



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA ESTIMATIVA DAS
DISTRIBUIÇÕES DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM UM
POVOAMENTO CLONAL DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

CAROLINE MAIARA DE JESUS

**BRASÍLIA
(2016)**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

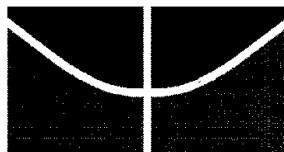
**FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA ESTIMATIVA DAS
DISTRIBUIÇÕES DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM UM
POVOAMENTO CLONAL DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

CAROLINE MAIARA DE JESUS

Orientador: Dr. Éder Pereira Miguel

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como
parte das exigências para a obtenção do título de
Engenheira Florestal.

BRASÍLIA
(2016)



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA ESTIMATIVA DAS
DISTRIBUIÇÕES DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM UM POVOAMENTO
CLONAL DE EUCALIPTO NO DISTRITO FEDERAL**

Aluna: Caroline Maiara de Jesus

Menção: SS

Aprovada por:

Prof. Dr. Eder Pereira Miguel
Orientador (EFL/UnB)

Profa. Dra. Alba Valéria Rezende
(EFL/UnB)

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
(EFL/UnB)

DEDICATÓRIA

À Deus por permitir que eu realize meus sonhos. À minha mãe por acreditar em mim. Ao meu marido pela paciência. À minha filha pela força.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus que sempre permitiu que coisas maravilhosas acontecessem na minha vida, por guiar meu caminho e me proporcionar novos desafios todos os dias.

À minha mãe, Maria Carmelita, que lutou para me dar uma boa educação e esteve ao meu lado em todas as etapas de minha vida. À tia Fátima e Ícaro por me incentivarem a prestar o vestibular e acreditaram que eu conseguiria.

Ao Dario Lunghi, meu companheiro, pela grande paciência, pela compreensão, respeito e incentivo. Seguiremos juntos essa estrada independente do caminho que nos levará.

À Aurora Lunghi, minha filha, que nasceu durante a graduação e me inspirou e ensinou que quando se deseja muito uma coisa, não existem barreiras e dificuldades, me fazendo entender que sou capaz de qualquer coisa, só tenho que lutar e acreditar.

À minha irmã Kelly que me ajudou em um dos momentos mais complicados da graduação, permitindo que eu continuasse estudando. À Chiara Cardini pelo apoio e incentivo.

À Joanna Fernada, amiga e irmã que esteve ao meu lado em todos os momentos importantes da minha graduação, dando apoio emocional e psicológico.

Agradeço ao Professor Dr. Eder Pereira Miguel, meu orientador, pelo comprometimento e suporte dado para que eu conseguisse realizar meu trabalho de conclusão de curso. E a todos os professores que tive a oportunidade de conhecer nessa caminhada.

Aos meus colegas da Engenharia Florestal e à todas as pessoas que estiveram comigo todos esses anos, e que direta ou indiretamente contribuíram para eu conseguir realizar meu grande sonho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi testar funções de densidade de probabilidade para a distribuição das variáveis diâmetro, altura total, área transversal e volume individual, em um povoamento de eucalipto. As funções testadas foram Gamma, Beta, Weibull 3P, Normal, Log-Normal e Dagum. Os dados foram provenientes de um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, com sete anos de idade, localizado na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília – UnB. Foram amostradas de forma aleatória 42 parcelas de 100 m², na qual foram medidos todos os diâmetros e a altura total das árvores que compunham as parcelas. Para avaliar a aderência dos dados foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A escolha do melhor modelo foi baseada nos resultados do erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), no coeficiente de determinação ajustado (R² ajustado), soma das frequências estimadas e análise gráfica das fdp's. Para a variável diâmetro a função densidade de probabilidade que melhor se ajustou foi a Beta, para a área seccional foi a função Dagum, para o volume foi a função densidade de probabilidade Weibull 3P e para a altura total nenhuma das funções foram aderentes aos dados.

Palavras-chaves: Funções probabilísticas, Diâmetro, Altura, Área seccional, Volume, teste de aderência.

ABSTRACT

The main objective of this study was to test the probability density functions for the distribution of the variables: diameter, total height, cross-section area and individual tree volume, in an Eucalyptus forest stand. The Functions tested were Gamma, Beta, Weibull 3P, Normal, Log-Normal and Dagum. The data were from an *Eucalyptus urograndis* afforestation, seven years old, located at Fazenda Água Limpa from University of Brasília-UnB. On the area were sampled randomly, 42 plots of 100m², where all the trees were measure in diameter at breast height and total height. To evaluate the data adherence was used the Kolmogorov-Smirnov test. The choice for the best model was based on the results of the standard error in percentage (Syx%), on the adjusted coefficient of determination (R² adjusted) and graphical analyses of the PDF's. For the diameter variable the probability density function that most set was Beta, for cross-section area was Dagum function, for individual tree volume Weibull 3P and finally for total height none of the functions were adherent to the data.

Key Words: Probabilistic Functions, Diameter, Height, Cross-section Area, Volume, Adherence Test.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO.....	12
2.1	Geral.....	12
2.2	Específico.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Espécie estudada	12
3.2	Variáveis dendrométricas de um povoamento florestal	13
3.3	Função Densidade de Probabilidade	15
	a) Função Gamma	16
	b) Função Beta.....	17
	c) Função Weibull 3P.....	17
	d) Função Normal	18
	e) Função Log-Normal	19
	f) Função Dagum.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Caracterização da Área de Estudo.....	20
4.2	Obtenção dos dados.....	21
4.3	Ajuste das funções de densidade de probabilidade	22
4.4	Estatísticas do ajuste e seleção da melhor fdp para cada variável.....	23
	a) Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	23
	b) Erro padrão da estimativa	25
	c) Coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	Ajuste da Distribuição Diamétrica	28
5.2	Ajuste da Distribuição da Altura Total.....	31
5.3	Ajuste da Distribuição da Área Seccional	33
5.4	Ajuste da Distribuição do Volume Individual.....	36
6	CONCLUSÃO	39
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Funções de densidade de probabilidade ajustadas para descrever a distribuição das variáveis diâmetro, altura total, área seccional e volume individual de um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	22
Tabela 2:	Estatística descritiva das variáveis estudadas.....	26
Tabela 3:	Frequências observadas para as variáveis diâmetro, altura total, área seccional e volume individual de árvores nos seus respectivos intervalos de classe.....	26
Tabela 4:	Estimativa dos parâmetros das distintas funções de densidade de probabilidade (fdp's) em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i>	27
Tabela 5:	Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	28
Tabela 6:	Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	31
Tabela 7:	Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	33
Tabela 8:	Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localização do povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> , no Distrito Federal.....	20
Figura 2:	Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de diâmetro em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	29
Figura 3:	Comportamento das distribuições aderentes Dagum, Beta e Weibull 3P para descrever a distribuição diamétrica em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	30
Figura 4:	Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de altura total em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	32
Figura 5:	Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de área seccional em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	34
Figura 6:	Comportamento das distribuições aderentes Dagum, Beta e Weibull 3P para descrever a distribuição da área seccional em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> , no Distrito Federal.....	35
Figura 7:	Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de volume individual em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> no Distrito Federal.....	37
Figura 8:	Comportamento das distribuições aderentes Dagum e Weibull 3P para descrever a distribuição do volume individual em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> , no Distrito Federal.....	38

1 INTRODUÇÃO

O gênero Eucalipto, pertencente à família das Myrtaceae, é originário da Austrália, e foi introduzido no Brasil, em 1903, com finalidade comercial (CIB, 2008). A madeira de eucalypto possui alta versatilidade, podendo ser utilizada para geração de energia, postes e moirões, construção civil, chapas de fibras, celulose e papel, dormentes e móveis finos (PEREIRA et al., 2000).

O Brasil se destaca no cenário mundial pela expressiva produtividade de suas plantações comerciais de eucaliptos, fruto da grande adaptação das condições climáticas da espécie, contribuindo anualmente com 17% de toda a madeira colhida no mundo, e sendo o quarto maior produtor mundial de celulose e o nono maior produtor de papel (IBÁ, 2014).

Em 2013, a área de florestas plantadas no Brasil somava 7,6 milhões de hectares, dos quais 72% eram ocupados por plantações de Eucalipto. No mesmo período, o consumo de madeira para uso industrial no Brasil, foi de 185,3 milhões de metros cúbicos (IBÁ, 2014). No mercado internacional o Brasil destaca-se na exportação de celulose e papel, somente em 2013, o total exportado foi de US\$ 7,2 bilhões (IBÁ, 2014).

Portanto, é importante o desenvolvimento de estudos voltados para a otimização da produção de eucalipto visando atender as exigências e necessidades do mercado consumidor. Para isso é necessário quantificar e prognosticar os estoques da floresta, a fim de definir a utilização dos bens advindos da mesma e obter informações para possíveis tomadas de decisão.

Dados de diâmetro, altura, área basal e volume das árvores são importantes nas estimativas dos estoques, presente e futuro, da produção de madeira de uma floresta. Tais estimativas podem ser obtidas por meio de funções de produção e controle de densidade (NETO, 2008). A análise da distribuição das variáveis pode ser feita por meio de modelagem, conhecidos como modelos de distribuição.

Um modelo de prognose pode ser do tipo determinístico ou aleatório. O modelo determinístico é aquele em que as condições iniciais do experimento poderão determinar o resultado final e, no modelo aleatório, os resultados não podem ser antecipados, ou seja, os resultados em diversas repetições são variáveis e incertos (MEYER, 1974). Alguns

desses modelos exprimem condições correntes e futuras e são chamados modelos de crescimento e produção (WOLFF, 2012).

Segundo CAMPOS & LEITE (2013), de acordo com o nível de detalhe desejado, os modelos de crescimento e produção podem ser classificados em modelos em nível de povoamento, modelos em nível de árvores e modelos de distribuição. Os modelos de distribuição são definidos por uma função de densidade de probabilidade (fdp), sendo comum o uso da distribuição diamétrica devido a sua eficácia e simplicidade para demonstrar a estrutura de um povoamento florestal, porém, podem ser utilizadas as distribuições em altura, área transversal e volume. Uma fdp define a probabilidade associada a cada valor da variável de estudo descrevendo a distribuição relativa ou absoluta dos diferentes tamanhos de árvores (CAMPOS & LEITE, 2013). As funções que se destacam são: Gamma, Beta, Weibull, Normal e Log-Normal, as quais permitem que se obtenha uma probabilidade de ocorrência das árvores dentro de intervalos de classe com limite inferior e superior (SCOLFORO, 2006).

Para avaliar a qualidade de ajustamento produzida pelas funções de densidade probabilística são utilizados testes que verificam o índice de aderência, ou seja, que testam a concordância entre a frequência observada e estimada por uma função de densidade, considerando um dado nível de probabilidade de erro (NETTO, 2008). Entre estes testes está o de Kolmogorov – Sminov que compara a frequência estimada acumulada com a observada acumulada.

Portanto, conhecendo a estrutura de um povoamento é possível avaliar o comportamento de uma espécie, levando em consideração os fatores que interferem em seu crescimento. Além disso, corrobora com a análise das distribuições das variáveis de interesse, possibilitando estimar o número de árvores por hectare, por classe de diâmetro e a altura média para cada classe.

Várias funções de densidade de probabilidade têm sido usadas na área florestal visando descrever a distribuição diamétrica de uma floresta como em NETTO (2008), FERREIRA (2011), STEPKA et al. (2011), BINOTI et al. (2012), JUNIOR et al. (2013) e SCHIKOWSKI et al. (2016), sendo bastante comum relacionar a distribuição diamétrica de florestas equiâneas com a função densidade de probabilidade Normal, porém, outras funções podem descrever de maneira mais eficiente essa distribuição.

Além disso, são muito poucos os trabalhos que analisam a distribuição de altura de árvores de um povoamento bem como de outras variáveis, como área seccional e volume, podendo citar trabalhos de ALVES et al. (2007), NETO et al. (2014), SANTOS et al. (2015) e MACHADO et al. (2010).

Seria a distribuição de frequência dessas variáveis igualmente eficientes e precisas para estimar a estrutura de um povoamento, tal como é comprovado para o diâmetro? E qual função de densidade de probabilidade melhor descreve cada uma destas variáveis?

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Aplicar o conceito de função densidade de probabilidade para explicar o comportamento da distribuição de variáveis dendrométricas da floresta em um povoamento de eucaliptos no Distrito Federal.

2.2 Específico

- Ajustar, testar e selecionar modelos de distribuição contínua para as variáveis diâmetro, altura total, área seccional e volume individual.
- Comparar a eficiência das distribuições Gamma, Beta, Weibull 3P, Normal, Log-Normal e Dagum.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Espécie estudada

O Eucalipto pertence à subfamília Leptospermoidae, família Myrtaceae, Ordem Myrtales e Classe Magnoliopsida, e apresenta várias espécies com propriedades físico-mecânicas, químicas e estéticas tão distintas que permitem usos diversificados de sua madeira. São descritas aproximadamente 700 espécies desse gênero, porém, no Brasil, as principais espécies plantadas são: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. deglupta*, *E. citriodora*, *E. exserta*, *E. paniculata* e *E. robusta* (IPEF, 2005). O gênero é caracterizado por possuir árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, fuste retilíneo e desrama natural.

Com a evolução da cultura de Eucalipto no Brasil, as espécies plantadas são cada vez mais adaptadas a diferentes tipos de solo e condições climáticas, propiciando melhor produtividade, capacidade de adaptação, resistência à doenças e pragas e condições de estresse (CIB, 2007).

O melhoramento genético permite modificar as características das espécies com a finalidade de obter variedades ou híbridos com características desejáveis. O clone *Eucalyptus urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil cruzando duas espécies com características distintas, o *E. grandis* que possui rápido crescimento e alta produtividade e o *E. urophylla*, que possui maior capacidade de rebrota, rusticidade e maior densidade de madeira (EMBRAPA, 2003).

Segundo LOPES (2008), os trabalhos de propagação vegetativa tiveram início em 1974 utilizando-se estacas coletadas de brotações de cepas de eucalipto. A primeira plantação clonal foi estabelecida em 1979, pela companhia ARACRUZ, atualmente FIBRIA, que dominou essa técnica e que se tornou a primeira empresa a obter florestas produtivas com o híbrido *E. urograndis*, chegando a produzir 50 m³/ha/ano (MORA & GARCIA, 2000).

O *E. urograndis*, possui cerne distinto do alburno com uma coloração rosa claro, brilho moderado, odor e gosto imperceptível, densidade de baixa a média e grã direita, com textura média e macia ao corte (SOUZA, 2008). Apresenta ainda boas características quanto à adaptação aos diferentes sítios, sendo que nos mais produtivos, as características da madeira são melhores (MONTANARI et al., 2007).

3.2 Variáveis dendrométricas de um povoamento florestal

O diâmetro é uma variável de grande importância já que é a partir dela que são obtidas outras variáveis como: área seccional, volume e coeficiente de forma. Sua medição é obtida de forma acessível, pois, o operador tem contato direto com o tronco, o que implica em maior precisão, menor tempo e maior economicidade (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2009). A partir do diâmetro de uma árvore é possível conhecer a distribuição diamétrica da floresta, definir o grau de ocupação de um local, bem como modelar a floresta para prognosticar o seu crescimento e sua produção ao longo do tempo (SCOLFORO 2004).

Segundo SCOLFORO (2006), a distribuição diamétrica é fundamental para a predição ou prognose da produção florestal, pois, permite diagnosticar as classes onde

ocorrem a maior concentração de árvores possibilitando identificar os diferentes tipos de floresta e elaborar tabelas de produção que levam em consideração a dinâmica da população florestal.

Vários são os estudos relacionados com distribuição diamétrica de florestas nativas e plantadas, podendo citar NETTO (2008), TÉO et al. (2011), FERREIRA (2011), STEPKA et al. (2011), BINOTI et al. (2012) e SCHIKOWSKI et al. (2016).

Segundo BAILEY & DELL (2011), a relação entre distribuição diamétrica, sítio, composição do povoamento, idade e densidade é importante para fins econômicos e biológicos, sendo a distribuição diamétrica utilizada como indicador da estrutura do estoque de crescimento. De acordo com RODOVANSKI (2003), a distribuição dos diâmetros é a ferramenta mais poderosa para retratar as árvores de um povoamento, pois, geralmente, é bem correlacionado com as variáveis altura, área basal e volume.

A variável altura é definida por MACHADO & FIGUEIREDO FILHO (2009) como a distância linear ao longo do eixo principal da árvore, partindo do solo até o topo ou até outro ponto referencial, de acordo com o tipo de altura que se deseja medir. Trata-se de uma importante variável, pois pode ser usada para determinar e estimar o volume de uma árvore e para classificar a capacidade produtiva de sítios em florestas plantadas. Além disso, é importante no ajuste de modelos de afilamento (TÉO et al., 2013).

Para GOMIDE et al. (2009), modelos que utilizam distribuições de diâmetro e de altura são empregados na definição do ciclo de corte e de limites de colheita em volume, podendo auxiliar na determinação da viabilidade econômica e na produção de inferências sobre práticas ideais dentro do manejo florestal e na estruturação do planejamento.

A estratificação vertical é um fator importante para florestas nativas (ALVES et al., 2007), pois, permite compreender as características de cada espécie. Os autores utilizaram a função de densidade de probabilidade para analisar a distribuição de diâmetro e altura em um componente arbóreo de um fragmento de floresta nativa da Mata Atlântica. SANTOS et al. (2015) também realizaram um estudo sobre a modelagem da distribuição em altura da espécie *Eschweilera coriacea* em uma floresta ombrófila densa, avaliando o comportamento de quatro funções probabilísticas.

Área seccional pode ser entendida como parte de uma área florestal ocupada pelo fuste de uma árvore em uma floresta. A soma das áreas seccionais do povoamento é o valor da área basal expressa por unidade de área (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO,

2009). A área basal tem sido amplamente utilizada como variável independente em modelos que estimam o volume por unidade de área, como no caso das equações de volume do povoamento. Além disso, pode expressar a densidade do povoamento isoladamente ou em combinação com outros fatores e pode ser utilizada para prever o crescimento e a produção de uma floresta, visto que o volume por unidade de área depende da idade, do índice de sítio e de uma medida de densidade expressa pela área basal (SCOLFORO, 2004). Com isso, vê-se a importância de estudos que levam em consideração a área transversal para descrever a distribuição do povoamento.

Para obter-se o volume preciso de uma árvore é necessário o corte e a cubagem rigorosa no solo, mas, muitas vezes isso se torna inviável, sendo necessário utilizar modelos para estimar o volume da mesma através de variáveis como diâmetro e altura (SILVA & NETO, 1979).

3.3 Função Densidade de Probabilidade

A maioria das decisões humanas é tomada a partir da análise ou estudo de apenas uma parte do todo que envolve o problema, e, a estatística tem contribuído para o desenvolvimento da ciência, inclusive a Ciência Florestal, utilizando seus conceitos, medidas e testes para diagnosticar determinadas situações ou até mesmo fazer previsões e tomar decisões (SILVA, 2003). Dentro desse contexto, pode ser citada a teoria das probabilidades que podem produzir informações que permitem um diagnóstico mais preciso das situações.

As distribuições probabilísticas permitem prever certos fenômenos utilizando-se de modelos matemáticos, que possibilitam o estudo do comportamento de variáveis do meio físico ou biológico. SILVA (2003) analisou algumas funções de densidade de probabilidade e verificou que, em muitos casos, os dados de altura das árvores não se ajustavam aos modelos existentes, e com isso criou uma função de distribuição que é modelada a partir dos dados de altura, suas características e peculiaridades.

As funções são baseadas nas variáveis envolvidas e podem ser discretas, onde o número de ocorrência é finito, ou contínuas onde este é infinito. As funções probabilísticas contínuas, também conhecidas como funções de densidade de probabilidade, podem ser agrupadas quanto aos picos de frequência (unimodal ou multimodal), a simetria (simétrica ou assimétrica), ao tipo de curvatura (rígidas ou flexíveis) e número de variáveis aleatórias (univariadas ou multivariadas)

(GUIMARÃES, 2002). Dentre as distribuições contínuas, as mais usuais no meio florestal são Gamma, Beta, Normal, Log-normal, Weibull (2 e 3 parâmetros) e Sb (ORELLANA, 2009).

Segundo MACHADO et al. (2000), as funções de densidade de probabilidade permitem estimar o número de indivíduos por classe de diâmetro ao longo do tempo, o que é extremamente útil para um planejamento da produção. Estudos que utilizam o ajuste das fdp's para representar a distribuição de frequência por unidade de área ocorrem a muito tempo, com os trabalhos de COUTO (1980), FINGER (1982), CUNHA (1995), THIERSCHI (1997), EISFELD et al. (2005), JUNIOR et al. (2013), EBLING et al. (2014) e SANTOS et al. (2015).

a) Função Gamma

A função Gamma é considerada por SCOLFORO (2006) como flexível pois pode ser aplicada tanto em florestas nativas quanto plantadas, ajustando-se a diferentes tipos de curva e passando por diversos graus de assimetria. Na área florestal vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com esta distribuição, podendo citar STEPKA et al. (2011), que ajustaram este e outros modelos para estimar a distribuição diamétrica de um povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná, sendo que, para este estudo, a distribuição Gamma foi considerada aderente, pelo teste de aderência, porém não conseguiu representar a distribuição real.

NETTO (2008), estudando a dinâmica da distribuição diamétrica de povoamento de *Pinus taeda* L., em diferentes idades e espaçamentos, concluiu que para as idades de 12, 14, 16 e 18 anos, a função de probabilidade que melhor representa a distribuição por classe diamétrica para o espaçamento de 2 x 3 m é a Gamma, conforme os resultados dos testes de aderência.

A função Gamma vem se destacando como uma das mais utilizadas na área florestal para subsidiar tomadas de decisão mais rápidas, e, com boa confiabilidade nos ajustes, gerando informações valiosas para o manejo florestal e a conservação dos ecossistemas (SANTOS et al., 2015). Segundo estes autores a função Gamma, apesar de ter sido a segunda melhor função em seu estudo, também apresentou bom ajuste, revelando aderência no teste, para a modelagem da distribuição em altura de *Eschweilera coriacea*.

JUNIOR et al. (2013) avaliaram o comportamento da função Gamma com dois parâmetros para a descrição da distribuição diamétrica do povoamento estudado e percebeu que o modelo projetou de maneira satisfatória a distribuição, acompanhando a tendência de achatamento da curva de distribuição em uma sequência de idades, e concluíram que essa função pode ser utilizada para projeção da distribuição dos diâmetros de povoamentos de eucalipto.

b) Função Beta

A função de distribuição Beta tem limites definidos entre o menor e o maior diâmetro que restringem os demais diâmetros neste intervalo. É uma função flexível, que pode assumir várias formas para uma ampla faixa de distribuição, porém, possui a desvantagem de ter que ser numericamente integrada para obter as probabilidades nos vários intervalos das classes, uma vez que a função de distribuição acumulativa não existe de forma fechada (SCOLFORO, 2006).

BARROS et al. (1979) compararam modelos descritivos de distribuição diamétrica na Floresta Nacional do Tapajós e verificaram que a distribuição Beta estava entre esses modelos, apresentando ajuste aceitável considerando os valores de R^2 ajustado, e podendo ser recomendada para estudos em florestas com características similares.

Um estudo realizado por STEPKA et al. (2011), o qual utilizava o modelo de distribuição Beta, permitiu concluir que este é aderente segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. Já Weber (2006) ao ajustar modelos probabilísticos clássicos, entre eles o Beta, para dados de regeneração natural da espécie *Ocotea odorífera*, verificou que os mesmos não resultaram bom ajuste aos dados, sendo recomendável outro tipo de modelagem.

c) Função Weibull 3P

A função Weibull foi proposta por Fischer e Tippert, em 1928, e desenvolvida independentemente por um físico sueco chamado Waloddi Weibull, em 1951, no estudo de resistência dos materiais (SCOLFORO, 2006). Na área florestal, BAILEY & DELL (1973) aplicaram esta função pela primeira vez, em um modelo de distribuição diamétrica, e destacaram as vantagens do modelo segundo a flexibilidade e simplicidade matemática. Pode ser classificada como Weibull 2 ou 3 parâmetros. Na Weibull 2 parâmetros, o parâmetro de locação (a) é igual a zero, e, no segundo caso, os três

parâmetros (a, b e c) são respectivamente responsáveis pela locação, escala e forma da distribuição (BARRA et al., 2004).

Além disso, devido a flexibilidade do modelo Weibull, ele pode assumir uma variedade de formas de distribuição de frequência por classe diâométrica, com assimetrias positivas ou negativas dependendo da tendência dos valores da variável dependente e dos parâmetros da função (NETTO, 2008).

Diversos trabalhos realizados com o objetivo de testar funções de densidade de probabilidade consideram o modelo Weibull 3P como sendo o mais indicado, podendo citar ORELLANA (2009), SANTOS et al. (2015), NETO et al. (2014) e JUNIOR et al. (2010).

d) Função Normal

Segundo MEYER (1974), a distribuição Normal, desenvolvida por De Moivre, em 1733, é uma das mais importantes no campo da estatística. Muitos fenômenos podem ser descritos por essa função de distribuição e muitas funções convergem para ela, como por exemplo as funções de Poisson e Binomial. Essa função é capaz de descrever uma série de fenômenos físicos e financeiros, podendo fornecer, por exemplo, boa aproximação de curvas de frequência para medidas de dimensão e características humanas como a altura de uma população e medidas de pressão arterial (NETTO, 2008). Ademais, ela é inteiramente descrita por seus parâmetros de média e desvio padrão, ou seja, conhecendo-se estes pode-se determinar qualquer probabilidade em uma curva Normal.

Esta função vem sendo amplamente utilizada em estudos na área Florestal para analisar distribuição de diâmetro e outras variáveis, como em NETTO (2008), SILVA (2003), WEBER (2006), MACHADO et al. (2009), TÊO et al. (2011), STEPKA et al. (2011) e MACHADO et al. (2010).

Porém, em alguns casos, essa distribuição não é considerada muito indicada, pois, alguns conjuntos de dados podem gerar uma curva assimétrica, como por exemplo em florestas naturais, onde não há controle das espécies, podendo gerar grande variabilidade. SANTOS et al. (2015), modelando a distribuição em altura da espécie *Eschweilera coriacea*, em uma floresta ombrófila, verificou que a função normal foi a que proporcionou um dos piores ajustes pois subestimava as alturas para o conjunto de dados.

e) Função Log-Normal

A distribuição Log-Normal é definida como a distribuição de uma variável aleatória cujo logaritmo natural segue uma distribuição Normal, ou seja, se a função $f(x)$, onde x é a variável, é normalmente distribuída, e para especificar essa distribuição utiliza-se a média e o desvio-padrão, mesmas variáveis utilizadas na distribuição Normal (NETTO, 2008).

É bastante utilizada em dados de fenômenos meteorológicos, para análise de precipitações ou velocidade de vento e chuva, porém na área florestal geralmente não apresenta vantagem comparada a outras distribuições. Como característica particular dessa distribuição, ela pode apresentar sensibilidade quando se refere ao tamanho da amostra (NETTO, 2008).

BARTOSZECK et al. (2004) ajustaram esse e outros modelos para descrever as distribuições diamétricas de povoamentos de bracinga, na região metropolitana de Curitiba, PR. MACHADO et al. (2010) utilizaram para descrever a distribuição da altura total, área transversal e volume individual para *Araucaria angustifolia*, porém não obteve nenhum valor satisfatório para esse modelo. SANTOS et al. (2015) também utilizaram o modelo de distribuição log-Normal, e outros, para a modelagem da altura, porém essa distribuição foi a que apresentou o pior ajuste, por superestimar a altura para o conjunto de dados.

f) Função Dagum

O modelo de distribuição Dagum foi proposto nos anos 70, por Camilo Dagum, que buscava uma solução bem fundamentada, simples, flexível e com um bom ajuste para qualquer distribuição empírica, com parâmetros que possuíssem interpretação precisa (CARNEIRO, 1982). Essa distribuição é especificada com um modelo de três parâmetros e outro com quatro parâmetros (SILVA, 2015).

BINOTI et al. (2012) avaliaram a eficiência de funções de densidade de probabilidade para descrever a distribuição diamétrica de povoamentos desbastados de *Tectona grandis*, dentre as funções estudadas estava a distribuição Dagum, porém, em seu estudo, a função Dagum não apresentou um teste de aderência satisfatório.

No estudo de SCHIKOWSKI et al. (2016), que avaliaram a dinâmica da distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta ombrófila mista para

o período de 1995 a 2014, a função Dagum se revelou adequada para os últimos anos analisados, passando do 6º lugar em 1995 para o 4º em 2000 no ranqueamento, e melhorando ainda mais de posição com o passar do tempo, chegando a 2º lugar em 2014. Isso pode ser justificado por CARNEIRO (1982), que afirma que uma das características dessa função é ser unimodal e possuir assimetria positiva, sendo isso que ocorre a partir de 2000 no povoamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília – UnB, situada a uma altitude média de 1.080 metros, em um plantio clonal de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, clone I224, conhecido como *Eucalyptus urograndis*. A área total do povoamento é de 3,29 hectares, plantado com espaçamento 3 x 2 m, e possui seis anos de idade. As coordenadas e a localização da área podem ser vistas na Figura 1.

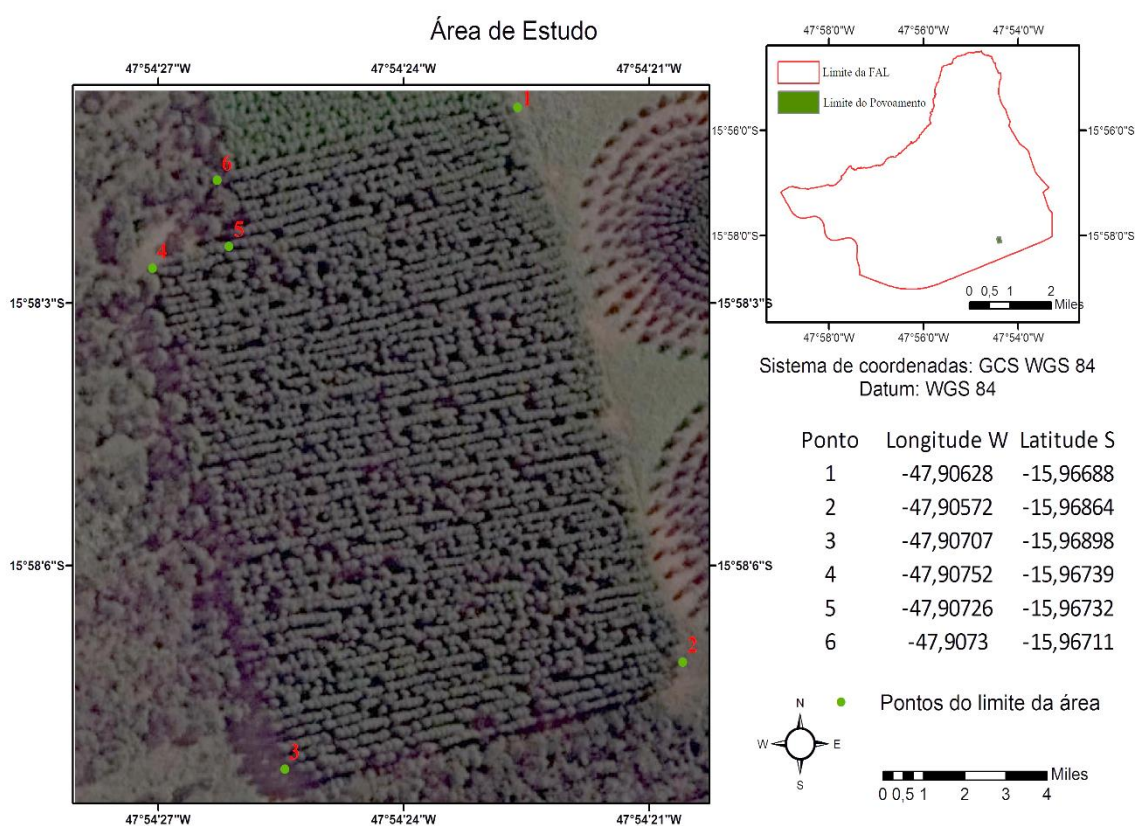


Figura 1: Localização do povoamento de *Eucalyptus urograndis*, no Distrito Federal.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2009), o solo na área do plantio é um Latossolo Vermelho. O clima corresponde ao tipo Aw, tropical úmido, segundo a classificação de KÖEPPEN, com temperatura máxima de 28,5°C e mínima de 12°C. A precipitação média anual é de 1500 mm, com pronunciada estação seca de Julho a Setembro.

4.2 Obtenção dos dados

Para a obtenção dos dados foram lançadas ao acaso 42 parcelas de 10 x 10 metros (100 m² de área cada). A variável diâmetro à altura do peito (DAP) foi mensurada em cada árvore da parcela com o auxílio de fita métrica. A variável altura total foi obtida utilizando o hipsômetro Suunto.

A área transversal de cada árvore foi obtida utilizando a seguinte fórmula:

$$g_i = \frac{\pi * DAP_i^2}{40000} \quad (1)$$

em que:

g_i = área transversal da árvore i (m²); $i = 1, 2, 3, \dots, n_{\text{árvores}}$.

DAP_i = diâmetro à altura do peito da árvore i (cm).

A variável volume foi obtida a partir da cubagem rigorosa usando o método de Smalian. Foram cubadas 50 árvores respeitando-se a proporcionalidade das classes de diâmetro. Para obter o volume real de todas as árvores amostradas foi ajustado o modelo volumétrico proposto por Schumacher e Hall (1933). Segundo CAMPOS & LEITE (2006) esse é um dos modelos mais difundidos na área florestal, uma vez que suas propriedades estatísticas resultam em estimativas quase sempre não tendenciosas. O modelo não linear utilizado está apresentado a seguir:

$$V = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * Ht^{\beta_2} * \varepsilon \quad (2)$$

Em que:

V = volume (m³);

DAP = diâmetro a 1,3m de altura (cm);

Ht = altura total da árvore (m);

β_i = parâmetros do modelo;

ε = erro aleatório.

4.3 Ajuste das funções de densidade de probabilidade

As funções de densidade de probabilidade Gamma, Beta, Weibull 3P, Normal, Log-Normal e Dagum foram ajustadas para obter a frequência de distribuição das variáveis diâmetro, altura total, área transversal e volume individual (Tabela 1) utilizando o *software* Microsoft Office Excel 2010. Para a obtenção dos coeficientes das equações de fdp's foi utilizado o *software* EasyFit. O ajuste foi feito considerando todas as árvores, amostradas nas 42 parcelas.

Tabela 1: Funções de densidade de probabilidade ajustadas para descrever a distribuição das variáveis diâmetro, altura total, área seccional e volume individual de um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

Nome	Funções densidade de probabilidade (fdp's)
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} * (x - x_{\min})^{\alpha-1} * e^{-(1/\beta)(x-x_{\min})}$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(x_{\max} - x_{\min})} * \left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}\right)^{\alpha-1} * \left(1 - \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}\right)^{\beta-1}$
Weibull 3P	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} * \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} * e \left[- \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha \right]$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$
Log- Normal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma^2} * \frac{e^{-\left(\frac{1}{2*\sigma^2}\right)*(\ln x - \mu)^2}}{x}$
Dagum	$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha k - 1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$

Em que: f(x) – função a ser ajustada; x – variável aleatória estudada (diâmetro, altura total, área seccional e volume); x_{\min} – menor valor de x; x_{\max} – maior valor de x; Γ – função gama; α , β , γ , k , μ , σ^2 , σ – parâmetros a serem estimados para a variável de interesse; e – exponencial; ln - logaritmo neperiano.

Para definir o número de classes das variáveis utilizou-se a fórmula de Sturges, dada por:

$$K = 1 + 3,33 * (\log n) \quad (3)$$

em que:

K = número de classes;

n = número de árvores amostradas.

4.4 Estatísticas do ajuste e seleção da melhor fdp para cada variável

Para a comparação da eficiência das diferentes distribuições utilizou-se o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov. Após o agrupamento das árvores em classes diamétricas, classes de altura, classes de área seccional e classes de volume, foi comparada a frequência observada com a estimada pelos modelos.

Para a escolha da fdp que melhor descreve a estrutura em diâmetro, altura total, área seccional e volume individual do povoamento realizou-se um ranqueamento, considerando os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, Syx% e R² ajustado, para isso as funções foram colocadas em ordem de 1 a 6 de acordo com os melhores resultados estatísticos. Por último realizou-se a análise gráfica das funções, comparando a distribuição original com as funções densidade de probabilidade.

A seleção da melhor função de densidade de probabilidade deu-se primeiramente com a verificação da aderência e posteriormente com a análise da função que apresentou menor erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) e melhor coeficiente de determinação ajustado (R²ajustado).

a) Teste de Kolmogorov-Smirnov

Testes de aderência são utilizados para verificar a qualidade de ajustamento produzida pelos métodos de distribuição de probabilidade, comparando-se a frequência observada com a estimada ou esperada SCOLFORO (2006). Existem testes paramétricos e não paramétricos. Os paramétricos são aqueles que utilizam os parâmetros da distribuição, ou as estimativas deste, para calcular a sua estatística. Os testes não paramétricos destacam-se por não apresentar a necessidade de especificar a distribuição da população de onde vem a amostra REIS & JÚNIOR (2007).

Uma das vantagens de usar-se testes não paramétricos é que estes são menos exigentes do que os outros, dispensando a normalidade nos dados, além disso, eles independem da forma da população da qual a amostra foi obtida e por último eles são de mais fácil aplicação e exigem menor volume de cálculos VIALI (2008). Dentre esses testes podemos citar o Kolmogorov-Smirnov (K-S). Segundo SCOLFORO (2006) esse teste compara a frequência acumulativa estimada com a frequência observada.

O teste de aderência Kolmogorov-Smirnov é bastante utilizado na área florestal, principalmente em estudos de comparação de modelos de distribuição e produção de

povoamentos florestais em geral, podendo citar SILVA et al. 2003, GOMIDE et al. (2009), JUNIOR et al. 2010, TÉO et al. 2011, STEPKA et al. (2011), EBLING et al. (2014), BINOTI et al. (2014) e SANTOS et al. (2015).

O teste de D é definido como sendo a diferença máxima absoluta (D) entre a frequência observada acumulada $F(x)$ e a frequência esperada acumulada $S(x)$. A distribuição que apresenta o menor D indica o melhor ajuste (SCOLFORO, 2006). Pode ser dado pela equação a seguir.

$$D = SUP[F(x) - S(x)] \quad (4)$$

em que:

D = diferença máxima absoluta.

$F(x)$ = valor da função de distribuição de frequência acumulativa teórica.

$S(x)$ = valor da função de distribuição de frequência acumulativa observada.

SUP = maior valor encontrado.

A significância do teste é dada pela equação:

$$D_{calculado} = \frac{D}{N} \quad (5)$$

Em que:

D = valor da maior divergência da distribuição.

N = número total de árvores.

Se $D_{calculado}$ for menor ou igual ao valor crítico tabelado (D_n), em função de um nível α de significância, as distribuições são consideradas não aderentes e se $D_{calculado}$ for maior que o D_n as distribuições são aderentes. O valor de D_n é tabelado para N indivíduos, para um valor de N maior que 50, o valor de D_n será dado pela seguinte fórmula:

Para $\alpha = 5\%$

$$D_n = \frac{1,36}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

b) Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa indica quão próximos os valores estimados estão dos valores observados. Quanto mais próximo de zero mais preciso será o modelo. O erro foi calculado utilizando as seguintes expressões:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad (7)$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{Y_x} * 100 \quad (8)$$

em que:

n = número de observações.

p = número de coeficientes do modelo matemático.

Syx = erro padrão da estimativa.

Ye = variável estimada.

Yi = variável observada.

Yx = variável média observada.

Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem.

c) Coeficiente de determinação ajustado R² ajustado

Pelo coeficiente de determinação ajustado foi identificada o quanto a variação total é explicada pelo modelo. Quanto maior o valor encontrado, melhor será o ajuste. O valor de R² ajustado foi obtido da seguinte forma:

$$R_{ajustado}^2 = 1 - \left(\frac{n - 1}{n - p - 1} \right) * \frac{SQres}{SQtot} \quad (9)$$

em que:

n = Número de dados (tamanho da amostra).

p = Número de Variáveis independentes do modelo em questão.

R²aj. = Coeficiente de determinação ajustado.

SQres = Soma de quadrado do resíduo.

SQtot = Soma de quadrado total.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas do povoamento estudado estão apresentadas na Tabela 2. Observa-se que o diâmetro por árvore variou de 5,12 cm até 22 cm, a altura total de 5 m à 27,75 m, a área seccional de 0,002 m² até 0,038 m² e o volume de 0,007 m³ à 0,497 m³. Esses resultados são característica de um povoamento heterogêneo, o que se relaciona ao regime de manejo do povoamento e a ausência de tratamentos silviculturais.

Tabela 2: Estatística descritiva das variáveis estudadas

Estatística	Diâmetro (cm)	Altura Total (m)	Área Seccional (m ²)	Volume (m ³)
Nº de árvores/ha	1360	1360	1360	1360
Média	14,50	21	0,017	0,204
Variância	11,09	19,96	0,00005	0,009
Desvio Padrão	3,33	4,47	0,007	0,096
Valor Mínimo	5,12	5	0,002	0,007
Valor Máximo	22	27,75	0,038	0,497
Coefficiente de Variação (%)	22,96	21,27	40,60	46,97

O diâmetro apresentou 9 classes com amplitude entre as mesmas de 2 cm, a altura 8 classes com amplitude de 3 m, a área seccional 12 classes com amplitude de 0,0035 m² e o volume 10 classes com 0,05 m³, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Frequências observadas para as variáveis diâmetro, altura total, área seccional e volume individual de árvores nos seus respectivos intervalos de classe.

Diâmetro		Altura total		Área seccional		Volume individual	
Intervalo de Classe	Freq/ha	Intervalo de Classe	Freq/ha	Intervalo de Classe	Freq/ha	Intervalo de Classe	Freq/ha
5-7	15	5-8	26	0,002-0,0055	83	0,007-0,057	145
7-9	34	8-11	52	0,0055-0,009	126	0,057-0,107	105
9-11	47	11-14	83	0,009-0,0125	148	0,107-0,157	164
11-13	68	14-17	40	0,0125-0,016	205	0,157-0,207	205
13-15	109	17-20	95	0,016-0,0195	207	0,207-0,257	281
15-17	155	20-23	500	0,0195-0,023	257	0,257-0,307	276
17-19	120	23-26	545	0,023-0,0265	229	0,307-0,357	148
19-21	22	26-29	17	0,0265-0,03	74	0,357-0,407	29
21-23	1			0,03-0,0335	24	0,407-0,457	5
				0,0335-0,037	5	0,457-0,507	2
				0,037-0,0405	2		

Fica evidenciado que para as variáveis diâmetro, área seccional e volume existe maior concentração de indivíduos nas classes centrais da distribuição, no entanto, para a variável altura a frequência de árvores é superior nas classes finais. Essa característica pode ser explicada pela idade do povoamento florestal estudado. Analisando os resultados pode-se afirmar que o povoamento em estudo é caracterizado como uma distribuição unimodal, já que não existiram intervenções silviculturais entre as classes diamétricas existentes.

Os valores da estimativa dos parâmetros das funções de distribuição de densidade de probabilidade Gamma, Beta, Weibull 3P, Normal, Log-Normal e Dagum para as variáveis estudadas estão apresentados na Tabela 4. O ajuste destas funções foi realizado no *software* EasyFit, através do método de máxima-verossimilhança. Sequencialmente com os parâmetros obtidos utilizou-se o Microsoft Office Excel 2010 para os demais processamentos das funções como estatísticas de ajuste e precisão e confecção do gráfico das frequências observadas pela estimada.

Tabela 4: Estimativa dos parâmetros das distintas funções de densidade de probabilidade (fdp's) em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*.

fdp	Parâmetros	Diâmetro	Altura Total	Área Seccional	Volume
Gamma	A	18,96	22	6,07	4,53
	B	0,76	0,95	0,003	0,05
Beta	A	1247,1	44453000	4,89	9,65
	B	6,36	3,84	4,76	6,91
	A	-1626,4	-78408000	-0,006	-0,27
	B	22,87	27,95	0,04	0,54
Weibull 3P	A	36,19	$3,2327 \times 10^8$	4,04	4,66
	B	97,63	$8,562 \times 10^8$	0,03	0,42
	γ	-81,62	$-8,562 \times 10^8$	-0,01	-0,18
Normal	μ	14,5	21	0,02	0,2
	Σ	3,33	4,47	0,01	0,1
Log-Normal	μ	2,64	3,01	-4,17	-1,78
	Σ	0,27	0,29	0,54	0,75
Dagum	A	28,79	61,47	14,4	15,2
	B	18,35	25,11	0,03	0,33
	K	0,13	0,08	0,13	0,09

5.1 Ajuste da Distribuição Diamétrica

Para selecionar a função de densidade de probabilidade (fdp), que melhor representa a distribuição da variável diâmetro, foram analisadas as aderências das funções pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e, posteriormente, verificadas as estatísticas de ajuste e precisão, ou seja, coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

Fdp	Kolmogorov-Smirnov		Syx%		R ² ajustado		Total de árvores/ha
	Dcalculado	Ranking	Estatística	Ranking	Estatística	Ranking	
Dagum	0,019*	1	2,825	4	0,926	4	1360
Weibull 3P	0,041*	2	2,373	2	0,947	2	1360
Beta	0,048*	3	2,370	1	0,948	1	1360
Normal	0,091	4	2,482	3	0,943	3	1357
Gamma	0,120	5	3,059	5	0,913	5	1350
Log Normal	0,132	6	3,646	6	0,877	6	1328

*Aderente pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; Valor de referência de K-S para o estudo ($\alpha=0,05$): 0,05691.

Observando os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, somente as funções Dagum, Beta e Weibull 3P apresentaram aderência para os dados, portanto, apenas essas funções conseguiram representar a distribuição diamétrica no povoamento. As funções Gamma, Normal e Log-Normal não se aderiram. Esses resultados podem ser corroborados na Figura 2, na qual verifica-se o comportamento das funções em descrever a distribuição dos diâmetros.

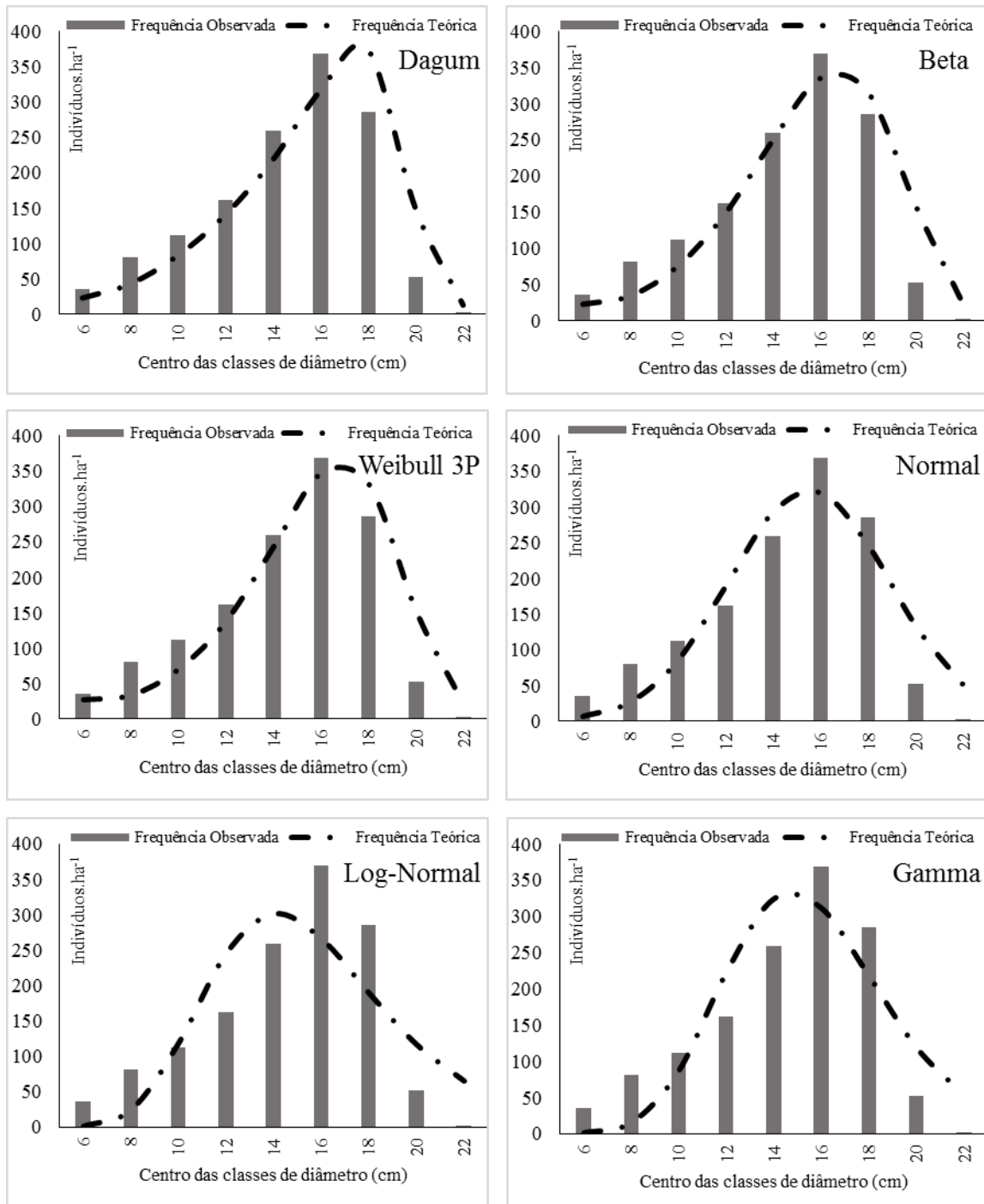


Figura 2: Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de diâmetro em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

Analisando os gráficos das distribuições probabilísticas é possível perceber visualmente a superioridade das distribuições que se aderiram ao povoamento de estudo (Beta, Weibull 3P e Dagum), as quais estão apresentadas na Figura 3. Verifica-se que todas apresentaram comportamentos semelhantes com ligeira tendência em subestimar os indivíduos nas menores classes e superestimar nas classes de maior diâmetro.

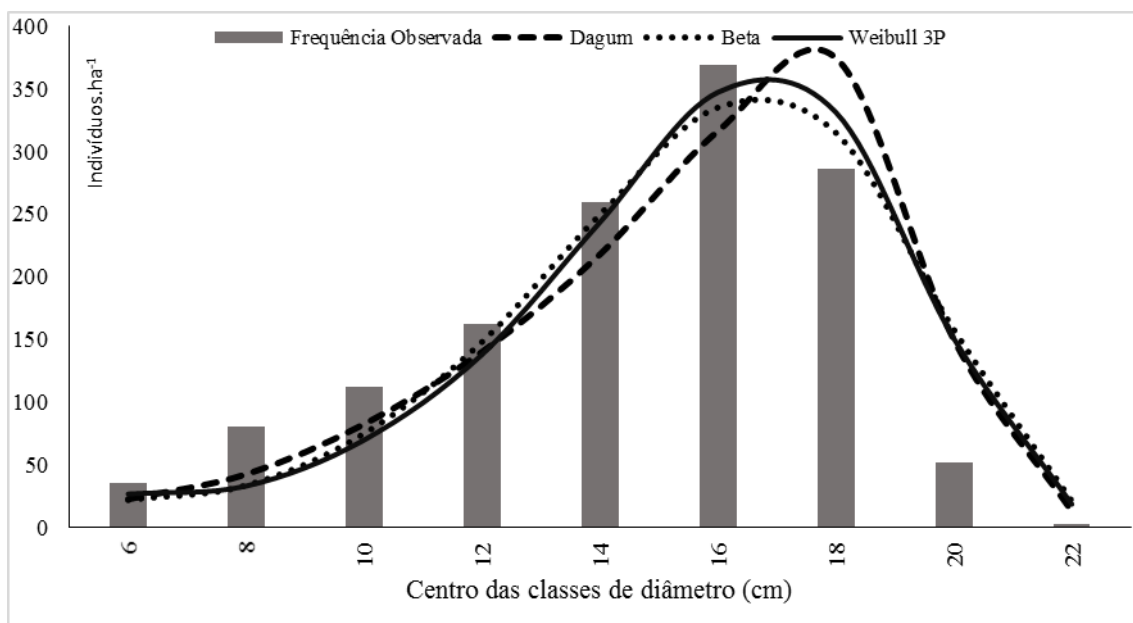


Figura 3: Comportamento das distribuições aderentes Dagum, Beta e Weibull 3P para descrever a distribuição diamétrica em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal

ARCE (2004) estudando as distribuições diamétricas, em um povoamento de clones de *Populus deltoides*, verificou que todas as distribuições por ele analisadas (Normal, Gamma, Beta, Sb de Johnson e Weibull 3P) apresentaram resultados satisfatórios, o que assemelha-se, em parte, com os obtidos neste estudo.

A Tabela 5 mostra que as funções aderentes apresentam estatísticas de ajuste e precisão muito próximas, sendo que a função Beta se sobressaiu as demais. Porém, tanto a função Weibull 3P como a função Dagum podem ser utilizadas para descrever o comportamento da distribuição em classes de diâmetros deste povoamento conforme as estatísticas de aderência e de precisão.

Dentre as diversas funções de densidade de probabilidade utilizadas para descrever a variável diâmetro em povoamentos florestais, funções como Weibull 3P e a Beta se destacam em diversos trabalhos. FERREIRA (2011) estudou o comportamento da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas, LUREIRO et al. (2013) analisaram a distribuição diamétrica para um povoamento de *Araucaria angustifolia*, no Paraná, e ORELLANA et al. (2014) realizaram a modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de floresta Ombrófila Mista, localizada na Floresta Nacional de Irati.

No presente estudo a função Dagum também foi aderente, apresentando estatística de ajuste e precisão satisfatória para descrever a variável em questão, todavia, esta função é pouco usual no meio florestal, embora, tenha demonstrado aderência em trabalhos como SCHIKOWSKI et al. (2016) que descreveram o comportamento da distribuição diâmetria de um povoamento de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta Ombrófila mista no Paraná, corroborando aos resultados encontrados nesta pesquisa.

5.2 Ajuste da Distribuição da Altura Total

Para de selecionar a função de densidade de probabilidade (fdp), que melhor representa a distribuição da altura total, analisou-se os resultados das aderências das funções pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e, posteriormente, foram verificadas as estatísticas de ajuste e precisão, coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), conforme exposto na Tabela 6.

Tabela 6: Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

fdp	Kolmogorov-Smirnov		Syx%		R ² ajustado		Total de árvores/ha
	Dcalculado	Ranking	Estatística	Ranking	Estatística	Ranking	
Weibull 3p	0,14558	1	6,980203	5	0,663832	5	1234
Beta	0,15637	2	4,196788	2	0,878478	2	1360
Dagum	0,17136	3	4,065664	1	0,886037	1	1360
Normal	0,23494	4	5,812397	3	0,766907	3	1308
Gamma	0,26302	5	6,135238	4	0,740294	4	1295
Log Normal	0,27912	6	7,468333	6	0,615172	6	1213

*Aderente pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; Valor de referência de K-S para o estudo ($\alpha=0,05$): 0,05691.

Embora alguns estudos conseguiram demonstrar aderência entre as funções de densidade de probabilidade para a variável altura, tais como, MACHADO et al. (2010) e NETO et al. (2014), no presente trabalho tal aderência não foi verificada em nenhuma das funções citadas (Figura 4), indicando assim que outras funções deveriam ser testadas ou mesmo que o regime de manejo e a ausência de tratamentos silviculturais, no povoamento em estudo, fizeram com que nenhuma das funções se aderissem, e, por fim, este resultado ocorreu devido a características intrínsecas do povoamento.

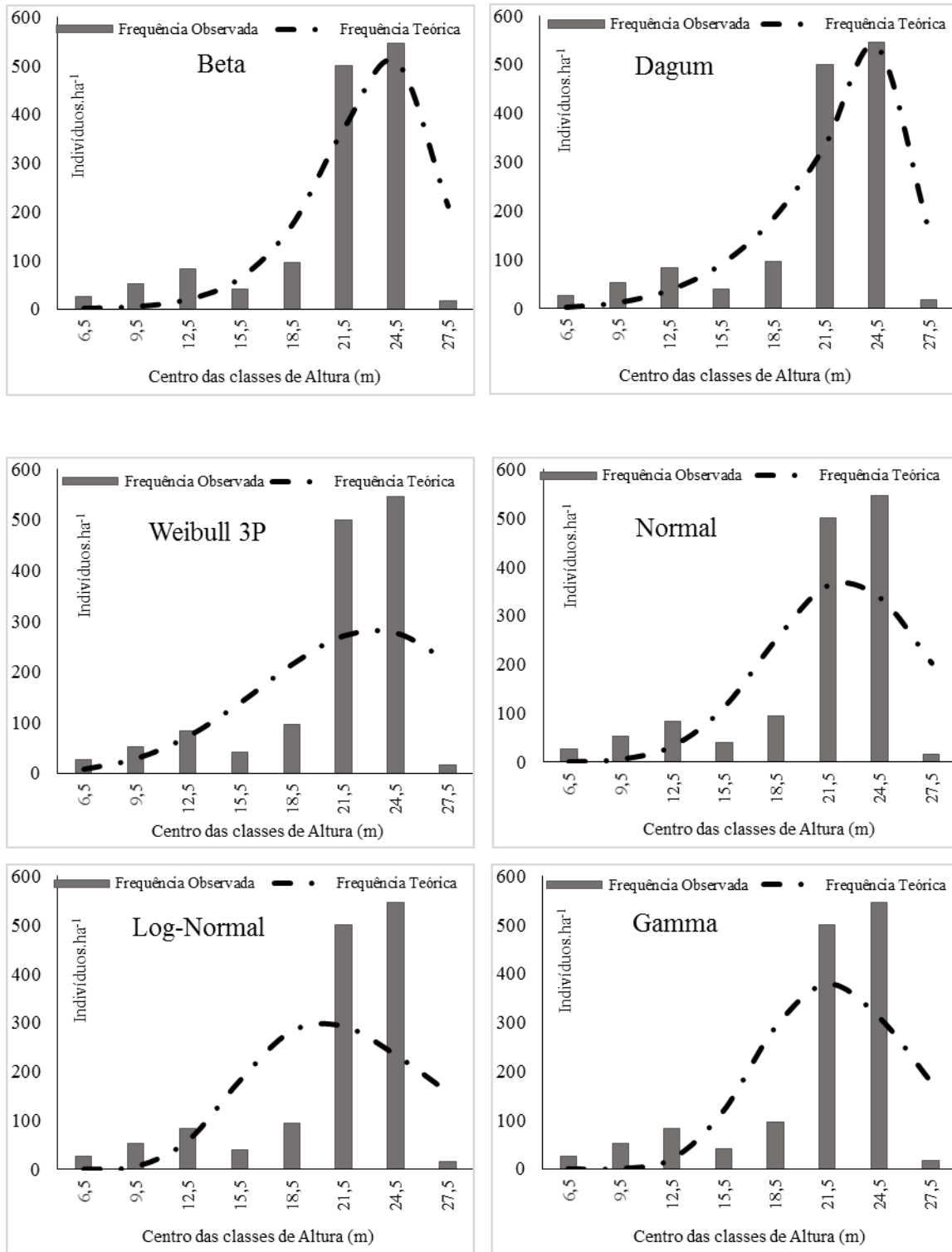


Figura 4: Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de altura total em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

5.3 Ajuste da Distribuição da Área Seccional

Para selecionar a função de densidade de probabilidade (fdp), que melhor representa a distribuição da variável área seccional, foram analisadas as aderências das funções pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e, posteriormente, verificadas as estatísticas de ajuste e precisão, coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), conforme exposto na Tabela 7.

Tabela 7: Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

fdp	Kolmogorov-Smirnov		Syx%		R ² ajustado		Total de árvores/ha
	Dcalculado	Ranking	Estatística	Ranking	Estatística	Ranking	
Dagum	0,019*	1	2,279	1	0,958	1	1360
Weibull 3p	0,049*	2	2,439	2	0,951	2	1360
Beta	0,053*	3	2,472	3	0,950	3	1360
Normal	0,060	4	2,530	4	0,948	4	1360
Gamma	0,105	5	3,862	5	0,878	5	1360
Log Normal	0,132	6	4,453	6	0,838	6	1355

*Aderente pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; Valor de referência de K-S para o estudo ($\alpha=0,05$): 0,05691.

Observando os resultados do teste aderência Kolmogorov-Smirnov, é possível inferir que somente as funções Dagum, Beta e Weibull 3P apresentaram aderência para os dados da variável área seccional, indicando que somente essas funções conseguiram representar a distribuição para esse atributo dos clones de *Eucalyptus urograndis*, resultado este já esperado haja vista que estas mesmas funções foram aderentes para a variável diâmetro, a qual está intrinsecamente ligada com a área seccional. As funções Gamma, Normal e Log-Normal não se aderiram a este povoamento. Esses resultados podem ser corroborados pela Figura 5, na qual verifica-se o comportamento das funções para descrever a distribuição da variável.

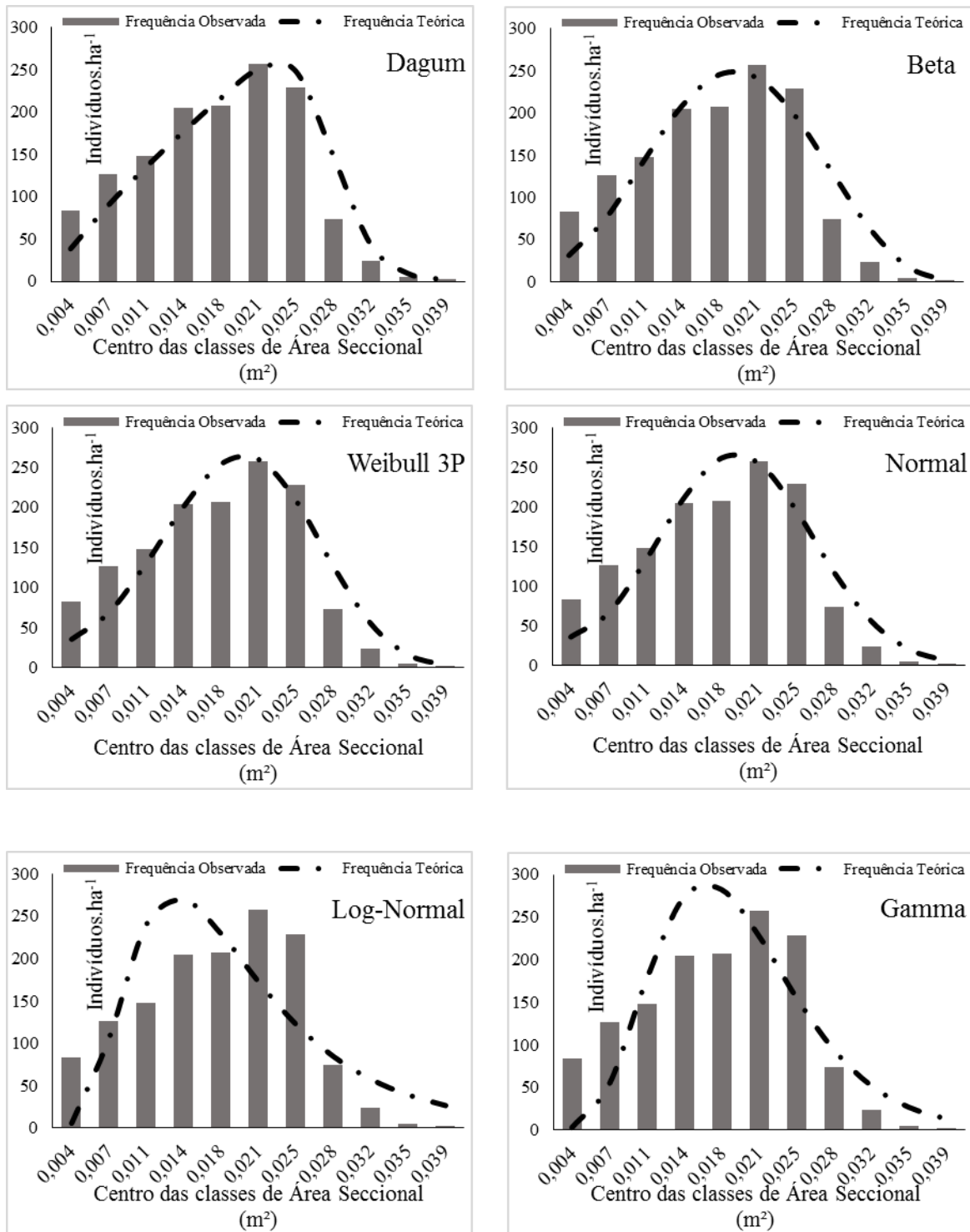


Figura 5: Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de área seccional em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

Analisando a Figura 6 que apresenta as distribuições probabilísticas aderentes é possível perceber visualmente a adequação dessas funções para a variável do povoamento estudado. Verifica-se que todas subestimaram os indivíduos nas menores classes e superestimaram nas maiores classes da variável área seccional.

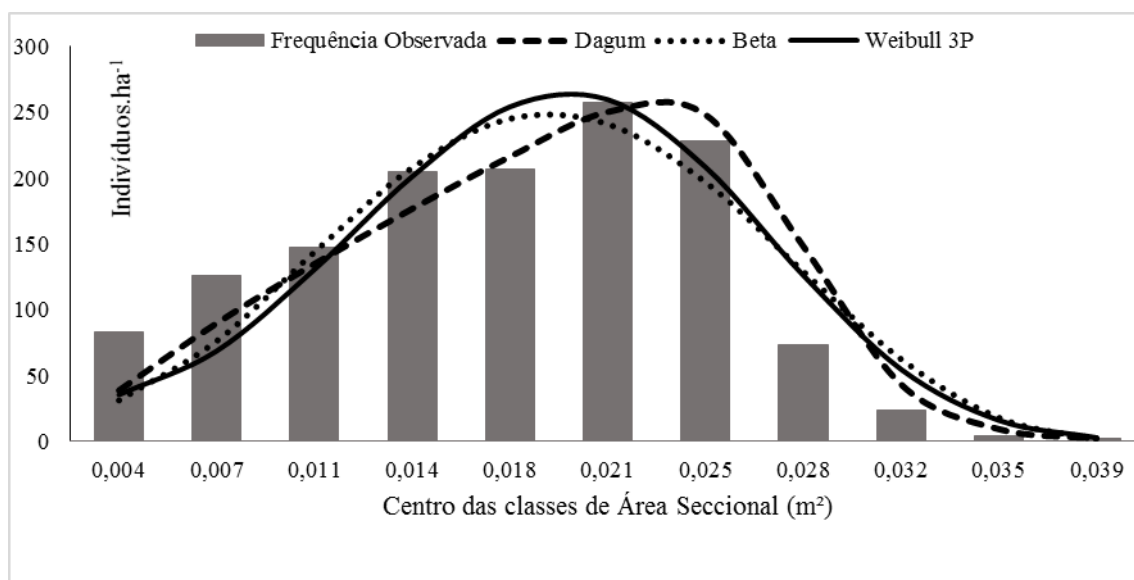


Figura 6: Comportamento das distribuições aderentes Dagum, Beta e Weibull 3P para descrever a distribuição da área seccional em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, no Distrito Federal.

Ao analisar a Tabela 7 observa-se que as funções aderentes apresentam estatísticas de ajuste e precisão semelhantes, sendo que a função Dagum se sobressaiu as demais. Porém, tanto a função Weibull 3P como a função Beta podem ser utilizadas para descrever o comportamento da distribuição em classes de área seccional deste povoamento, conforme as estatísticas de aderência e de precisão. Não é comum encontrar na literatura estudos que utilizem a função Dagum para descrever a distribuição da área seccional.

Dentre os poucos trabalhos realizados para descrever a distribuição da variável área seccional, em povoamentos florestais, é possível destacar o estudo de MACHADO et al. (2010), que obteve resultados de aderência semelhantes a este trabalho.

Considerando que a variável área seccional tem alta correlação com o volume, sendo possível ajustar funções volumétricas, e, levando em consideração que a partir da área seccional é possível realizar a projeção da área basal, em nível de povoamento, justifica-se a realização de novos estudos para gerar maior conhecimento sobre a distribuição dessa variável.

5.4 Ajuste da Distribuição do Volume Individual

Para selecionar a função de densidade de probabilidade (fdp), que melhor representa a distribuição do volume individual, foram analisados os resultados das aderências das funções pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e, posteriormente, verificadas as estatísticas de ajuste e precisão, coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), conforme exposto na Tabela 8.

Tabela 8: Valores do teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa em porcentagem e coeficiente de determinação ajustado para diferentes funções de densidade de probabilidade (fdp's) em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

fdp	Kolmogorov-Smirnov		Syx%		R ² ajustado		Total de árvores/ha
	Dcalculado	Ranking	Estatística	Ranking	Estatística	Ranking	
Dagum	0,053*	1	2,800	4	0,929	4	1359
Weibull 3P	0,054*	2	2,373	1	0,949	1	1360
Beta	0,060	3	2,470	2	0,945	2	1360
Normal	0,072	4	2,547	3	0,942	3	1357
Gamma	0,130	5	4,342	5	0,830	5	1344
Log Normal	0,171	6	5,810	6	0,696	6	1252

*Aderente pelo teste de Kolmogorov-Smirnov; Valor de referência de K-S para o estudo ($\alpha=0,05$): 0,05691.

Analisando os resultados do teste aderência Kolmogorov-Smirnov, é possível observar que somente as funções Dagum e Weibull 3P apresentaram aderência para o atributo volume individual, indicando que somente essas funções conseguiram representar a distribuição para essa variável no povoamento estudado. As funções Gamma, Beta, Normal e Log-Normal não se aderiram a este povoamento para essa variável. Esses resultados podem ser corroborados pela Figura 7, na qual verifica-se o comportamento das funções para descrever a distribuição do volume individual.

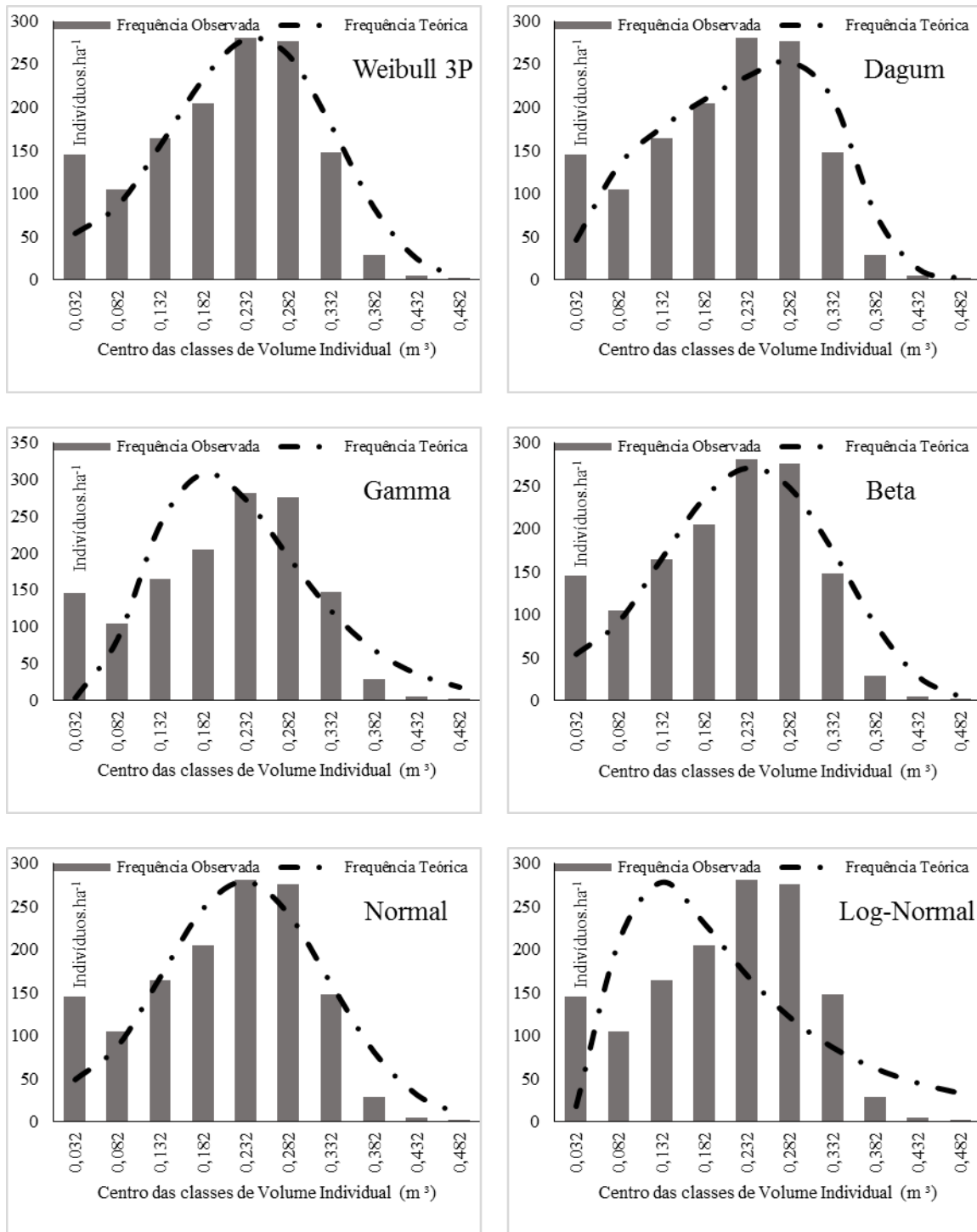


Figura 7: Comportamento das funções de densidade de probabilidade na descrição da distribuição em classes de volume individual em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no Distrito Federal.

Analisando os resultados das distribuições probabilísticas é possível perceber visualmente a superioridade das distribuições que se aderiram ao povoamento de estudo (Weibull 3P e Dagum), as quais estão apresentadas na Figura 8. Verifica-se que essas funções apresentaram comportamentos diferenciado nas classes iniciais da distribuição, a função Weibull 3P apresentou ligeira tendência em subestimar os indivíduos, enquanto que a função Dagum superestimou. Nas classes de maior diâmetro as duas funções superestimaram ligeiramente a frequência real.

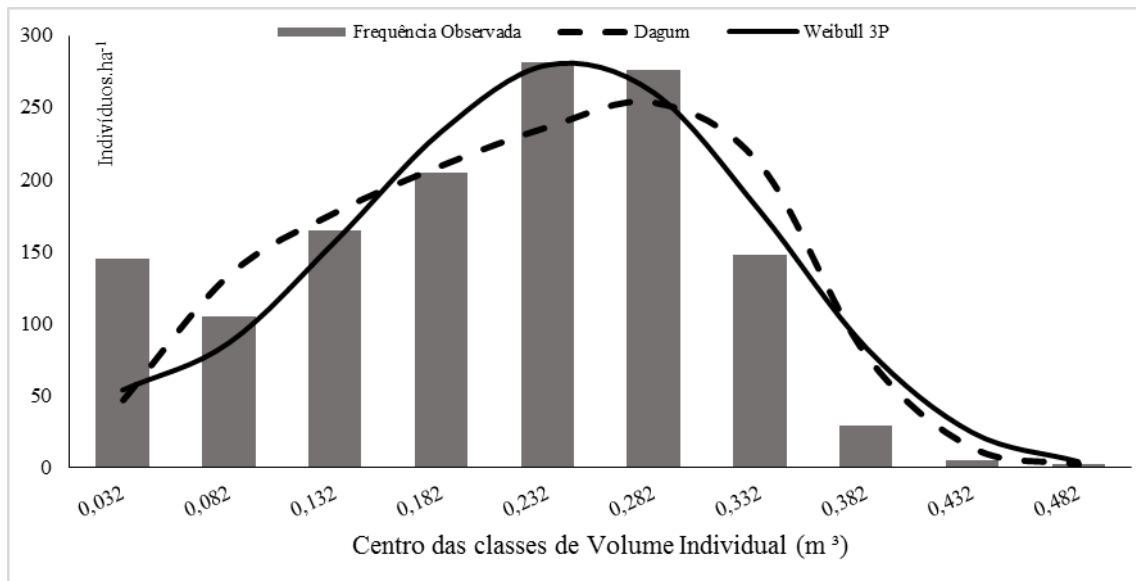


Figura 8: Comportamento das distribuições aderentes Dagum e Weibull 3P para descrever a distribuição do volume individual em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, no Distrito Federal.

Ao analisar a Tabela 8 verifica-se que as funções aderentes apresentam estatísticas de ajuste e precisão muito próximas, sendo que a função Weibull 3P se apresentou superior à função Dagum.

Poucos são os estudos onde as funções de densidade de probabilidade são utilizadas para descrever a variável volume individual em povoamentos florestais, embora, tal resultado corrobora com o obtido por MACHADO et al. (2010) no qual trabalhando em um povoamento de *Araucaria angustifolia* identificou a distribuição do volume individual utilizando funções de densidade de probabilidade.

6 CONCLUSÃO

O modelo que melhor descreveu a variável diâmetro foi a função de densidade de probabilidade Beta, porém, as fdp's Dagum e Weibull 3P também foram aderentes, apresentando estatísticas de ajuste e precisão semelhantes.

No estudo da variável altura total nenhuma das funções testadas mostraram-se aderentes, indicando que novas funções precisam ser testadas ou que o regime de manejo e ausência de tratamentos silviculturais neste povoamento comprometeram a aderência das funções testadas para descrever sua estrutura vertical;

Para a área seccional as funções Beta, Dagum e Weibull 3P mostraram aderência em suas distribuições em classes com uma ligeira superioridade da função Dagum;

A função Weibull 3P foi a que melhor representou a variável volume, apresentando aderência pelo teste de K-S. A função Dagum também foi aderente, porém, foi ligeiramente inferior à Weibull 3P;

As funções Gamma, Normal e Log-Normal não mostraram aderência em nenhum dos atributos (diâmetro, altura total, área seccional e volume individual) estudados no povoamento; e

Embora o povoamento seja clonal, o mesmo apresenta grande heterogeneidade, provavelmente devido à falta de práticas de manejo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. T.; BRANDÃO, C. F. L. e S; ROCHA, K. D. da; SILVA, J. T. da; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C. **Estrutura diamétrica e hipsométrica do componente arbóreo de um fragmento de Mata Atlântica, Recife-PE.** CERNE, vol. 13, núm. 1, 2007, p. 83-95.

ARCE, J. E. **Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* March através de distribuições diamétricas probabilísticas.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, 2004, p. 149-164.

BAILEY, R. L. T; DELL, D. **Quantifying diameter distributions with the Weibull Functions.** Forest Sci. 19, 1972, p. 97-104.

BARRA, O. S. V.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; CORTE A. P. D. **Proposta Metodológica para ajuste ótimo da distribuição diamétrica Weibull 3P.** Revista Floresta, Curitiba, n. 34 (3), 2004, p. 387-393.

BARROS, P. L. C. de; MACHADO, S. A; BURGER, D; SIQUEIRA, J. D. P. **Comparação de modelos descritivos da distribuição diamétrica em uma floresta tropical.** Revista Floresta, 1979, p. 19-32.

BARTOSZECK, A. C. de P. E; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. **A Distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na região metropolitana de Curitiba.** Floresta, Curitiba, v.34, 2004. P. 305-323.

BINOTI, D. H. B; BINOTI, M. L. M. S; LEITE, H. G; FARDIN, L; OLIVEIRA, J. C. **Probability density functions for description of diameter distribution in thinned stands of *Tectona grandis*.** Cerne, Lavras, v. 18, n.2, 2012, p.185-196.

BINOTI, M. L. M. S; BINOTI, D. H. B; LEITE, H. G; SILVA, A. A. L. da; PONTES, C. **Utilização de redes neurais artificiais para a projeção da distribuição diamétrica de povoamento equiâneos.** Revista Árvore, Viçosa, v.38, n.4, 2014, p.747-754.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 4.ed. Viçosa, 2006. 605p.

CARNEIRO, J. F. **Modelo Dagum de distribuição pessoal do rendimento: uma aplicação às receitas familiares em Portugal**; *Análise Social*, vol. XVIII, 1982, p. 231-243.

CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÃO SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Atualização da biotecnologia na eucaliptocultura nacional**. N°4, 2007, p. 17.

CIB-Conselho de Informações sobre Biotecnologia, **Guia do Eucalipto-Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**, 2008, p.20.

COUTO, H.T.Z. **Distribuição de diâmetros em plantações de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea***. Piracicaba: ESALQ, 1980. P. 79.

CEPEA- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, **Informativo CEPEA Setor Florestal – Exportações de papel, celulose e madeira aumentam em dezembro de 2015**. ESALQ/USP, 2015, p. 11.

CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations**. Georgia Forest Research Council Report, v. 13, 1965, p. 1-9.

CUNHA, U.S. **Análise da estrutura diamétrica de uma floresta tropical úmida da Amazônia Brasileira**. Curitiba: UFPR, 1995. p. 134.

EBLING, A. A; PELISSARI, A. L; ABRÃO, S. F; BAMBERG, R. **Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull**. *Revista Agro*, v. 8, n. 1, 2014, p. 112-118.

EISFELD, R. de L; SANQUETTA, C. R; ARCE, J. E; MAESTRI, R; WEBER, K. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística**. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 35, n.2, 2005, p. 317-328.

EMBRAPA floresta, **Plantio de Florestas de Rápido Crescimento para Madeira Nobre, Alternativa de Renda para Pequenos e Médios Produtores Rurais**, 2003.

FERREIRA, J.C.S. **Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade**. Dissertação de Mestrado, UNB, 2011, p. 116.

FINGER, C.A.G. **Distribuição de diâmetros em acácia negra, *Acacia mearnsii* de WILD, em diferentes povoamentos e idade**. Curitiba: UFPR, 1982. p. 129.

FREITAS, G. de. **A história ambiental dos eucaliptos: Austrália, Brasil e Vale do Paraíba paulista**. UNITAU, 2014, p. 28.

GOMIDE, L. R; SCOLFORO, J. R. S; OLIVEIRA, A. D. de. **Análise das estruturas diamétrica e hipsométrica de fragmentos florestais localizados na bacia do rio São Francisco, em Minas Gerais, Brasil**. Floresta, Curitiba, PR. V.39, n.2, 2009, p. 239-251.

GUIMARÃES, D. P; **Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de Alta Flexibilidade**. EMBRAPA, 2002, p. 38.

IBÁ-Industria Brasileira de Árvores, **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013**. 2014, p. 100.

IPEF – Instituto de pesquisas e estudos florestais, **Indicações para escolha de espécies de Eucalyptus**, Atualizado em 14/12/2005, visto em 05/02/2016 <http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>.

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

JUNIOR, C. A. A; LEITE, H. G; CASTRO, R. V. O; BINOTI, D. H. B; ALCÂNTARA, A. E. M. de; BINOTI, M. L. M. da S. **Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função gama**. Cerne, Lavras, v. 19, n. 2, 2013, p. 307-314.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos**. Tese (doutorado em agronomia/irrigação e drenagem) Universidade estadual paulista Botucatu, 2008, v-171.

LOUREIRO, G.H; CURTO, R. de A; NETTO, S. P; ROSOT, N.C; MARONGON, G. P. **Ajuste de funções de distribuição diamétrica para um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze antes e após desbaste**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; 2013, p. 56-68

MACHADO, S. A; MELLO, J. M. de; 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, 2000, p.55-66.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria, 2. ed.** Guarapuava: UNICENTRO, 2009. P. 316.

MACHADO, S. A; NASCIMENTO, R. G. M; MIGUEL, E.P; TEO, S. J; AUGUSTYNCZIK, A. L. D. **DISTRIBUTION OF TOTAL HEIGHT, TRANSVERSE AREA AND INDIVIDUAL VOLUME FOR *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze.** Cerne, Lavras, v. 16, n. 1, 2010, p. 12-21.

MEYER, P. L. **Probabilidade: aplicaes  estatística.** Rio de Janeiro, 1974, p. 391.

MONTANARI, R.; JUNIOR, J. M.; CAMPOS, M. C. C; CAVALCANTE, I. H. L. **Níveis de resíduos de metalurgia e substratos na formao de mudas de eucalipto (*Eucalyptu urograndis*).** Revista de Biologia e Ciências da Terra, vol. 7, nm. 1, primer semestre, 2007, p. 59-66.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil. Verso e Reverso Comunicaes.** São Paulo, 2000, p. 112.

NETO, S. P. de M; PULROLNIK, K; VILELA, L; MARCHÃO, R. L; JUNIOR, R. G; MACIEL, G. A. **Distribuio diamétrica e altimétrica do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril.** EMBRAPA Cerrados, 2014, p. 27.

NETTO, C. C. **Dinâmica da distribuio diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos.** Dissertao (mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008 p. 106.

ORELLANA, E. **Funoes densidade de probabilidade no ajuste da distribuio diamétrica de um fragmento de floresta ombrófila mista.** UNICENTRO, 2009, 122P.

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, 2000, p. 113.

REIS, G. M; JUNIOR, J. I. R. **Comparo de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais.** UFV, 2007, p. 13.

RODOVANSKI, E. **Modelos estatísticos para previsão de crescimento de plantações florestais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003, p. 107.

SANTOS, R. O. dos; LIMA, R. B. de; ABREU, J.C. de; APARÍCIO, P. da S.; OLIVEIRA, C. P. de. **Modelagem da distribuição em altura de *Eschweilera coriacea* (DC.) S.A. Mori em uma floresta ombrófila densa, Amapá, Brasil**. CONTECC, 2015, p. 4.

SCHIKOWSKI, A. B; MARTINS, A. P. M; SCHIAVO, B. N. de V; STANG, M. B; CORTE, A. P. D; NETTO, S. P; SANQUETTA, C. R. **Dinâmica da distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta ombrófila mista no Paraná**. Revista Bras. Biom., Lavras, v.34, n. 1, 2016, p. 163-182.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**, LAVRAS: UFLA/FAEPE, 2006, p. 393.

SCOLFORO, J. R. S; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**; Lavras: UFLA/FAEPE, 2004, p. 289.

SILVA, J. A. A. da. **Princípios básicos de dendrometria**. Universidade Federal de Pernambuco, 1979, p. 191.

SILVA, E. Q. da. **Nova função de densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal**. 2003. 98p.

SILVA, R. P. B. **Metodologia de Caracterização e Modelagem de Tráfego para a Transmissão de Imagens Médicas**, Universidade Federal de Sergipe, Dissertação, 2015.

SOARES, J. B. **Otimização do sortimento de produtos florestais a partir de funções de distribuição diamétrica e funções de forma** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1993, 100p.

SOUZA, N. D. de, **Identificação de madeiras de clones de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *Eucalyptus urograndis* por rmn13C**, Dissertação mestrado Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008, p. 198.

STEPKA, T. F; LISBOA, G. dos S; KURCHAITT, S. M. **Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de**

Eucalyptus sp na região centro-sul do Paraná. Guarapuva, PR, v. 7, n.3, 2011, p. 429-439.

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

TÉO, S. J; ROCHA, S. P. da; BORTONCELLO, A. C; PAZ, R. A; COSTA, R. H. da. **Dinâmica da distribuição de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC.** *Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo*, v.31, n 67, 2011, p 183-192.

TÉO, S. J; MARCON, A; EHLERS,T; BIANCHI, J. C; PELOSO, A; NAVA, P. R; COSTA, R. H da. **Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC.** *Floresta, Curitiba-PR*, v. 43, n. 3, 2013, p. 430-452.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** Lavras: UFLA, 1997. p. 155.

VIALI, L. **Teste de hipóteses não paramétricos.** UFRGS. 2008, p.43.

WEBER, S. H. **Desenvolvimento de nova função densidade de probabilidade para avaliação de regeneração natural.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006, p. 87.

WOLFF II, N. I. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda*** L.UNICENTRO, Irati-PR, 2012, p. 62.