  $D$  do teste, que sequencialmente é comparado com um  $D$  tabelado ( $\alpha = 0,05$ ). O teste é dado por:

$$D = \max | F_o(x) - F_e(x) | \quad (5)$$

Onde:  $D$  = diferença máxima absoluta;  $F_o(x)$  = frequência acumulada observada;  $F_e(x)$  = frequência acumulada esperada.

Para realizar a recuperação da distribuição diamétrica foi efetuado a correlação dos parâmetros da função de Weibull 2P com características do povoamento, utilizando regressões lineares e não-lineares, conforme Nogueira et al. (2005), Miguel et al. (2010), Retslaff et al. (2012) e Azevedo et al. (2016). Foram considerados como variáveis dependentes os parâmetros da função Weibull 2P em uma idade futura e como variáveis independentes, os parâmetros dessa mesma função em uma idade atual e os atributos do povoamento nas idades atual e futura, de acordo com Binoti et al. (2012). Os atributos do povoamento utilizados foram: idade, número de árvores por hectare, sítio e combinações dessas variáveis, conforme as equações a seguir:

$$\text{Gama}_2 = \beta_0 + \beta_1 \text{Gama}_1 + \beta_2 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (6)$$

$$\text{Beta}_2 = \beta_0 + \beta_1 \text{Beta}_1 + \beta_2 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_3 S \quad (7)$$

$$N_2 = \beta_0 + \beta_1 N_1 \quad (8)$$

Onde:  $\text{Gama}_2$ ,  $\text{Gama}_1$ ,  $\text{Beta}_2$  e  $\text{Beta}_1$  são estimadores da função Weibull;  $I_1$  e  $I_2$  são as idades inicial e final, respectivamente;  $\beta_i$  = coeficientes a serem estimados;  $S$  é o índice de local;  $N_2$  e  $N_1$  = número de árvores por hectare em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente.

Os ajustes dos modelos foram feitos com o conjunto de dados contendo as medições em todas as ocasiões, através do Microsoft office Excel (2013), utilizando o método dos Mínimos Quadrado Ordinários (MQO). Foram selecionados os modelos

de melhor desempenho, com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão residual ( $S_{yx}\%$ ) e distribuição gráfica dos resíduos, gerando assim um sistema de equações com capacidade de projetar a frequência de indivíduos por classe diamétrica.

Após a obtenção do número de indivíduos por classe de diâmetro, foi obtida a altura correspondente a cada centro de classe, conforme a Tabela 1, e o melhor modelo foi escolhido de acordo com as estatísticas de ajuste e precisão, tendo como base o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão residual ( $S_{yx}\%$ ) e distribuição gráfica dos resíduos.

**Tabela 1** - Modelos hipsométricos para estimativa da variável altura.

Nome	Modelo
Trorey	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2$
Curtis	$\ln H = \beta_1 + \beta_2 \frac{1}{DAP}$
Richards	$H = \frac{\beta_0}{(1 + \exp(\beta_1 - \beta_2 DAP))^{1/\beta_3}}$

Onde: H = altura total (m); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); Ln = logaritmo natural;  $\beta_i$  = coeficientes a serem estimados.

De posse dos diâmetros, representados pelos centros de classe, e de suas alturas correspondentes, foi aplicada a equação de volume e multiplicada pela densidade de indivíduos projetada para cada classe diamétrica, como objetivo de obter a produção por hectare em cada classe de diâmetro. O somatório da produção das classes resultará na produção total projetada por hectare para cada idade.

Para a avaliação do modelo de MDD ajustado, foi projetado o volume por hectare, considerando as seis parcelas independentes do ajuste (Validação), na idade inicial de 24 meses, para as idades futuras (36, 48, 60 e 72 meses).

#### 4.4 MODELO DE POVOAMENTO TOTAL

O MPT de Clutter apresenta dois tipos de ajuste, o completo e o simultâneo. O primeiro foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados em um estágio, já o ajuste do segundo foi realizado através do método dos mínimos quadrados em dois estágios.

##### 4.1.1 Modelo de Clutter Completo

O modelo completo de Clutter (1963), é composto pela seguinte equação (9) (SCOLFORO ,2006):

$$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{S} + \beta_2 \frac{1}{I_2} + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \ln G_1 + \beta_4 \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) + \beta_5 S \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) + \varepsilon \quad (9)$$

Onde  $V_2$  = volume de madeira com casa na idade futura ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ );  $S$  = índice de local;  $I_1$  = idade atual (meses);  $I_2$  = idade futura (meses);  $G_1$  = área basal no ano atual;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  = coeficientes do modelo;  $\ln$  = logaritmo natural e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

A modelagem de Clutter permite que o volume futuro seja projetado fixando uma única área basal e idade inicial, para realizar os ajustes dos coeficientes desse modelo foram realizados pelo método dos mínimos quadrados em um estágio, por regressão linear múltipla utilizando o *software* Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT, 2016).

##### 4.1.2 Modelo de Clutter Simultâneo

O modelo de Clutter (1963) (9) foi escolhido para realizar as estimativas de povoamento total, composto pelas seguintes relações funcionais das variáveis (CAMPOS; LEITE, 2013), ajustadas de forma simultânea.

Para o ajuste simultâneo temos:

$$\text{Ln}B_2 = \text{Ln}\beta_0 \left(\frac{l_1}{l_2}\right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) \text{Hd}_1 + \text{Ln}\varepsilon \quad (10)$$

$$\text{Ln}V_2 = \beta_0 + \left(\frac{\beta_1}{l_2}\right) + \beta_2 S + \beta_3 \text{Ln}B_2 + \text{Ln}\varepsilon \quad (11)$$

Onde:  $B_2$  = área basal do povoamento na idade futura ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ );  $B_1$  = área basal do povoamento na idade atual;  $l_1$  = idade atual (meses);  $l_2$  = idade futura;  $\text{Hd}_1$  = altura dominante na idade atual (m);  $S$  = índice de local;  $V_2$  = volume de madeira com casca do povoamento na idade futura ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ );  $\alpha_0$  e  $\alpha_1$  = coeficientes do modelo de área basal;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes do modelo volumétrico;  $\text{Ln}$  = logaritmo natural e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Para obter os coeficientes do modelo, com base nas equações simultâneas, utilizou-se o método dos mínimos quadrados, em dois estágios, no *software* Eviews 7.1 (IHS GLOBAL, 2010).

A qualidade dos ajustes para o modelo de Clutter Completo e Simultâneo foram verificadas pelas seguintes estatísticas de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro padrão da estimativa ( $\text{Syx}\%$ ) conforme Leite et al.(2011), Castro et al. (2013), Azevedo et al. (2016) e Miguel et al. (2016). Também foi analisada a distribuição residual para a área basal e o volume estimados pelas equações.

#### 4.5 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS MODELOS

Sequencialmente, com os volumes obtidos pela modelagem em MDD, pela modelagem em MPT oriunda dos dois diferentes ajustes do modelo de Clutter (completo e simultâneo) e com os valores do inventário pré-corte, com o auxílio do *software* Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016), foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) e posteriori o teste de Tukey (1953). Os pressupostos para a realização da ANOVA foram verificados pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk (1965) e homogeneidade de variância segundo Bartlett (1937).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 MODELAGEM EM NÍVEL DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Na tabela 2 encontra-se os estimadores dos parâmetros do ajuste da função Weibull 2P para cada sítio do povoamento na idade de 72 meses, os resultados do teste não paramétrico de Komolgorov-Smirnov a  $\alpha$  (0,05), indicam valores não significativos, logo a função Weibull 2P mostrou-se aderente a distribuição observada, resultados estes semelhantes aos encontrados por Nogueira et al., (2005), Leite et al. (2010), Araújo Junior (2013) e Azevedo et al., (2016).

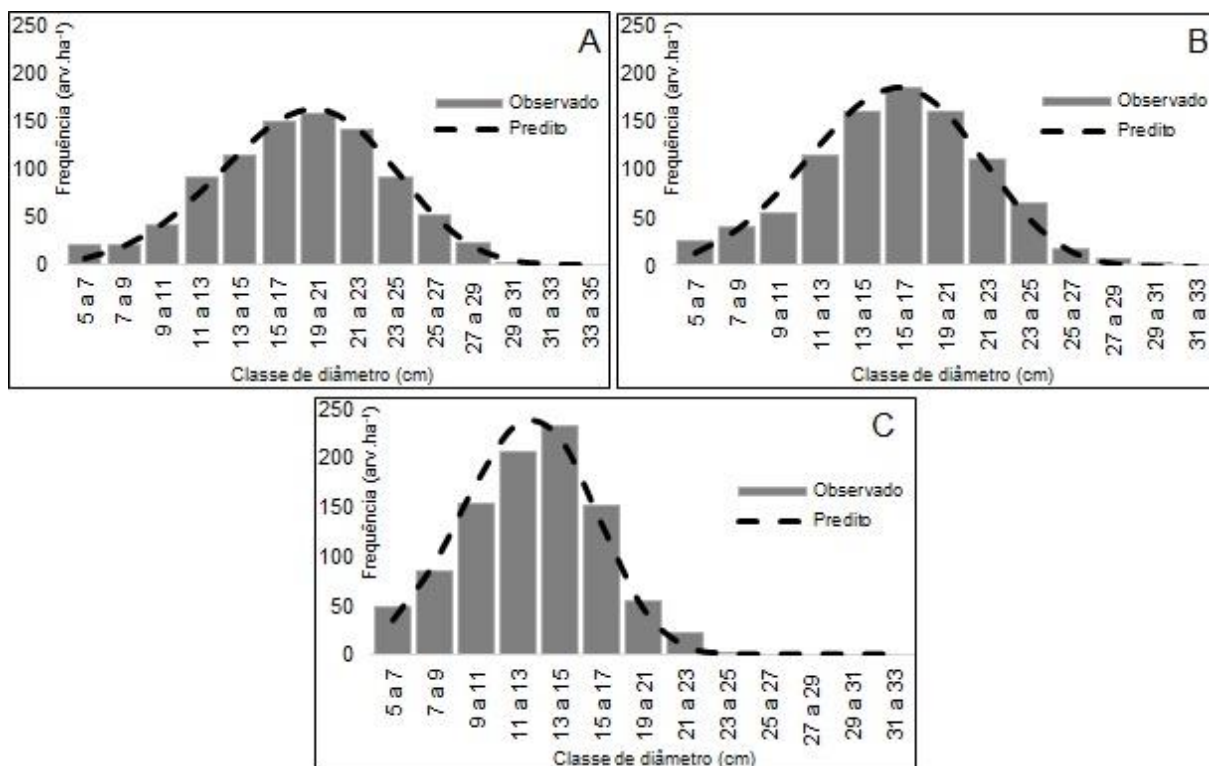
**Tabela 2** – Parâmetros da função Weibull 2P para cada sítio e suas respectivas probabilidades.

Parâmetro	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3
$\gamma$	4,3175	4,1161	4,2152
$\beta$	17,861	15,825	12,477
$\alpha$ (0,05)	0,07156	0,06987	0,06943
Resultado	n.s.	n.s.	n.s.

$\gamma$  = gama2;  $\beta$  = beta2; P = probabilidade a 5%; n.s. = não significativo.

A aderência da função Weibull 2P conforme demonstrado pelo teste de Komolgorov-Smirnov frente aos dados observados para as diferentes classes de produtividade do povoamento (Sítios), podem ser verificadas na Figura 1.





**Figura 1** - Distribuição diamétrica observada e predita pela função Weibull 2P para o Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3 (C) do povoamento.

A aderência da função Weibull aos dados, está de acordo com a literatura na qual Péllico Netto (1993), menciona que esta função apresenta superioridade as demais, e isso está atribuída a sua grande flexibilidade, corroborados em diversos estudos seja em florestas equiâneas ou inequeâneas como nos estudos de Blanco Jorge e Veiga (1990), Araújo Júnior et al. (2010), Binoti et al. (2014) e Azevedo et al. (2016).

Na Tabela 3 estão expostos os parâmetros da função Weibull e suas estimativas de ajuste e precisão, no qual o modelo de distribuição diamétrica foi composto.

**Tabela 3** - Equações que expressam os parâmetros estimados pela função Weibull 2P do povoamento.

Parâmetro	Equação Ajustada	Syx%	R <sup>2</sup> aj.
Gama2	$Gama2=0,878189+0,657664Gama1+0,40191\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$	9,35	0,73
Beta2	$Beta2 = 2,845739+0,962627 Beta1-3,14194\left(\frac{I_1}{I_2}\right)+0,044493S$	2,08	0,98
N2	$N2=46,75652+0,928589 N_1$	4,53	0,79

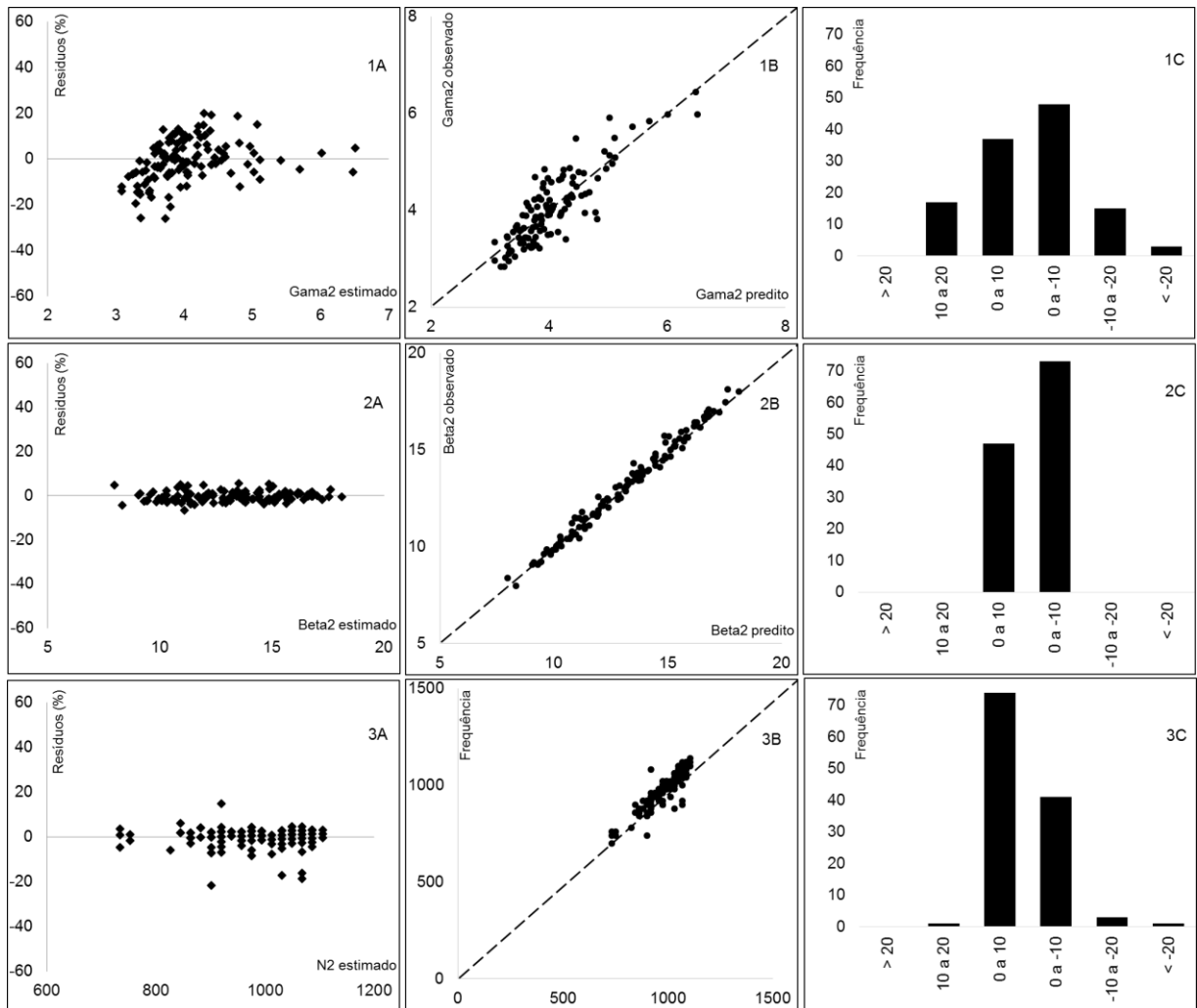
Gama2, Gama1, Beta2 e Beta1 são estimadores da função Weibull; I1 e I2 são as idades inicial e final, respectivamente; S é o índice de local; N2 e N1 = número de árvores por ha em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente; Ht = altura total; DAP = diâmetro a altura do peito; R<sup>2</sup> aj: coeficiente de determinação ajustado; Syx%: erro padrão da estimativa.

Os valores apresentados pelas estimativas dos parâmetros mostram que os modelos selecionados apresentaram ajuste satisfatório, com destaque para Beta2 com altos valores de R<sup>2</sup> e baixos valores de Syx%, estes valores desejáveis para estas estatísticas podem ser explicados pelo fato de Beta, expressar a escala da função, a qual tem alta correlação com o diâmetro do povoamento. Os valores obtidos nesse estudo foram semelhantes as estimativas de ajuste e precisão encontrados em outros trabalhos por Leite et al. (2005), Binoti et al. (2015) e Castro et al. (2016).

As estatísticas de ajuste e precisão de Gama tiveram o Syx% inferiores a 10%, e R<sup>2</sup> superiores a 0,7 valores inferiores quando comparados aos obtidos para o Beta2. Todavia, estes resultados estão de acordo com a literatura, pois é sabido que Gama expressa o parâmetro de forma do povoamento, o qual apresenta baixa correlação com as características do povoamento (GUIMARÃES, 1994; BINOTI et al., 2017). Os valores das estimativas para o parâmetro N2 foram de 0,79 para o coeficiente de determinação ajustado e 4,53% para o erro padrão da estimativa, sendo inferiores aos encontrados na literatura, em estudos realizados por Araújo Júnior et al. (2013), Binoti et al. (2015) e Azevedo et al. (2016).

Na análise gráfica dos modelos, conforme a Figura 2, é observado boa distribuição de resíduos para o Beta2 (2A) não apresentando tendenciosidade dos dados, comportamento parecido também observado por Araújo júnior et al. (2010) e Castro et al. (2016), já para o 1A e 3A os resíduos ficaram mais dispersos ao longo da linha 1:1. A relação dos dados observados e preditos (B) mostrou comportamento satisfatório para o Beta2 (2B) onde os dados mantiveram compactos e uniformes a linha de inclinação de  $45^\circ$  e a frequência de erro para o (3B) mostrou que toda a frequência de erros está dentro do intervalo de  $\pm 10$  se ajustando bem ao povoamento.

O parâmetro N2 (3C) indicou leve tendência a subestimação dos dados observados, mesmo apresentando a grande maioria dos erros entre -10% e +10%. O Gama2 e N2 apresentaram distribuições menos precisas, reforçando os valores obtidos nas estatísticas de ajuste do modelo ao povoamento, porém satisfatórias.



**Figura 2** - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre o volume estimado e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para o Gama2 (1), Beta2 (2) e N2 (3).

Resultados encontrados nesse estudo corroboram com outros trabalhos realizados, onde os autores destacam que os modelos usuais de distribuição diamétrica têm apresentado resultados aceitáveis, apenas no que concerne à estimativa do parâmetro de escala ( $\beta$ ) (BINOTI et al., 2010; GUIMARÃES, 1994).

A análise dos modelos hipsométricos foi feita de acordo com as estimativas precisão,  $R^2$  e  $Syx\%$ . O modelo de Richards foi superior, independente do sítio, sendo assim o modelo escolhido para prever a altura nas diferentes classes de diâmetro.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores de estatística e precisão, para cada sítio, do modelo selecionado.

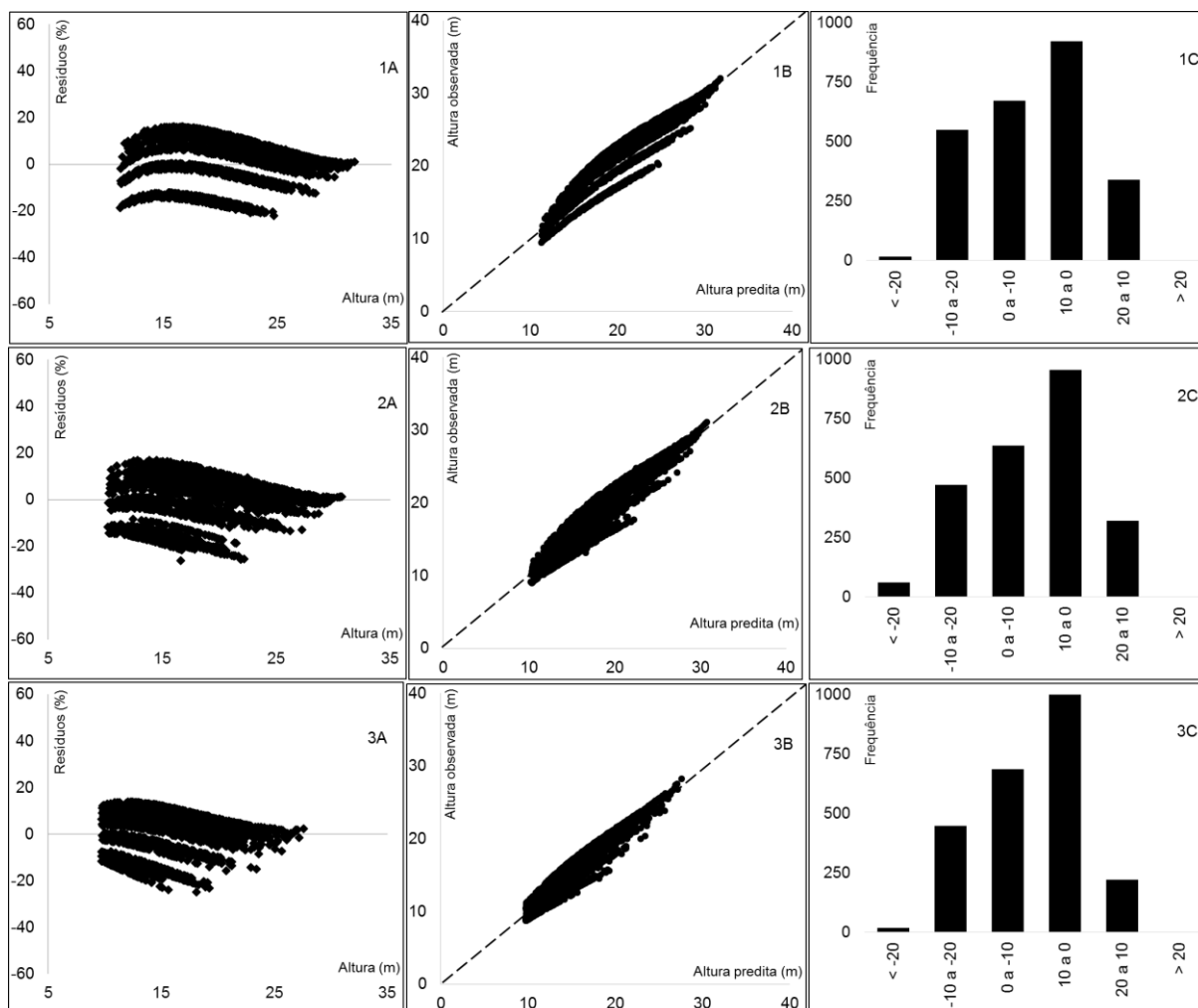
**Tabela 4** - Equações hipsométricas ajustadas e seus respectivos valores de precisão.

Sítio	Modelo	Equação Ajustada	Syx%	R
1		$H = \frac{32,59}{(1 + \exp(5,91 - 0,29DAP))^{1/4,13}}$	8,59	0,92
2	Richards	$H = \frac{31,91}{(1 + \exp(4,74 - 0,26DAP))^{1/3,03}}$	8,52	0,94
3		$H = \frac{29,79}{(1 + \exp(3,94 - 0,25DAP))^{1/2,46}}$	7,99	0,94

H = Altura total (m); DAP = Diâmetro a altura do peito (cm); R = coeficiente de correlação; Syx = erro padrão percentual da estimativa.

Analisando a Tabela 4, nota-se que o modelo apresentou estatísticas de ajuste e precisão satisfatórias para todos os sítios, com coeficientes de correlação maiores que 0,90% e Syx abaixo dos 10%, indicando que o modelo se ajustou bem aos dados observados.

O modelo apresenta o comportamento, conforme a Figura 2, da distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem, valor predito contra o observado e a frequência de erro do modelo.



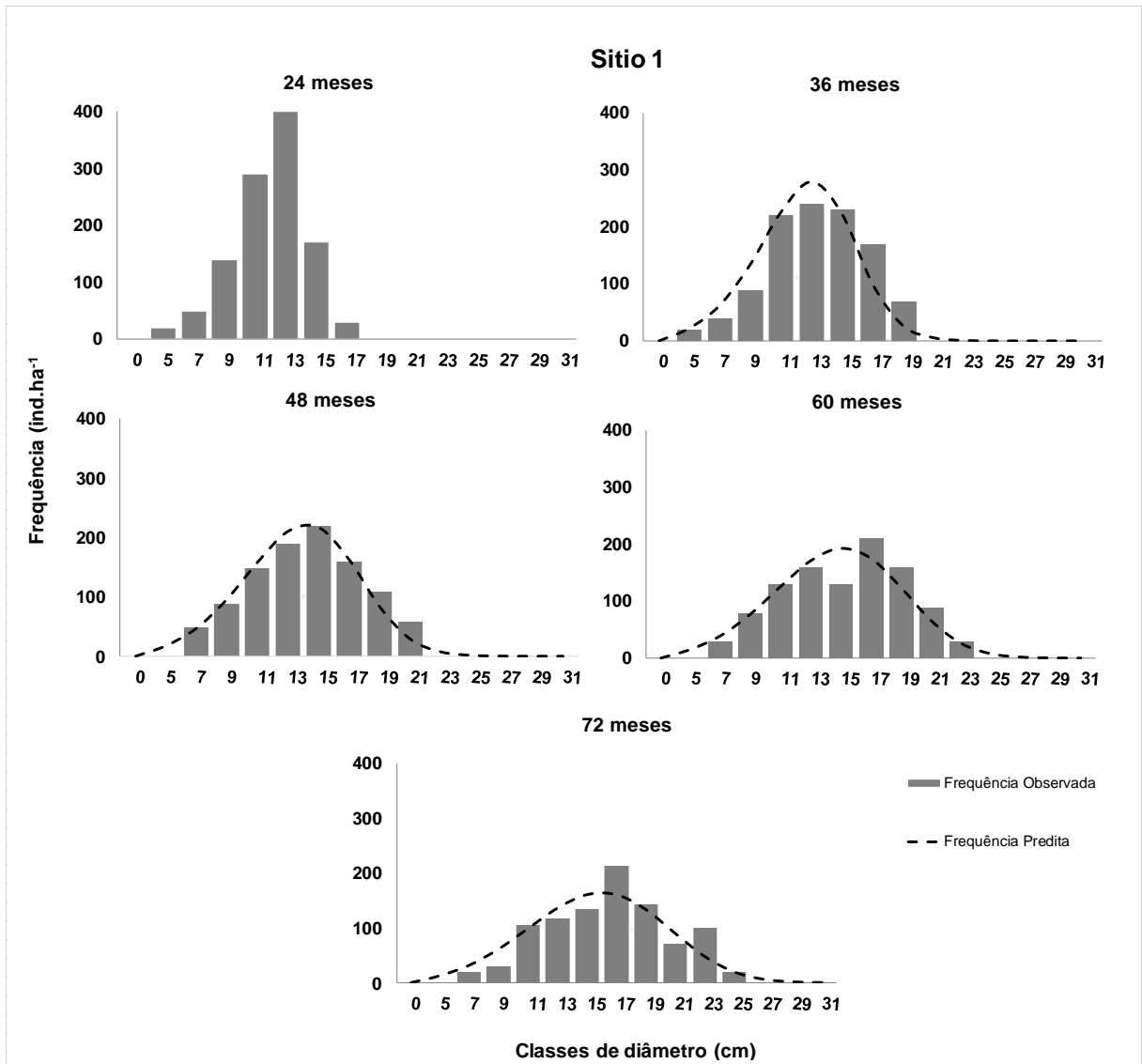
**Figura 3** - Distribuição dos resíduos (%) (A), correlação entre a altura predita e observado (B) e o histograma de frequência em classes de erros relativos (C) do Sítio 1 (1), Sítio 2 (2) e Sítio 3 (3) para o modelo de Richards.

De acordo com os gráficos 1A, 2A e 3A da Figura 3, o Modelo apresentou ligeira tendenciosidade de superestimar a altura para todos os sítios, sendo que no Sítio 3 esses valores são mais acentuados principalmente nas menores alturas. A relação entre os valores observados e os preditos 1B, 2B e 3B mostram ligeira tendência em subestimar os maiores valores e superestimar os menores valores. O gráfico (C) mostra que 63,88, 65,15 e 49,36% da frequência dos erros estão entre  $\pm 10$  para o Sítio 1, 2 e 3, respectivamente. Segundo Campos e Leite (2013) e Miguel et al. (2016), a avaliação dos resíduos em forma de histogramas é um tipo de análise interessante, pois quando há grande número de observações, somente os gráficos de dispersão

podem levar ao risco de má interpretação, uma vez que ocorrem diversos pontos sobrepostos no gráfico.

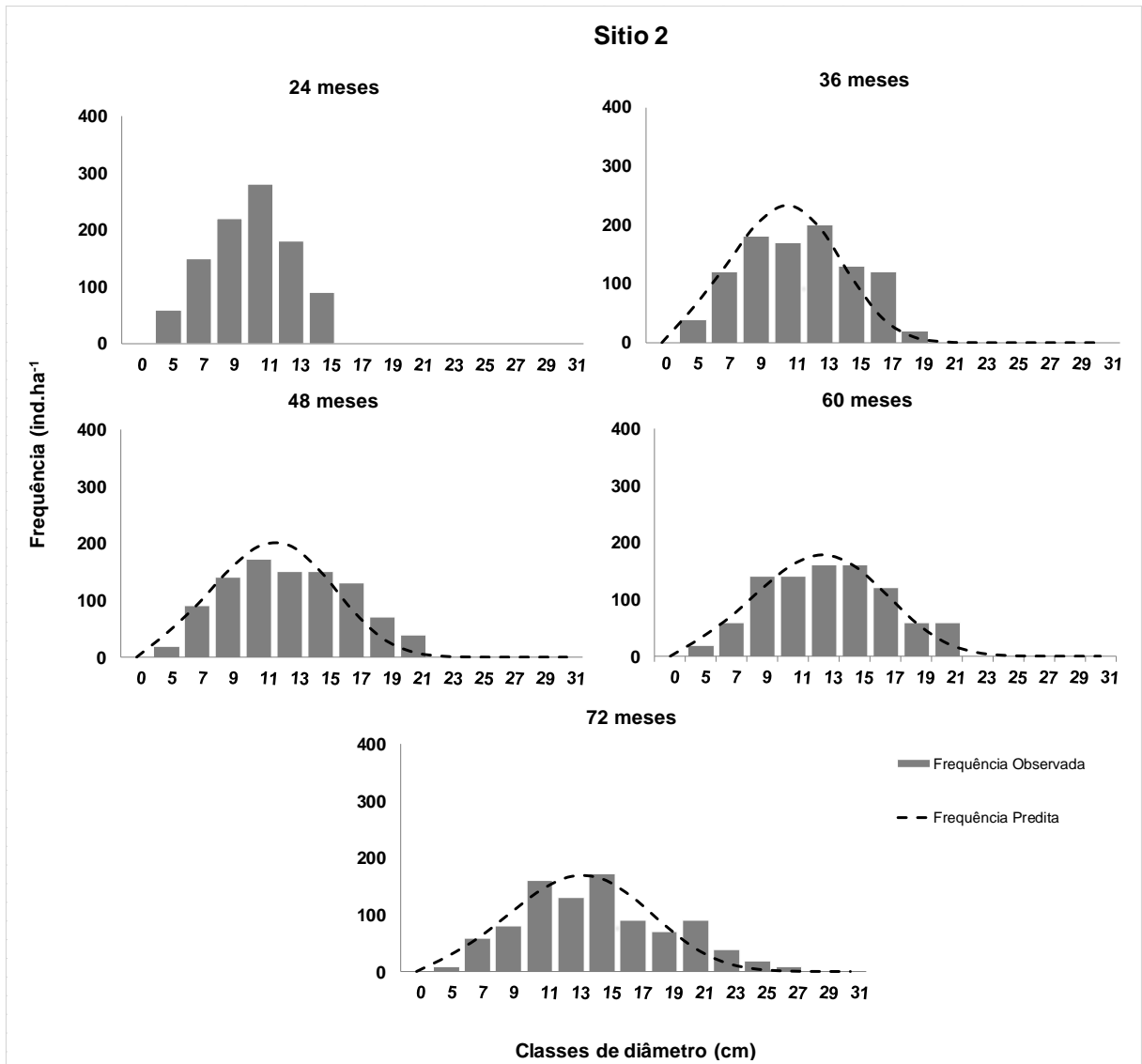
Quando analisados as características do modelo de Richards para predição da variável altura, em um estudo realizado por Oliveira (2013), em povoamentos clonais de eucalipto, foi verificado que este modelo foi o que apresentou melhores desempenho. A escolha desse modelo para a predição da variável altura em classes de diâmetro, segue um consenso da literatura, o qual o menciona como sendo um dos modelos superiores na predição desta variável, pois o mesmo apresenta realismo biológico em função da característica dos seus parâmetros (CAMPOS; LEITE, 2013).

Sequencialmente sabendo-se que a distribuição Weibull 2P, aderiu-se aos dados de diâmetro do povoamento foram estimados o número de árvores por classes de produtividades (sítios) em cada classe de diâmetro. Nas Figuras 4, 5 e 6 pode-se observar o comportamento das distribuições observadas (barras) frente as evoluções estimadas (linhas) pela função dos indivíduos por classe de diâmetro utilizado no processo de validação, para os três diferentes sítios.

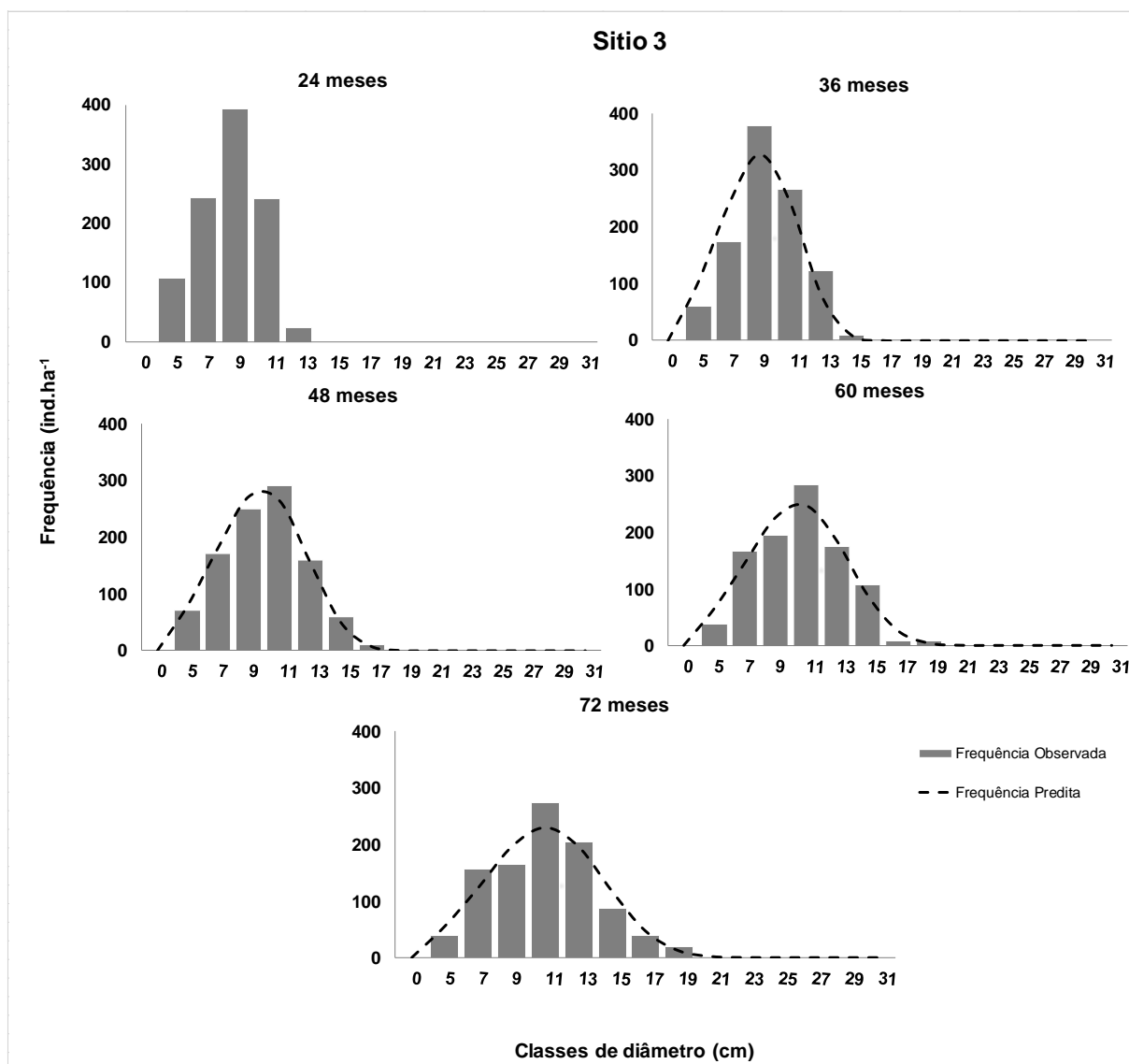


**Figura 4** - Distribuições diamétricas observadas e previstas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no Sítio 1.





**Figura 5** - Distribuições diamétricas observadas e previstas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no Sítio 2.



**Figura 6** - Distribuições diamétricas observadas e previstas nas idades 24, 36, 48, 60 e 72 meses no sítio 3.

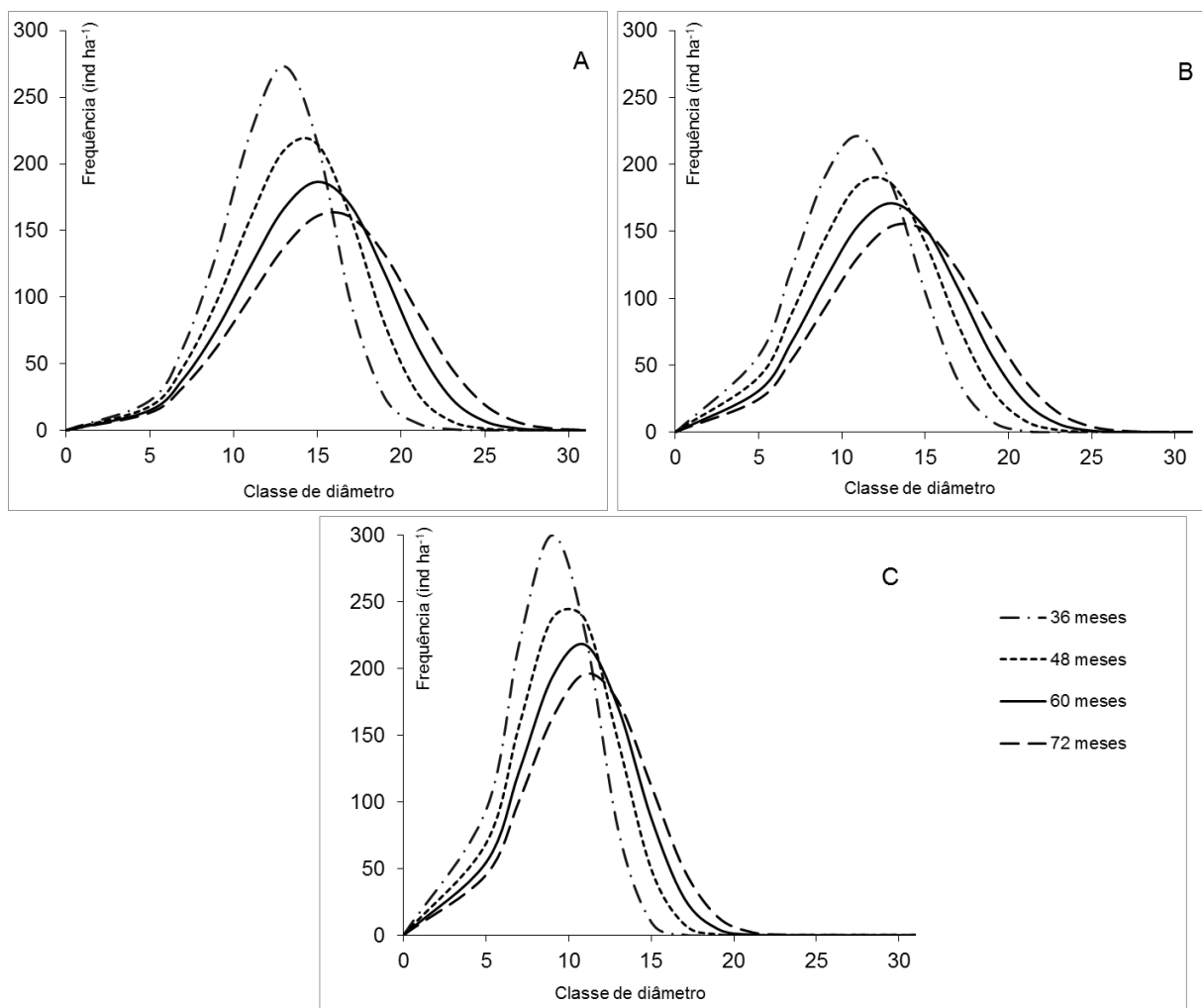
Avaliando o modelo nas diferentes classes de sítio observa-se que a distribuição do número de árvores por hectare demonstrou a tendência característica da distribuição diamétrica em povoamentos equiâneos, corroborando com o estudo feito por Demolinari (2006). Contudo, houve leve tendência em subestimar os indivíduos de maiores classes e superestimar o de menores classes de diâmetro, não se ajustando de forma adequada aos dados observados.

Comportamento semelhante foi observado para função Weibull 3 parâmetros (AZEVEDO et al., 2016). Todavia esses resultados não corroboram com os trabalhos de Soares et al. (2004), Araújo Júnior et al. (2010) e Miguel et al. (2010), os quais encontraram resultados satisfatórios ao utilizar a função de Weibull. Sendo assim, novos trabalhos com essa temática devem ser realizados, pois não existe um consenso, haja vista que cada povoamento apresenta características intrínsecas e precisam ser estudados individualmente, visando estimativas precisas na projeção da produção futura.

Para os sítios mais produtivos o achatamento da projeção da frequência de indivíduos por classe de diâmetro é mais acentuado do que nos sítios menos produtivos, apresentando maior amplitude entre a menor e a maior classe, logo fica evidenciado que o crescimento é maior nesses sítios, corroborando com o estudo realizado por Schmidt (2017).

Utilizando a função Weibull 2P foi analisado o comportamento da estrutura diamétrica do Sítio 1, 2 e 3 partindo da idade de 24 meses para idades posteriores avaliadas.

A Figura 7 mostra a evolução das classes diamétricas do povoamento ao longo do tempo para todos os sítios.



**Figura 7** - Evolução diamétrica do Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3 (C) estimado pela função Weibull 2P para as idades 36, 48, 60 e 72 meses.

Analisando a Figura 7 nota-se que as curvas de distribuição variaram de acordo com o sítio, se deslocando para a direita à medida que a idade foi aumentando, sendo que o número de árvores das menores classes de diâmetro foi diminuindo e o das maiores classes tenderam a aumentar, devido a migração de árvores de uma classe menor para outra maior.

Tais análises mostram que conforme a idade aumenta em função da capacidade produtiva do povoamento, existe um maior achatamento na curva, assim como maior amplitude no sentido sítios mais produtivos, para menos produtivos, corroborando as observações feitas por Scolforo e Thiersch (1998), Leite et al., (2005), Miguel et al., (2010), Araújo Júnior et al., (2013) e Castro et al., (2016), observaram

que para as maiores idades em sítios mais produtivos, o crescimento do diâmetro das árvores é mais acentuado e a curva tende ao formato platicúrtico (achatada).

A curva de frequência do Sítio 3 exibe o formato de leptocúrtica para as idades de 36 meses, tendendo ao formato de mesocúrtica nas idades posteriores, corroborando com os resultados obtidos por Schmitd (2017), onde foi avaliado a influência do fator sítio na dinâmica da distribuição diamétrica de um povoamento de eucalipto.

Na Tabela 5 estão os valores da frequência predita de árvores por classe de diâmetro para cada sítio na idade de 72 meses, mostrando também o número total de árvores por hectare e as classes de diâmetro máxima.

**Tabela 5** - Frequência predita do número de árvores por hectare aos 72 meses por classe de diâmetro e por sítio.

Classes de diâmetro (cm)	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3
5	10	22	31
7	28	51	74
9	58	90	127
11	98	131	168
13	141	159	167
15	171	160	122
17	173	131	61
19	142	86	20
21	91	43	4
23	44	16	-
25	15	5	-
27	4	1	-
29	1	-	-
Total	974	895	774

Os resultados obtidos mostram que as classes diamétricas centrais, variando de 13 a 21 cm, abrangem a maior concentração de árvores, com aproximadamente 74%, 65% e 52% para o Sítio 1, 2 e 3, respectivamente, fato comumente ocorrido em

florestas plantadas, cuja distribuição de diâmetros se aproxima da normal. Resultados semelhantes aos estudos realizados para o eucalipto (SCHMITD, 2017).

Os valores máximos de classe diamétrica foram de 29 cm para o Sítio1, 27 cm para o Sítio 2 e 21 cm para o Sítio 3. Também verifica-se que existe decréscimo do número de árvores dos sítios mais produtivos, para o menos produtivo, pois a competição por recursos e a mortalidade são maiores nas classes, comportamento semelhante ao encontrado por Naves et al. (2015). Além disso, em locais de maior capacidade produtiva as plantas crescem e competem, enquanto a sobrevivência é prioridade em locais de menor produtividade (WEINER; THOMAS, 1986).

Tendo então a frequência de árvores por classe de diâmetro, a altura média ajustada por classe diamétrica, pode-se então estimar a produção volumétrica por classe diamétrica nos diferentes sítios, através do modelo volumétrico escolhido de Schumacher e Hall (3), conforme a Tabela 6.

**Tabela 6** - Produção volumétrica projetada a idade de 72 meses para o Sítio 1, 2 e 3.

CD(cm)	Sítio 1			Sítio 2			Sítio 3		
	Alt.	Freq.	Vol	Alt.	Freq.	Vol	Alt.	Freq.	Vol
5	9.79	10	0.08	10.20	22	0.18	9.71	31	0.25
7	11.88	28	0.56	12.06	51	1.02	11.70	74	1.48
9	14.17	58	2.36	14.18	90	3.71	13.98	127	5.21
11	16.62	98	7.29	16.56	131	9.74	16.47	168	12.44
13	19.15	141	17.39	19.12	159	19.56	19.06	167	20.59
15	21.65	171	32.63	21.75	160	30.39	21.57	122	23.18
17	24.05	173	48.07	24.26	131	36.41	23.81	61	17.04
19	26.27	142	54.69	26.46	86	33.13	25.64	20	7.72
21	28.26	91	46.78	28.22	43	22.4	27.03	4	2.02
23	30.00	44	29.03	29.52	16	10.94	28.00	-	-
25	31.47	15	12.53	30.41	5	3.74	28.66	-	-
27	32.69	4	3.58	30.99	1	0.86	29.09	-	-
29	33.69	1	0.64	31.35	-	-	29.36	-	-
31	34.49	0	0.00	31.58	-	-	29.52	-	-
33	35.13	0	0.00	31.71	-	-	29.63	-	-
Total		974	255.63		895	172.08		774	89.93

CD = classe de diâmetro; Alt = altura estima em metros; Freq. = frequência de indivíduos; Vol = volume estimado em m<sup>3</sup>.

Verifica-se na Tabela 6, que o volume predito para a idade de 7 anos pelo a MDD encontra-se dentro do esperado, no qual os maiores volumes são por ordem decrescente para os sítios 1,2 e 3 com volumes respectivamente de: 255,63 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, 172,08 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 89,93 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

## 5.2 MODELAGEM EM NÍVEL DE POVOAMENTO TOTAL

### 5.1.1 Modelo de Clutter Completo

O modelo de Clutter apresentou as estimativas de ajuste e precisão, conforme a Tabela 7, demonstrando bom ajuste aos dados, para a projeção do volume.

**Tabela 7** - Estatísticas estimadas para o modelo de Clutter completo.

Modelo	Equação Ajustada	Syx%	R <sup>2</sup> aj.
Clutter Completo	$\ln V_2 = 3,210 - 15,446 \frac{1}{S} - 32,436 \frac{1}{I_2} + 1,126 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \ln B_1 + 1,590 \left( 1 - \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \right) + 0,071 S \left( 1 - \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \right) + \varepsilon$	5,07	0,98

$V_2$  = Volume estimado para a idade futura;  $S$  = Índice de sítio do local;  $I_1$  e  $I_2$  = idade atual e idade futura, respectivamente;  $B_1$  = Área basal idade atual;  $\ln$  = logaritmo natural;  $\varepsilon$  = erro aleatório;  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $Syx\%$  = erro padrão da estimativa.

Os resultados a partir dos dados de ajuste e precisão foram satisfatórios, pois apresentaram alto valor do coeficiente de determinação (0,98%) e erro padrão da estimativa de 5,07%, logo o modelo é capaz de fazer projeções consistentes dos volumes futuros.

Os coeficientes ajustados para o modelo de Clutter completo, através da regressão, estão exibidos na Tabela 8. O valor do coeficiente  $\beta_1$  foi negativo, resultado este condizente com a literatura pois é necessário que este coeficiente seja negativo, para projetar de forma concisa volumes futuros Campos e Leite (2013).

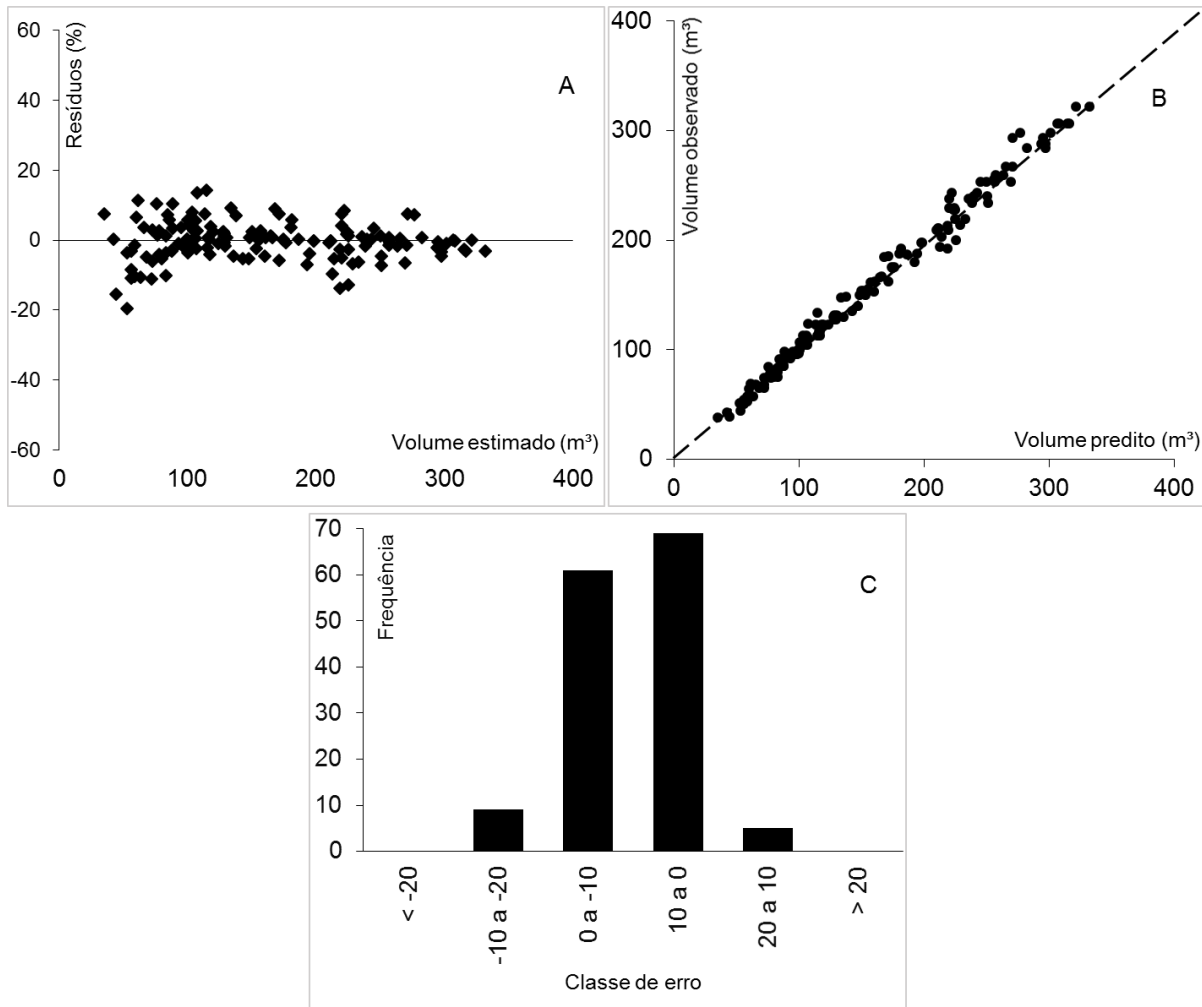
**Tabela 8** - Coeficientes ajustados para o modelo de Clutter completo.

Volume (m <sup>3</sup> )						
Coeficientes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
Valores	3,2104	-15,4460	-32,4364	1,1261	1,5902	0,0712

$\beta_i$  = coeficientes da regressão.



Na Figura 8 são apresentados os gráficos de resíduos (%) do volume estimado, bem como a relação entre valores preditos e observados e a frequência das classes de erro.



**Figura 8** - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre o volume estimado e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para o modelo de Clutter completo.

Com relação a análise gráfica dos resíduos, Figura 8, o modelo de Clutter completo apresentou boa dispersão dos resíduos (A), também verifica-se que a maior parte da frequência de erros pertence à classe de  $\pm 10\%$  (C), segundo Campos e Leite (2013) quanto mais próximo de zero a distribuição das frequências de erro, melhor o

ajuste do modelo. Na comparação entre o volume estimado e o observado houve aderência dos dados à linha de inclinação de 45° (B), resultados semelhantes aos encontrados por Silva (2017) utilizando o modelo de Clutter completo em um povoamento de eucalipto.

Com base nas estimativas de ajuste e precisão e da análise gráfica o modelo de Clutter completo se ajustou bem aos dados, indicando que fixando a área basal e a idade inicial, este modelo consegue projetar com precisão valores do volume para idades futuras. Resultados semelhantes foram encontrados por Scolforo (2006) que ajustou o modelo completo de Clutter para encontrar a rotação silvicultural de povoamentos de *Eucalyptus*.

### 5.1.2 Modelo de Clutter simultâneo

O ajuste do modelo de equações simultâneas de Clutter, feito no software Eviews 9, teve os seguintes resultados em estatísticas de ajuste e precisão satisfatórias (**Tabela 9**), apresentando alta correlação e baixo erro padrão percentual para as duas variáveis de interesse, corroborando com os resultados obtidos na literatura (CASTRO et al., 2013; AZEVEDO et al., 2016 e MIGUEL et al., 2016).

Tabela 9 – Estatísticas dos ajustes e precisão do modelo de Clutter simultâneo.

Modelo	Equação Ajustada	Syx%	R <sup>2</sup>
Clutter simultâneo	$\text{Ln}B_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{l_1}{l_2}\right) + 1,44677 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) + 0,05625 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) S + \text{Ln}\epsilon$	8,65	0,98
	$\text{Ln}V_2 = 1,7938 + \left(\frac{-23,7967}{l_2}\right) + 0,02133S + 1,17008 \text{Ln} B_2 + \text{Ln}\epsilon$	3,33	0,99

B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> = área basal atual e futura, respectivamente; l<sub>1</sub> e l<sub>2</sub> = idade atual e idade futura; V<sub>2</sub> = volume futuro; S = índice de sítio do local; Ln = logaritmo natural; ε = erro aleatório; R<sup>2</sup> = coeficiente de correlação; Syx% = erro padrão percentual.

Na Tabela 10, analisou-se os sinais relacionados aos coeficientes α<sub>1</sub> e β<sub>2</sub> ajustada para o povoamento estando coerente com a recomendação de Campos e Leite (2013) onde relatam que o coeficiente α<sub>1</sub> é positivo indicando que ocorre efeito da capacidade produtiva sobre a área basal, e o coeficiente β<sub>2</sub> deverá ser negativo

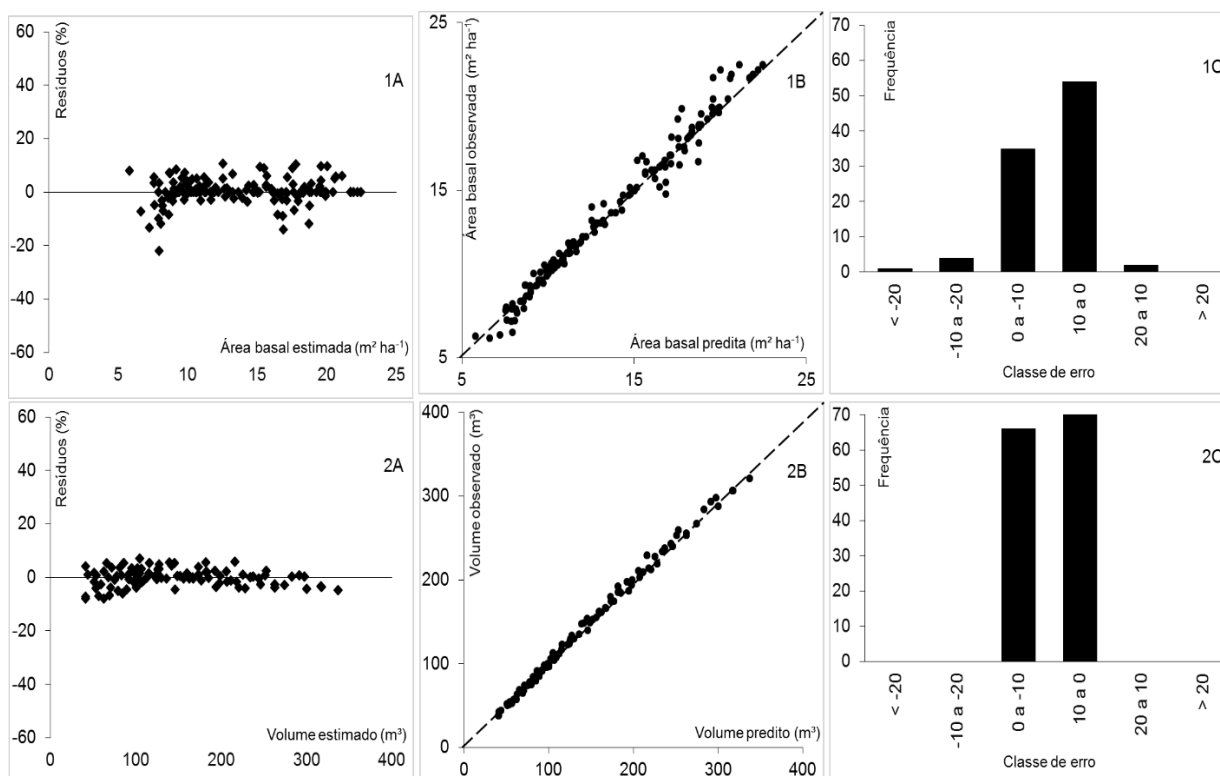
para que possua consistência nas estimativas. Dados semelhantes foram encontrados por Castro et al., (2013); Azevedo et al., (2016) e Silva (2017).

**Tabela 10** – Coeficientes estimados pelas equações de Clutter em dois estágios para área basal e volume para o volume.

Área basal			Volume			
Coeficientes	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$
Valores	1,4467	0,0562	1,7937	-23,7967	0,0213	1,1701

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = coeficientes da regressão.

Os gráficos de distribuição dos erros das estimativas, correlação entre variável predita e observado e o histograma de frequência de erros para os parâmetros ajustados do modelo de Clutter simultâneo estão apresentados, conforme a Figura 9.



**Figura 9** - Distribuição dos erros das estimativas (A), correlação entre variável predita e observado (B) e o histograma de frequência de erros relativos (C) para área basal (1) e volume (2) do modelo de Clutter simultâneo.

A área basal estimada apresentou ligeira dispersão dos resíduos ao longo da linha, Figura 9(1A), notando-se uma leve tendência em superestimar as menores áreas basais e subestimar as maiores, comportamento parecido ao encontrado por Castro et al., (2013). Já a variável volume apresentou distribuição mais compacta e concisa dos resíduos (2A), mantendo todos os dados de frequência de erro dentro das classes de  $\pm 10\%$  (2C) e as suas estimativas em relação ao seu comportamento dos valores predito contra os observados foram aceitáveis pois os valores estiveram distribuídos próximos a linha de inclinação de  $45^\circ$  (2B), indicando que mesmo havendo tendências nas estimativas da área basal futura, o modelo do volumétrico foi consistente e se ajustou bem ao povoamento, sem indicar subestimação ou superestimação do volume através da análise gráfica.

Outros trabalhos realizados também relataram bom ajuste do modelo de Clutter simultâneo em plantios de eucalipto não desbastados (DEMOLINARI et al., 2007; CASTRO et al., 2013; AZEVEDO et al., 2016; CUNHA, 2016; SILVA, 2017) e desbastados (DIAS et al., 2005).

## 6. COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS

Após a modelagem em MDD, e MPT com o modelo de Clutter simultâneo e completo, a partir da idade de 24 meses, foram estimados os volumes médios para a idade de 72 meses para os dados de validação, sendo então utilizados para fazer a comparação com os volumes do inventários pré-corte (testemunha) utilizando a análise de variância (ANOVA) duplo fator ( $\alpha = 0,05$ ) segundo Banzatto e Kronka (2013), conforme a Tabela 11.

**Tabela 11** - Resultados da análise de variância dos modelos.

FV	GL	SQ	QM	F	F tabelado
Sítios	2	73399,22293	36699,61146	221,0673	10,9248
Tratamentos	3	3562,05896	1187,35299	7,1523	4,7571
Resíduo	6	996,06623	166,01104		
Total	11	77957,34812			

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrados médios.

Os resultados obtidos da ANOVA indicam que a hipótese de nulidade  $H_0$  foi rejeitada para sítio e tratamento a 5% de significância, ou seja, F calculado foi maior que F tabelado nos dois casos, confirmando que há diferenças significativas entre pelo menos um par de médias de sítios e tratamentos.

Na Tabela 12 – Tabela 12 estão apresentados os valores do teste de Tukey p (<0,05) para os diferentes sítios e tratamentos aplicados ao povoamento de *Eucalyptus urophylla*.

**Tabela 12** – Resultados do teste de Tukey para os Blocos (sítios) e tratamentos (modelos).

Sítio	Volume médio (m <sup>3</sup> )	Tratamento	Volume médio (m <sup>3</sup> )
I	287,78 a	1	209,81 a
II	202,93 b	2	210,81 a
III	96,61 c	3	195,55 a
		4	167,71 b

Tratamentos 1,2,3 e 4: inventário pré-corte, Clutter completo, Clutter simultâneo e MDD, respectivamente. Diferença mínima significativa (DMS: 25m<sup>3</sup> para o tratamento e 26m<sup>3</sup> para o sítio).

As médias para os três sítios se diferiram estatisticamente entre si, resultados que corroboram a classificação concisa das unidades produtivas.

Com relação aos tratamentos, foi observado que as médias do modelo de Clutter não apresentaram diferenças significativas com o tratamento testemunha, independentemente do ajuste, mostrando que esses modelos apresentaram compatibilidade com o inventário pré-corte do povoamento estudado.

As médias dos tratamentos 1 e 4 foram diferentes estatisticamente entre elas, indicando que o modelo de distribuição diamétrica (MDD) gerou estimativas imprecisas na projeção do volume por classe de diâmetros.

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios do volume por hectare, o erro do inventário (%) e o intervalo de confiança de cada tratamento, para os diferentes sítios.

**Tabela 13** – Volume médio ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), erro (%) e intervalo de confiança dos tratamentos avaliados.

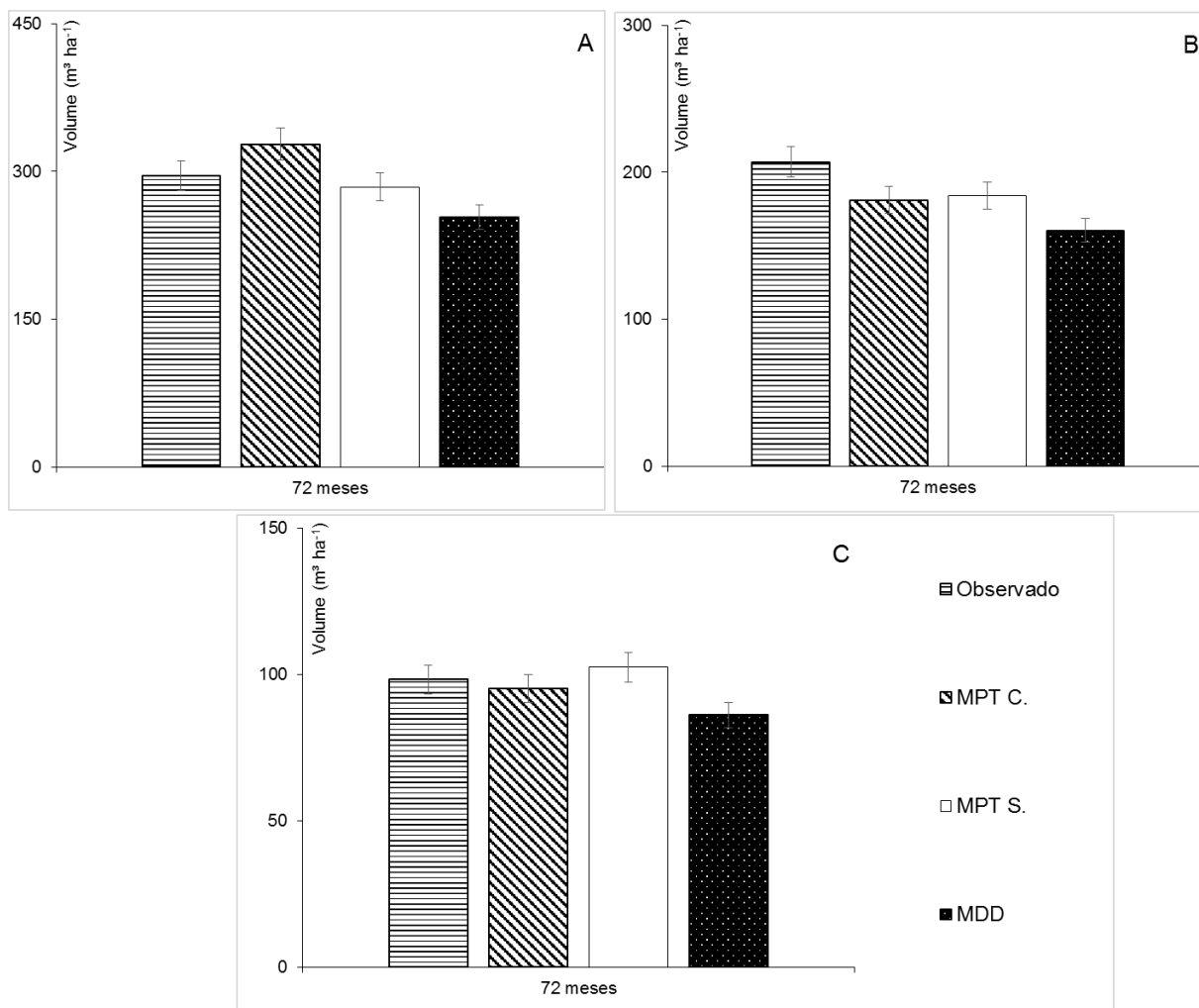
Sítio	Tratamento	Volume médio ( $\text{m}^3$ )	Erro (%)	Intervalo de confiança
I	1	294,91	4,48	$281,68 \leq \bar{X} \leq 308,13$
	2	303,58	6,99	$282,34 \leq \bar{X} \leq 324,82$
	3	282,81	7,34	$262,03 \leq \bar{X} \leq 303,59$
	4	242,98	6,88	$226,26 \leq \bar{X} \leq 259,71$
II	1	223,22	5,91	$210,35 \leq \bar{X} \leq 236,09$
	2	227,74	8,69	$208,44 \leq \bar{X} \leq 247,05$
	3	209,14	8,81	$191,17 \leq \bar{X} \leq 227,10$
	4	178,04	12,44	$156,44 \leq \bar{X} \leq 199,63$
III	1	115,41	11,49	$101,03 \leq \bar{X} \leq 129,43$
	2	116,46	9,97	$104,17 \leq \bar{X} \leq 128,75$
	3	109,57	9,02	$99,11 \leq \bar{X} \leq 120,03$
	4	87,91	11,53	$77,78 \leq \bar{X} \leq 98,04$

Tratamentos 1,2,3 e 4: inventário pré-corte, Clutter completo, Clutter simultâneo e MDD, respectivamente;  $\bar{X}$  = volume médio; nível de confiança = 95%.

Ao analisar os dados, nota-se que os tratamentos 1, 2 e 3 apresentaram menores erros percentuais no Sítio 1 e 2, sendo que no Sítio 3 estão concentrados os maiores erros para esses tratamentos. Esse comportamento pode ser justificado pela alta mortalidade e maior heterogeneidade dos indivíduos e dos volumes, gerando estimativas menos precisas. No geral, o MDD apresentou erros mais elevados, confirmando a imprecisão do modelo em estimar a produção para esse povoamento.

Como a precisão de um inventário florestal está vinculada ao processo de amostragem e sua suficiência amostral, logo independente da metodologia para obtenção volume (MAI e MPT), o aumento da suficiência amostral, resulta em valores menores para o erro do inventário.

Na Figura 10, verifica-se o volume obtido no inventário pré-corte com o volume estimado pelos modelos avaliados para cada sítio na idade de referência (72 meses).



**Figura 10** - Volume de madeira observado (inventário pré-corte) e estimado pelos modelos de MDD, Clutter completo e simultâneo para o Sítio 1 (A), Sítio 2 (B) e Sítio 3(C).

Analisando a Figura 10, nota-se que o gráfico (A) demonstrou que o modelo de Clutter completo superestimou o volume observado, enquanto que os outros modelos subestimaram o valor real do volume. Já para o (B), todos os modelos subestimaram os valores reais de volume, sendo que o modelo de Clutter completo e simultâneo apresentaram valores semelhantes e no gráfico (C) o modelo de Clutter simultâneo superestimou o valor observado e os outros modelos acabaram subestimando o volume.

Nota-se que o modelo de distribuição diamétrica subestimou o volume do inventário pré-corte para todos os sítios, sendo a maior diferença no Sítio 2, resultado semelhante ao obtido por Azevedo et al., (2016). O modelo de Clutter completo e simultâneo foram adequados na estimativa, confirmando os resultados obtidos pelo teste de Tukey e corroborando com outros estudos onde os modelos de Clutter propiciaram estimativas confiáveis para plantio de eucalipto (CASTRO et al., 2013; AZEVEDO et al., 2016).

## **7. CONCLUSÃO**

Ao término do presente estudo, conclui-se que:

A projeção do volume pelo modelo de distribuição diamétrica (MDD) apresentou volumes incompatíveis com a modelagem em nível de povoamento total (MPT) e com os resultados da estimativa do volume do inventário pré-corte no povoamento estudado;

As estimativas da modelagem em nível de povoamento total oriundas do modelo completo e simultâneo de Clutter, não retrataram diferenças significativas entre si, assim como para os valores estimados pelo inventário pré-corte, gerando estimativas confiáveis da produção do volume de madeira;

Por fim, a modelagem em nível de povoamento total (MPT), independente do sistema de ajuste do modelo de Clutter (completo e simultâneo) foi compatível e precisa com o inventário pré-corte, contudo, a modelagem em nível de distribuição diamétrica (MDD) foi incompatível com o mesmo.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.61, p.86-102, 2002.

ALCÂNTARA, A. E. M. **Alternativas de modelagem para projeção do crescimento de eucalipto em nível de povoamento**.52f. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.1-18, 2013.

ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M. da; ANDRADE, C. R. Características do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis*W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 423-431, 2013.

ARAÚJO JR, C. A.; NOGUEIRA, G. S.; DE OLIVEIRA, M. L. R.; DE MIRANDA, R. O. V.; CASTRO, R. V. O.; PELLI, E. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de *Eucalyptus* em diferentes amplitudes de classe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.11, p.1275-1281, 2010.

ARAÚJO JR., C. A. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função Gama. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 307-314, 2013.

ASSMANN, E. Waldertragskunde. Muenchen: **BLV Verlagsgesellschaft**, 435p. 1961.

AZEVEDO, G. A; OLIVEIRA, E.K.B.; AZEVEDO, G.T.O.S.; BUCHMANN, H.M.; MIGUEL, E.P.; REZENDE, A.V. Modelagem da produção em nível de povoamento e

por distribuição diamétrica em plantios de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 383-392, 2016.

BAILEY, R. L.; DELL, T.R. Quantifying diameters distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n.2, p 27- 104,1973.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: FUNEP. 2013.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of Royal Society of London A**, 1937.

BARTOSZECK A. C. P. S., MACHADO S. A., FIGUEIREDO FILHO A., OLIVEIRA E. B. Dynamics of hipsometric relationship as a function of age, site and initial density in *Mimosa scabrella* stands in the Metropolitan Region of Curitiba, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 147-156, 2010.

BINOTI, D. H. B. et al. Modelagem da distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste utilizando autômatos celulares. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p.931-939, 2012

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos de eucalipto utilizando a função logística generalizada. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 707-711, 2015.

BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. M. da. Sistema computacional para Ajuste de funções densidade de probabilidade. **Floresta Ambient**, Seropédica, v.24, e00081514, 2017.

BLANCO JORGE, L. A.; VEIGA, R. A. de A.; PONTINHA, A. de A. S. A função Weibull no estudo de distribuições diamétricas em povoamento de *Pinus elliottii* na estação experimental de Itapeva. IPEF, n. 43/44, p. 54-60, 1990.

BUCKMAN, R. E. Growth and yield of red pine in Minnesota. **USDA. Technical Bulletin, Washington**, n.1272, p.1-50, 1962.

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

CAO, Q. V. Predicting parameters of a Weibull function for modeling diameter distribution. **Forest Science** v.50, p.682-685, 2004.

CASTRO, R. V. O. et al. Growth and yield of commercial plantations of eucalyptus estimated by two categories of models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 287-295, 2013.

CASTRO, R. V. O. et al. Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de eucalyptus em nível de distribuição diamétrica utilizando índice de local1. **Revista. Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 107-116, 2016 .

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, R. G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Willey & Sons, 1983, 333p.

CUNHA, A. B. **Modelagem do crescimento e produção de povoamentos de *Eucalyptus* por diferentes métodos de classificação de índice de local**. 52f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. DF, 2016.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de eucalipto não desbastados.** 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

DEMOLINARI, R. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 503-512, 2007.

DIAS A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. de. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, p.731-739, 2005.

EISFELD, R. L. et al. Modelagem do crescimento e da produção de Pinus taeda L. por meio do processo de difusão. **Revista Cerne**, v.11, n.2, p.167-177, 2005.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, v. 47, p. 1-30, 1979.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, Piracicaba, n. 45. p. 22-30, 1992.

GÖRGENS, E.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação do desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 879-885, 2007.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura 74 de povoamentos de Eucalipto.**160f. (Tese – Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEER, T. W. **Forest mensuration**. 3.ed. New York: J. Wiley Sons, 1982. 402p.

IBÁ – Industria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual Ibá 2016**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em: 14 de out. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2015**. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2015\\_v30.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2015_v30.pdf)>. Acesso em: 14 de nov. 2016.

IHS GLOBAL. **Eviews 7**: quantitative micro software. Version 7.1. Irvine, 2010.

JESUS, C. M. de; MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; GASPAR, R. O.; GATTO, A.; VALADÃO, M. B. X.; CARRIJO, J. V. N. Funções de densidade de probabilidade para estimativa das distribuições de variáveis dendrométricas em um povoamento clonal de eucalipto no Distrito Federal. **Revista Espacios**. v. 38, n. 16, p. 30-45, 2016.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CHAGAS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A.; Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de Eucalyptus sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 271-280, 2005.

MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. A.; ARCE, J. E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in Eucalyptus urophylla stands. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 94-104, 2010.

MIGUEL, E. P.; OLIVEIRA, C. S.; MARTINS, T. O.; MATIAS, R. A. M.; REZENDE, A. V.; ANGELO, H.; MARTINS, I. S. Growth and yield models by total stand (MPT) in

*Eucalyptus urophylla* (s.t. Blake) plantations. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 10, pag. 79-85, 2016.

MOURA, V. P. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil. **Comunicado Técnico 111**, ISSN 9192-0099. Dez. 2004.

NAVES, R. P.; GANDOLFI, S.; ROTHER, D. C. Comparando padrões de distribuição de densidade, diâmetro e abundância de espécies em áreas em processo de restauração. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 737-748, 2015.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. de. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v.29, p.579-589, 2005.

OLIVEIRA, O. M. **Diferentes métodos de prognosticar a distribuição diamétrica em povoamentos clonais de eucalipto**. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo. 2013.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T.; BLASCO, E.; TRASOBARES, A. Comparison of beta, Johnson's SB, Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain). **European Journal of Forest Research**, Berlin, v. 126, n. 4, p. 563-571, 2007.

PÉLLICO NETTO, S. **Biometria, teoria de probabilidades**. Curitiba 1993. 278 pg. Editorada pelo o autor.

PEREIRA, J. C. D; STURION, J. A; HIGA, A. R. HIGA, R. C. V. SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38. 2000).

RETSLAFF, F. A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 719-732, 2012.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. **Embrapa Florestas**. Brasília, v. 1, 138p, 2014.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.

SCHIMIDT, L. N. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto na região central de minas Gerais**. 89f. Dissertação (Mestrado em manejo Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2017.

SCHUMACHER, F. X. A new growth curve and its application to timber studies. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 37, n. 10, p. 819-820, 1939.

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

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **Testing the normality of several samples**. (Unpublished manuscript) 1965.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, A. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição Sb, por diferentes métodos de ajuste. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 93-106, 1998.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, G. C. C. **Modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos de eucalipto desbastado e não desbastado**.129f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Lavras. Curitiba, 2017.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. de C.; COSTA JR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-72, 2011.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; VALE, A. B. Comparação de diferentes abordagens na modelagem da distribuição diamétrica. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 731-738, 2010.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3.ed. New York: W.H. Freeman, 1995. 887 p.

TUKEY, J. W. The problem of multiple comparisons. **Mimeographs Princeton University**, Princeton, N.J., 1953.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield - Applications to Mixed Tropical Forests**. Oxon, UK, CAB International Publishing,1994. 312 p.

WEINER, J.; THOMAS, S.C. Size variability and competition in plant monocultures. **Oikos**, v.47, p.211-222, 1986



WENDLING, W. T.; EMERENCIANO, D. B.; HOSOKAWA, R. T. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 205-220, 2011.