

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
RENOLDE RODRIGUES**

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO HIPSOMÉTRICA DE MUDAS DE IPÊ-ROXO
EM DIFERENTES RECIPIENTES**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
2018**

RENOLDE RODRIGUES

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO HIPSOMÉTRICA DE MUDAS DE IPÊ-ROXO
EM DIFERENTES RECIPIENTES**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

Orientador: Me. Bruno Oliveira Lafetá

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

R685m Rodrigues, Renolde.
2018

Modelagem da distribuição hipsométrica de mudas de ipê-roxo em diferentes recipientes. / Renolde Rodrigues. – 2018.
32f. ; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação Lato Sensu em Meio Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2018.

Orientador: Me. Bruno Oliveira Lafetá.

1. Distribuição. 2. Handroanthus heptaphyllus. 3. Hipsometria.
4. Recipientes. I. Rodrigues, Renolde. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.
III. Título.

CDD 634.9285

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Campus São João Evangelista

Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

RENOLDE RODRIGUES

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO HIPSOMÉTRICA DE MUDAS DE IPÊ-ROXO
EM DIFERENTES RECIPIENTES**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Especialista em Meio Ambiente.

Aprovado em: 26 / 05 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Bruno Lafayette

Prof. Me. Bruno Oliveira Lafeté (Orientador) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista.

Tamires Mouslech Andrade Penido

Prof^a. Ma. Tamires Mouslech Andrade Penido – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Minas Gerais - *Campus* Diamantina.

Patricia Lage

Ma. Patricia Lage – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter mim dados Força e Saúde para chegar a mais esta etapa final.

Ao meu professor orientador Me. Bruno Oliveira Lafetá, pelo auxílio, disponibilidade de tempo e material, sempre dedicado a pesquisa.

Ao meus pais e irmão que sempre mim incentivaram a não desistir dos meus sonhos.

A minha esposa Aline Silva Andrade e minha Filha Maria Cecília Andrade Rodrigues, que estão sempre comigo mim apoiando e mim dando forças para vencer os obstáculos da vida.

Meu sincero agradecimento a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Muito Obrigado!

“Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.”

(ISAÍAS 41:10)

RESUMO

Informações hipsométricas de mudas permitem maior assertividade das decisões silviculturais em viveiros. O objetivo foi avaliar a eficiência de diferentes funções densidade de probabilidade (f.d.p.) para estimar e comparar a distribuição da altura de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* em diferentes recipientes de cultivo. Foram produzidas 131 mudas em dois tipos de recipientes; 81 unidades em tubetes e o restante, em sacos plásticos. Realizou-se o censo aos 122 dias de idade, mensurando a altura total das mudas com auxílio de régua milimetrada. As mudas não apresentaram sistema caulinar tenro ou quebradiço. Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 2,5cm de altura. Foram ajustadas sete f.d.p. pelo método da máxima verossimilhança, sendo selecionada aquela com melhor desempenho preditivo para identificar a igualdade estatística entre as distribuições estimadas para o tamanho de mudas em cada recipiente. A ordem de desempenho preditivo das f.d.p. foi distinta entre os recipientes. A função Weibull de dois parâmetros pode ser indicada para modelar a distribuição da altura de mudas de *H. heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em tubetes e em sacos plásticos. Em termos hipsométricos, os sacos plásticos foram superiores aos tubetes para a produção de mudas da espécie estudada.

Palavras-chave: distribuição, *Handroanthus heptaphyllus*, hipsometria, recipientes

ABSTRACT

Hypsometric information of seedlings allows greater assertiveness of silvicultural decisions in nurseries. This study aimed to evaluate the efficiency of different probability density functions (p.d.f.) to estimate and compare the height distribution of *Handroanthus heptaphyllus* seedlings in different cultivation containers. One hundred and thirty one seedlings were produce in two types of containers; 81 units in tubes and the rest, in plastic bags. The census was realize at 122 days of age, measuring the total height of the seedlings with aid of a millimeter ruler. The seedlings did not present a tender or brittle caulinar system. The data were group into biometric classes with regular intervals of 2.5cm in height. Seven p.d.f. were adjust by the maximum likelihood method and the one with the best predictive performance was select to identify the statistical equality between the distributions estimated for the seedling size in each container. The order of predictive performance of p.d.f. was distinct between recipients. The Weibull of two parameters function can be indicate to model the height distribution of *H. heptaphyllus* seedlings at 122 days of age, produced in plastic bags and tubes. In hypsometric terms, the plastic bags were superior to the tubes for the production of seedlings of the species studied.

Keywords: distribution, *Handroanthus heptaphyllus*, hypsometry, containers

FIGURAS

- Figura 1** *Handroanthus heptaphyllus* 10
- Figura 2** Frequência relativa observada e estimada pelas Funções Densidade de Probabilidade para a altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes..... 22
- Figura 3** Frequência relativa estimada com a função Weibull 2P para a altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes. As setas indicam a média da distribuição observada do banco de dados. 23

TABELAS

Tabela 1 Funções de densidade de probabilidade testadas para ajuste da distribuição da altura de mudas da espécie <i>Handroanthus heptaphyllus</i> aos 122 dias de idade	18
Tabela 2 Caracterização da altura de mudas da espécie <i>Handroanthus heptaphyllus</i> aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes.	20
Tabela 3 Coeficientes e qualidade de ajuste das Funções Densidade de Probabilidade (f.d.p.) utilizadas para estimativa da frequência relativa da altura de mudas da espécie <i>Handroanthus heptaphyllus</i> aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes.	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 ALTURA	14
2.2 RECIPIENTE PLÁSTICO E TUBETES	14
2.3 A DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
4 RESULTADOS	20
6 CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Handroanthus heptaphyllus (Vell.) Mattos (Bignoniaceae), conhecida popularmente como ipê-roxo e pau-d'arco, é uma espécie arbórea com registros de ocorrência em quase todo território brasileiro, desde a região Sul até o Nordeste (OLIVEIRA et al., 2015; DULLIUS et al., 2016). Tem sido amplamente usada para fins madeiros, devido sua madeira pesada ($1,070\text{g cm}^{-3}$), arborização urbana e reconstituições de reservas legais e áreas de preservação permanente (MORI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015).



Figura 1 *Handroanthus heptaphyllus*

Autoria: O próprio

A escolha de recipientes para a produção de mudas deve contemplar diversos critérios técnicos e financeiros. Os sacos plásticos e tubetes são os recipientes mais recomendados para a produção de mudas no país, cada um exprime vantagens e limitações (PIAS et al., 2015). Os sacos plásticos possuem baixo custo de aquisição, porém demandam mais espaço de produção e mão-de-obra para o manejo das mudas, além da facilidade de rompimento sob manuseio inadequado (TEIXEIRA et al., 2009). Uma alternativa que facilita o sequenciamento de operações em viveiros é o uso de tubetes de polipropileno reutilizáveis, que possuem estrias (nervuras) laterais e um orifício inferior (fundo aberto) para o direcionamento do crescimento

radicular e minimização de problemas com o enovelamento (DOMINGUEZ-LERENA et al., 2006; FERRAZ e ENGEL, 2011).

Os recipientes moldam o sistema radicular, protegem as raízes de danos mecânicos e propiciam suporte para a nutrição. Apesar da maior demanda de água e fertilizantes, recipientes volumosos disponibilizam mais espaço para o desenvolvimento de raízes e, em alguns casos, intensificam o ritmo de crescimento de mudas (DOMINGUEZ-LERENA et al., 2006; PIAS et al., 2015). Rotineiramente, recipientes volumosos são usados para a propagação seminal de espécies nativas, em razão da falta de conhecimento do padrão de crescimento e distribuição do sistema radicular.

A altura e sua razão com a massa seca de parte aérea são excelentes atributos a serem considerados para a avaliação qualitativa de mudas (GOMES et al. 2002). A altura é um atributo biométrico que permite inferir sobre o potencial desempenho de uma muda de forma rápida, objetiva e não destrutiva. Além disso, mudas altas tendem a ter mais sucesso no estabelecimento e sobrevivência em campo (LANDERGOTT et al., 2012; WESTFALL e MCWILLIAMS, 2017).

É comum representar grandes conjuntos de dados por meio de medidas generalistas de posição e dispersão, negligenciando informações relacionadas à respectiva distribuição. Informações detalhadas da estrutura hipsométrica de mudas permitem maior precisão e assertividade das decisões silviculturais por proprietários individuais e grandes empresas florestais, como a aplicação de um plano de manejo nutricional e logístico. O ajuste de modelos de distribuição biométrica possibilita a estimação do número de mudas dentro de intervalos ou classes de tamanho, que haja um limite inferior e superior (AMARAL et al., 2009; RANA et al., 2017). A otimização da alocação de insumos para o crescimento de determinadas mudas com tamanho de interesse racionaliza a aplicação de corretivos e fertilizantes.

No tocante à produção de mudas de espécies nativas, o sucesso de um planejamento depende da quantidade e qualidade das informações disponíveis. A modelagem da distribuição hipsométrica é uma técnica estatística importante capaz de subsidiar decisões silviculturais, tendo como exemplo a escolha de recipientes de cultivo.

A modelagem de distribuições biométricas tem ganhado cada vez mais destaque devido sua contribuição para o planejamento de empreendimentos florestais, cujo foco é a obtenção de multiprodutos. No caso específico de viveiros, a expedição de mudas para diferentes finalidades (multiprodutos) é uma prática que deve ser analisada do ponto de vista operacional e logístico a fim de maximizar rendimentos. Uma abordagem comum em modelos

de distribuição é o uso de funções estatísticas de probabilidade, conhecidas como Funções Densidade de Probabilidade (f.d.p.), para caracterizar a estrutura do tamanho de um conjunto de plantas (DIAMANTOPOULOU et al., 2015).

Diversos pesquisadores têm se dedicado à construção e aplicação de modelos de distribuição diamétrica (BAILEY; DELL, 1973; LEITE et al., 2010; BINOTI et al., 2012; DIAMANTOPOULOU et al., 2015; PODLASKI et al., 2018) e hipsométrica de árvores (KOEHLER et al., 2010; SOUZA et al., 2013; WESTFALL e MCWILLIAMS, 2017). Contudo, tal prática de modelagem ainda é incipiente ou inexistente em nível de viveiro. As funções mais utilizadas na área florestal são a Weibull, Normal, Log-normal, Gama, Logística, Log-logística, Cauchy, Johnson's SB, Beta, Frechet, Erlang, Rayleigh e Hiperbólica (LEITE et al., 2010; BINOTI et al., 2012; CAMPOS e LEITE, 2017). As f.d.p. são predominantemente ajustadas pelo método da máxima verossimilhança, propiciando estimativas confiáveis (CAMPOS e LEITE, 2017).

A distribuição hipsométrica de mudas fundamenta-se em um histograma de frequência da altura e espera-se que apresente diferentes formas conforme a espécie, idade e tratamentos silviculturais. Apesar da intensa utilização de recipientes em viveiros, ainda faltam pesquisas detalhadas sobre suas implicações na distribuição hipsométrica vegetal.

Mediante o exposto, as seguintes hipóteses foram testadas: i) a função Weibull é flexível o suficiente para modelar a distribuição da altura de mudas? ii) as distribuições hipsométricas de mudas cultivadas em tubetes e em sacos plásticos são semelhantes?

1.1 OBJETIVO

O objetivo foi avaliar a eficiência de diferentes f.d.p. para estimar e comparar a distribuição da altura de mudas de *H. heptaphyllus* em diferentes recipientes de cultivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica aborda os seguintes temas: Altura de Mudanças Florestais, Recipientes: Sacos Plásticos e Tubetes e Função Weibull.

2.1 ALTURA

Altura é a distância vertical do solo, ou da cicatriz cotiledonar, até a gema terminal (meristema apical) (MEXAL e LANDIS, 1990; JOSE, 2003, citados por SANTOS, 2008). A altura da parte aérea é considerada um dos parâmetros mais utilizados na classificação e seleção de mudas (PARVIAINEN, 1981). Esse parâmetro é de fácil medição e, devido a isso, sempre foi utilizada com eficiência para estimar o padrão de qualidade de mudas de espécies nos viveiros. É considerada também um dos mais importantes parâmetros para estimar o crescimento no campo (GOMES et al., 1978).

2.2 RECIPIENTE PLÁSTICO E TUBETES

A escolha do recipiente adequado é de fundamental importância no processo de produção de mudas em viveiros florestais, pois a dimensão influencia de forma direta na qualidade e custo final das mudas (BARBOSA ET AL., 2013). Atualmente no Brasil, os sacos plásticos e os tubetes de polietileno vêm sendo mais recomendados, sendo que ambos apresentam vantagens e limitações (FERRAZ & ENGEL, 2011).

Recipientes com maior capacidade de volume possibilita a obtenção em viveiros de mudas em curto prazo, além de mudas com sanidades melhores (BRACHTVOGEL & MALAVASI, 2010; LUCA ET AL., 2010; FERRAZ & ENGEL, 2011; CAIXETA ET AL., 2013).

Segundo Gomes e Paiva, (2006) para que uma muda atenda todos os requisitos de boa formação alguns parâmetros devem ser considerados como, tipo de recipiente, presença de ranhuras e a altura são de suma importância.

Segundo (Ferraz & Engel, 2011; Antoniazzi et al., 2013; Barbosa et al., 2013) estes recipientes tem como desvantagem a necessidade de maiores espaços, além do aumento de substrato, maior dificuldade em transporte, mão de obra, adubação e queda nos plantios. BARROSO et al., 2000, cita que um dos problemas encontrados ao produzir mudas em recipientes de paredes rígidas são as deformações no sistema radicular, acentuadas pelo volume pequeno de substrato que comportam. Schwengber et al. (2002) observaram que

recipientes com dimensões maiores favoreciam tanto o desenvolvimento quanto ao comprimento, mas também uma melhor distribuição dos sistema radicular.

Ferraz & Engel, (2011) trabalhando com mudas de guarucaia em diferentes tubetes pode observar uma diferença no desenvolvimento da parte aérea após 40 dias da emergência. As mudas que foram produzidas em tubetes de 300 cm³ proporcionou resultados significativamente superiores tanto em diâmetro do coleto quanto altura em relação aos tubetes de menor volume. Mudanças produzidas em tubetes de 110 cm³ são superiores as produzidas em tubetes de 50 cm³ nos parâmetros de altura e diâmetro do colo.

Cunha et al. (2005) trabalhando com mudas de *Tabebuia impetiginosa* avaliou a qualidade das mudas através do seu desenvolvimento com relação ao substrato e tamanho dos recipientes, onde verificou que o tamanho do recipiente e de suma importância para desenvolvimento das mudas pois observou uma relação entre altura e diâmetro de coleto, onde possibilitou verificar maiores diâmetros nos maiores recipientes, não influenciando o substrato utilizado. Cunha et al. (2005) ainda reforça que mudas que apresentam um diâmetro do coleto baixo tem grande dificuldades de se manterem de forma ereta após realização do plantio, e o tombamento proveniente desta deficiência o que pode causar a morte ou defeitos da muda causando seu enjaimento em campo.

2.3 A DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Fisher e Tippett em 1928 através de estudos com valores extremos propôs a distribuição de Weibull. Knoebel et al. (1988) cita que a distribuição de Weibull foi empregada primeiramente no meio florestal como modelo de distribuição diamétrica por Bailey em 1972.

Bailey e Dell (1973) trabalharam com a distribuição Weibull em diferentes exemplos de distribuição diamétricas e espécies o que propiciou a vários outros autores a adotar este modelo na distribuição na área florestal.

A distribuição de Weibull existe nas formas de 2 e 3 parâmetros, a de 2 parâmetros é originada da forma:

$$F(X) = \frac{\gamma}{\beta} \cdot \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$$

em que a variável X representa a variável aleatória, β é o parâmetro de escala e γ é o parâmetro de forma. Sendo sua forma cumulativa:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$$

Esta função é caracterizada por fazer com que a distribuição estimada se inicie em seu ponto de origem, o que torna a função de Weibull de dois parâmetros a mesma coisa que a função de Weibull de três parâmetros considerando se o valor de α igual a zero.

Arce (2004) trabalhando com povoamentos de *Populus deltoides* com distribuição diamétrica ajustou várias funções e avaliou o desempenho das distribuições probabilísticas, destacando a Weibull com dois parâmetros. A mesma destacou-se como uma função flexível e excelente estatística de ajuste.

Diversos são os autores que estão trabalhando com a função Weibull de dois parâmetros para representação da estrutura de diferentes formações florestais, ao qual pode se destacar: Blanco Jorge et al. (1990); Silva Júnior (2005); Palahi (2006). Blanco Jorge et al. (1990) obteve resultados satisfatórios ao utilizar a função Weibull de dois parâmetros para povoamentos de *Pinus eliottii*. Pece et al. (2000) comparou as funções Weibull de dois e três parâmetros em um experimento sobre modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de *Melia azedarach*, e concluiu que apenas o uso de dois parâmetros obteve melhores resultados para aquela situação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos utilizados no presente trabalho foram provenientes de coletas de rotina realizadas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) no município de Governador Valadares-MG, nos meses de junho a setembro de 2017.

As árvores selecionadas para a coleta apresentavam copa exuberante, sem sinais aparentes do ataque de pragas e insetos. A região de coleta possui clima tropical úmido (megatérmico) de savana, classificado como Aw pelo sistema internacional de Köppen (versão chuvoso e inverno seco), com média de precipitação do mês mais seco inferior a 15mm. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar são de 23,9°C, 1.059mm, e 75%, respectivamente. Os dados climáticos foram oriundos de registros anuais de 1961 a 1990, disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia.

Os frutos foram armazenados em sacos de papel Kraft e conduzidos para o beneficiamento manual, no viveiro de mudas do IFMG campus São João Evangelista-MG, localizado à 22°13'16" de latitude Sul e 54°48'20" de longitude Oeste (Datum SIRGAS 2000). O beneficiamento consistiu no isolamento das sementes em relação aos frutos e eliminação dos materiais que possuíam alguma atrofia ou injúria.

Foram produzidas 131 mudas de *H. Heptaphyllus* em dois tipos de recipientes; 81 unidades em tubetes de 280 cm³ (diâmetro exteno de 6,5 cm, diâmetro interno de 5,2 cm, 19 cm de comprimento, com 8 estrias e de propileno) e o restante, em sacos plásticos (altura de 30 cm, largura de 25 cm e perfurados). A semeadura foi feita sobre a superfície de uma mistura de substrato enriquecida com 7 g L⁻¹ de formulado de liberação controlada Osmocote® (15-9-12). A mistura de substrato foi composta por solo (Latossolo Vermelho), bagaço de cana, moinha de carvão e esterco bovino, na proporção de 1:1:1:1 v v⁻¹.

As mudas foram cultivadas em casa de sombra, coberta com sombrite (malha de 50%), até 30 dias após a semeadura e irrigadas três vezes ao dia durante 15 min (vazão do bico aspersor de 103L h⁻¹). Posteriormente, as mudas foram condicionadas a céu aberto (pleno sol) por 92 dias, irrigadas quatro vezes ao dia durante 10 min (vazão do bico aspersor de 118L h⁻¹). As mudas não apresentaram sistema caulinar tenro ou quebradiço. Realizou-se o censo, mensurando a altura total (H, cm) de todas as mudas produzidas com auxílio de régua milimetrada. A altura total foi caracterizada pela distância linear do coleto até a última folha.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (mínimo, média, mediana, moda, máximo, coeficiente de variação e, pelo método dos momentos, assimetria e curtose).

Aplicou-se o teste t não pareado para comparar as médias de altura das mudas produzidas nos diferentes tipos de recipiente.

Os dados foram agrupados em classes biométricas com intervalos regulares de 2,5cm de altura. As funções testadas foram: Weibull de 2 parâmetros (Weibull 2P); Logística de dois parâmetros (Logística 2P); Log-logística de dois parâmetros (Log-logística 2P); Cauchy; Gama de dois parâmetros (Gama 2P); Normal; e Log-normal. Todas as funções foram ajustadas pelo método da máxima verossimilhança, usando-se a metodologia de otimização de Nelder e Mead. As f.d.p estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 Funções de densidade de probabilidade testadas para ajuste da distribuição da altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade

Nome	Função densidade de probabilidade
Weibull 2P	$f(x) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}$
Função Logística 2P	$f(x) = \frac{e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}}{\beta \left[1 + e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right]^2}$
Log-logística 2P	$f(x) = \frac{\gamma \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}}{x \left[1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}\right]^2}$
Cauchy	$f(x) = \frac{1}{\pi\beta \left[1 + \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2\right]}$
Gama	$\begin{cases} f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}, 0 < x < \infty \\ 0, \text{ para outros valores de } x \end{cases}$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$
Log-normal	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

x = centro de classe biométrica, $x \geq 0$; α = parâmetro de locação, $\alpha > 0$; β = parâmetro de escala, $\beta > 0$; γ = parâmetro de forma, $\gamma > 0$; $\Gamma(\gamma)$ = função gama do parâmetro γ , $\gamma > 0$; μ = média (parâmetro locação); σ = desvio padrão (parâmetro escala); e = constante neperiana; e $\pi = 3,14159265359\dots$

A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com os valores da Média Absoluta dos Erros (MAE), coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$), critério de informação de Akaike (*Akaike Information Criterion*, AIC) e critério de informação Bayesiano (*Bayesian Information Criterion*, BIC). Menores valores de MAE e de ambos critérios de informações estatísticas implicam em maior qualidade preditiva.

A aderência das funções aos dados foi avaliada pelo teste Kolmogorov-Smirnov (GIBBONS e SUBHABRATA, 1992). Trata-se de um teste que compara a frequência acumulativa estimada com a frequência observada. O ponto de maior divergência entre as distribuições é o valor da estatística de teste (d_n). Complementarmente, realizou-se a análise gráfica entre valores observados e estimados pelas equações obtidas.

A partir da função de melhor desempenho preditivo, aplicou-se o teste de identidade de modelos desenvolvido por Graybill (1976) para identificar a igualdade estatística entre as distribuições estimadas para o tamanho de mudas produzidas em cada recipiente. Testou-se essa hipótese pela estatística F, cuja não rejeição ($F_{H0} < F_{\alpha}$) permite admitir que as distribuições de frequência não diferem entre si.

Para diagnóstico de efeito estatístico, foi adotado o nível de significância de 1,0% em todas as análises. Estas foram efetuadas com auxílio do software R 3.3 (R CORE TEAM, 2017).

4 RESULTADOS

A distribuição de altura das mudas de *H. heptaphyllus* produzidas em tubetes foi mais assimétrica que aquelas oriundas de sacos plásticos; ambas distribuições apresentaram assimetria negativa, com cauda à esquerda (Tabela 2). Os comportamentos leptocúrtico (curtose positiva) e platicúrtico (curtose negativa) foram observados nas distribuições de altura relacionadas ao uso de tubetes e sacos plásticos, respectivamente. Os sacos plásticos exibiram mudas com maior amplitude de variação (diferença absoluta entre os valores máximo e mínimo) e coeficiente de variação de altura. Os valores de média, mediana e moda foram próximos entre si, indício de tendência à normalidade.

Tabela 2 Caracterização da altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes.

Estatísticas	Tubetes	Sacos plásticos
Mínimo (cm)	11,20	29,20
Média (cm)	22,43	43,81
Mediana	22,60	44,65
Moda	22,20	43,20
Máximo (cm)	28,30	54,80
Coeficiente de variação (%)	13,01	16,04
Assimetria	-0,76	-0,51
Curtose	1,85	-0,66

Assimetria e curtose calculada pelo método dos momentos.

Pelo teste *t*, a média de altura das mudas produzidas em sacos plásticos foi maior que aquelas oriundas de tubetes. No que se refere ao uso de tubetes, todos os ajustes realizados apresentaram aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (média das estatísticas de teste equivalente a $0,47 \pm 0,11$). Quando se utilizou sacos plásticos como recipientes para a produção de mudas, verificou-se aderência apenas nos ajustes da função Weibull 2P ($dn = 0,64$) e Cauchy ($dn = 0,64$); a média das estatísticas de teste do ajuste das demais funções foi de $0,80 \pm 0,09$. Os ajustes das funções apresentaram poucos desvios, com baixos valores de MAE (Tabela 3). Em geral, os coeficientes de correlação foram altos (acima de 0,90) para as mudas produzidas em tubetes. A significância ($p \leq 0,01$) dos coeficientes de correlação foi constatada em todos os ajustes.

Tabela 3 Coeficientes e qualidade de ajuste das Funções Densidade de Probabilidade (f.d.p.) utilizadas para estimativa da frequência relativa da altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes.

Função	Coeficientes		MAE	$r_{\gamma\hat{\gamma}}$	AIC	BIC
----- Tubetes -----						
Weibull 2P	$\beta = 23,7074$	$\gamma = 8,5222$	0,0866	0,9733	412	417
Logístico 2P	$\alpha = 22,5770$	$\beta = 1,6853$	0,0868	0,9750	413	418
Log-logístico 2P	$\beta = 22,4868$	$\gamma = 12,8553$	0,0873	0,9483	419	424
Cauchy	$\alpha = 23,1246$	$\beta = 1,6426$	0,0931	0,9705	434	434
Gama 2P	$\beta = 2,1465$	$\gamma = 48,1318$	0,0867	0,9200	423	428
Normal	$\mu = 22,4228$	$\sigma = 3,0703$	0,0864	0,9533	416	420
Log-normal	$\mu = 3,0997$	$\sigma = 0,1491$	0,0870	0,8977	428	433
----- Sacos plásticos -----						
Weibull 2P	$\beta = 46,5998$	$\gamma = 7,9708$	0,0577	0,6933	334	338
Logístico 2P	$\alpha = 44,3161$	$\beta = 4,0281$	0,0600	0,6079	341	345
Log-logístico 2P	$\beta = 43,9983$	$\gamma = 10,3913$	0,0610	0,5244	346	350
Cauchy	$\alpha = 45,6190$	$\beta = 4,2709$	0,0621	0,6608	359	359
Gama 2P	$\beta = 0,8363$	$\gamma = 36,5878$	0,0599	0,4740	343	347
Normal	$\mu = 43,7500$	$\sigma = 6,9101$	0,0593	0,5644	339	343
Log-normal	$\mu = 3,7648$	$\sigma = 0,1700$	0,0602	0,4229	345	349

O desempenho da maioria das funções ajustadas foi distinto entre os recipientes. Segundo os critérios AIC e BIC, a ordem crescente de desempenho preditivo de altura das mudas produzidas em tubetes foi: Cauchy, Log-normal 2P, Gama 2P, Log-logístico 2P, Normal, Logístico 2P e Weibull 2P. Para o uso de sacos plásticos como recipientes, a ordem modificou-se para: Cauchy, Log-logística 2P, Log-normal, Gama 2P, Logístico 2P, Normal, Weibull 2P. A superioridade preditiva da função Weibull 2P também foi confirmada pelo menor valor de MAE, alto coeficiente de correlação e aderência. A partir dos parâmetros obtidos com o ajuste das f.d.p. (Tabela 2), prosseguiu-se com as estimações de frequência relativa de mudas por classe de altura. A assimetria negativa dos dados de altura (Tabela 1) foi evidenciada nas distribuições de frequência observada (Figura 1). As frequências observadas de altura não mostraram descontinuidade (ausência de mudas em uma ou mais classes biométricas), considerando os respectivos intervalos formados pelos limites mínimo e máximo (Tabela 2).

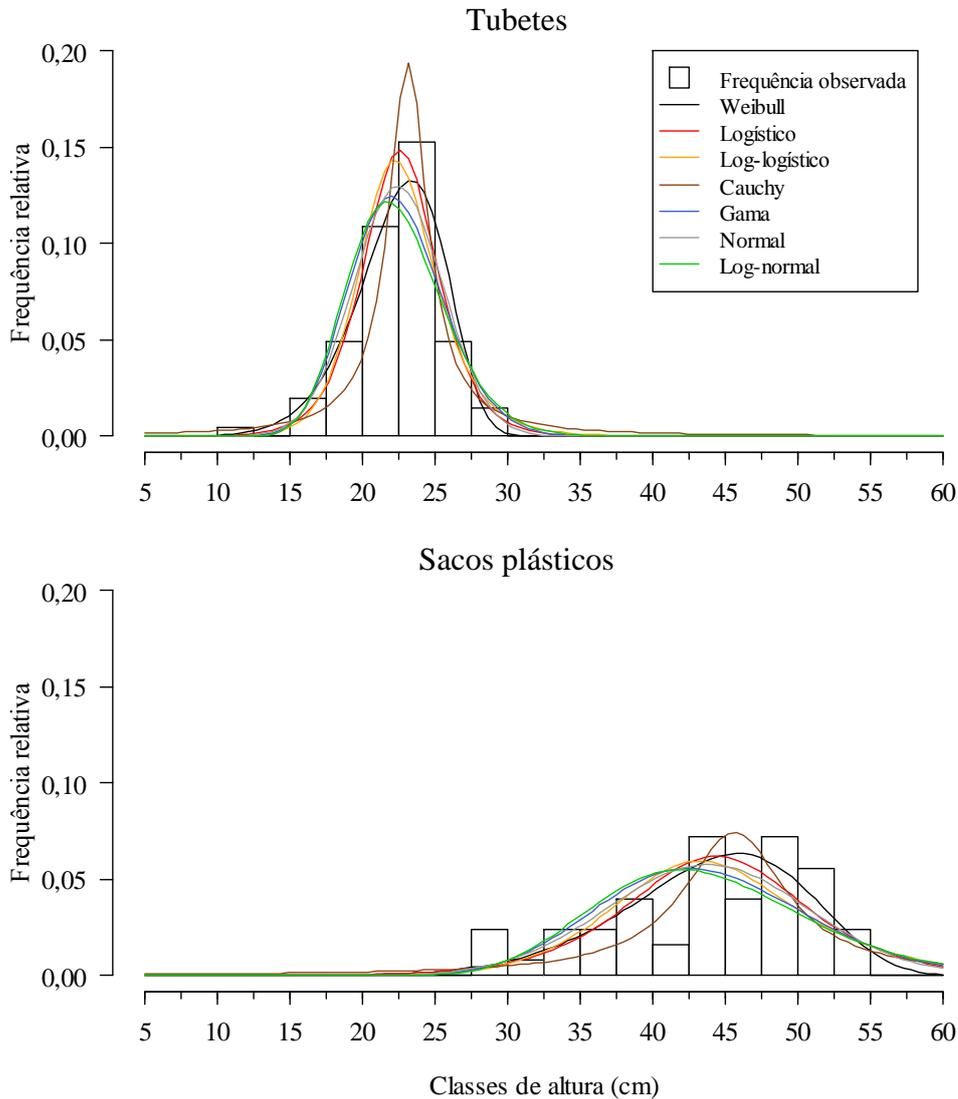


Figura 2 Frequência relativa observada e estimada pelas Funções Densidade de Probabilidade para a altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes.

Diante do melhor desempenho preditivo, selecionou-se a função Weibull 2P para a análise gráfica (Figura 2) e comparação subsequente. O resultado do teste F Graybill evidenciou diferença estatística significativa ($F_{H0} \geq F_{\alpha}$) entre as distribuições estimadas de altura das mudas para os dois tipos de recipientes. A curva concernente aos sacos plásticos se encontrou mais deslocada para a direita, evidenciando maiores medidas de dispersão (desvio padrão de 7,03cm) e de tendência central (média de 43,81cm).

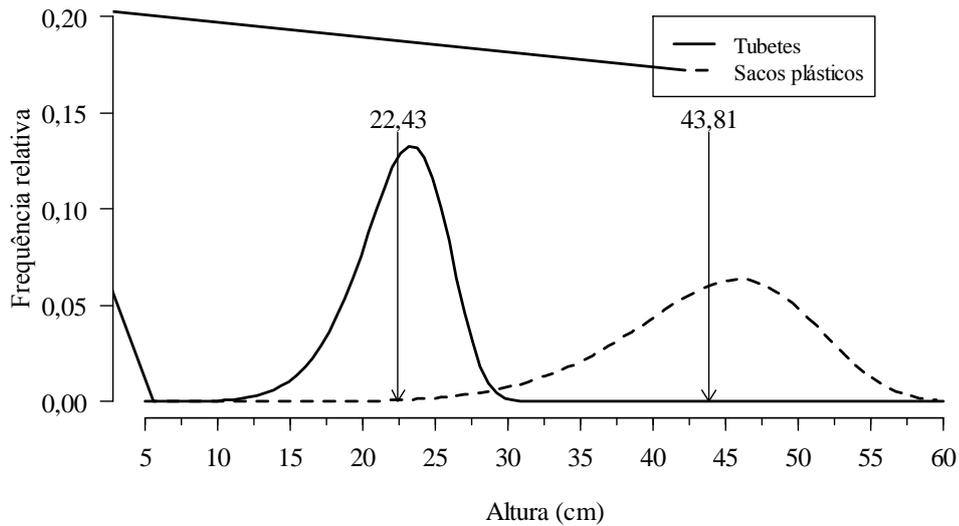


Figura 3 Frequência relativa estimada com a função Weibull 2P para a altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em dois tipos de recipientes. As setas indicam a média da distribuição observada do banco de dados.

5 DISCUSSÃO

O fornecimento de estimativas precisas requer boa aderência da função à estrutura dos dados. A aderência das f.d.p. demonstrou potencial para descrever a estrutura hipsométrica das mudas produzidas em tubetes. No entanto, nem todas foram eficientes para modelar a distribuição da altura de mudas oriundas de sacos plástico. Os valores da estatística dn (Kolmogorov-Smirnov) foram menores com o uso de tubetes; a amplitude de variação dessa estatística foi de 0,29 a 0,57 para os tubetes e de 0,64 a 0,82, para os sacos plásticos. A menor quantidade de mudas produzidas em sacos plásticos aliada a maior amplitude de variação da altura (25,60cm) podem ter afetado negativamente o desempenho preditivo das f.d.p. Logístico 2P, Log-logístico 2, Gama 2P, Normal e Log-normal.

Ressalta-se que a distribuição hipsométrica pode ser obtida medindo a altura de todas as mudas produzidas (censo) ou de um subconjunto representativo das mesmas (amostragem). A realização do censo para determinada espécie justifica-se para uma quantidade reduzida de mudas, que é comum em viveiros que propagam espécies nativas e priorizam a diversificação da produção. Por outro lado, técnicas de amostragem podem ser indicada para caracterizar a distribuição biométrica da produção em larga escala de determinada espécie.

A análise gráfica permitiu ter uma maior clareza no julgamento das distribuições de altura estimadas pelas f.d.p. Quando analisada a Figura 1, percebe-se claramente que a função Weibull 2P foi a que melhor representou a série de dados. Todas as funções subestimaram o

número de mudas produzidas em sacos plásticos nas classes extremas de altura. Nota-se com facilidade a não aderência daquelas funções cuja hipótese de nulidade foi rejeitada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Embora as f.d.p. Weibull 2P e Cauchy tenham sido as únicas cuja aderência foi verificada para descrever a altura de mudas tanto em tubetes quanto em sacos plásticos, a primeira apresentou melhor desempenho preditivo da distribuição hipsométrica de mudas de *H. heptaphyllus* (Tabela 3 e Figura 1). As estatísticas de ajustes mostraram que os parâmetros de escala e forma da função Weibull 2P não foram tendenciosos. O parâmetro escala representa a amplitude da distribuição e foi menor quando se empregou tubetes para a produção de mudas, condizente com os limites apresentados na Tabela 2. O uso de sacos plástico resultou em uma distribuição relativamente mais próxima ao eixo de simetria. Os valores do parâmetro de forma denotaram assimetria negativa, revelando um acúmulo de mudas com maiores dimensões. Esta afirmação pautou-se na premissa de que o parâmetro forma (valores acima de 3,6) aumenta conforme a assimetria se torna progressivamente mais negativa (BAILEY; DELL, 1973).

A escolha da função para a modelagem de distribuições determina a precisão das estimativas. A avaliação de modelos de distribuição biométrica deve considerar interpretações de natureza qualitativa (realismo biológico) e quantitativa (estatística). A função Weibull 2P se mostrou um eficiente modelo probabilístico, capaz de representar com precisão a realidade, mesmo em ocasião com quantidade reduzida de dados e grande amplitude de variação. Atualmente, essa função é intensamente ajustada na área florestal devido sua flexibilidade para assumir diferentes assimetrias e formas, modelando diversas tendências de distribuição, desde a normal até a exponencial (BAILEY; DELL, 1973; LEITE et al., 2010; DIAMANTOPOULOU et al., 2015). A capacidade em modelar distribuições com diferentes assimetrias e formas foi confirmada no presente trabalho (Tabela 3 e Figura 1). Existe um consenso da superioridade da função Weibull sobre as demais f.d.p. para a descrição de atributos biométricos, sobretudo, da estrutura diamétrica de árvores (CAMPOS e LEITE, 2017). Todavia, não se encontrou estudos utilizando a função para a descrição da estrutura hipsométrica em nível de viveiro.

Comparando as distribuições hipsométricas estimadas pela função Weibull 2P em cada recipiente (Figura 2), a rejeição da hipótese de similaridade foi constatada ($FH0 \geq F\alpha$). Essa diferença entre distribuições dificulta o desempenho preditivo de um possível ajuste para todo o conjunto de dados, sendo indicativo de que as mudas, em alguns casos, exigem manejo distinto por recipiente. Em termos de média, a diferença em altura também foi observada pelo

teste *t*. A definição de critérios de estratificação para o ajuste de f.d.p., como tratamentos silviculturais, fornecem informações detalhadas sobre o efeito do manejo na produção de mudas em rotina comercial e tecnológica.

O tamanho é crucial para o estabelecimento de mudas em campo ou áreas urbanizadas, pequenas diferenças podem influenciar o estabelecimento e/ou dominância da espécie (DOMINGUEZ-LERENA et al., 2006). A classificação de lotes de mudas em viveiros quanto à altura é uma metodologia de controle da qualidade (GOMES et al. 2002). O ajuste da distribuição hipsométrica para cada recipiente comprovou que é possível esboçar a qualidade de mudas utilizando f.d.p., pois quanto maior o valor do parâmetro escala, maior foi o ritmo de crescimento. Nesta perspectiva, as mudas produzidas em sacos plásticos (distribuição mais assimétrica e com menor valor do parâmetro de forma) apresentaram maior potencial de crescimento em altura que aquelas oriundas de tubetes. De acordo Koehler et al. (2010), quanto mais a direita estiver o pico de frequência, maior é a moda do atributo biométrico. Enfatiza-se que a padronização de uma idade índice, ou de referência, é essencial para a realização de inferências sobre a classificação do potencial produtivo (CAMPOS E LEITE, 2017). Na presença de mudas com diferentes idades ou medições periódicas possibilitam o ajuste de modelos de regressão para estimativas de altura na idade índice.

O conhecimento do potencial produtivo estimula a busca por estratégias silviculturais que minimizem fatores redutores e limitantes do desenvolvimento vegetal. Os recipientes utilizados na produção de mudas influenciaram o ritmo de crescimento de mudas, corroborando com Dominguez-Lerena et al. (2006) para *Pinus pinea* L. As mudas de *H. heptaphyllus* produzidas em sacos plásticos apresentaram maior ritmo de crescimento, reduzindo seu tempo em viveiro e possibilitando a expedição antecipada em relação aquelas de tubetes. Este fato, provavelmente, foi consequência do maior volume dos sacos plásticos, que disponibilizam mais nutrientes, espaço para o desenvolvimento do sistema radicular e aproveitamento de água, cujas perdas em tubetes podem chegar a 78% do volume aplicado (BOMFIM et al., 2009; BARROSO et al., 2000). Além disso, a profundidade dos sacos plásticos foi 1,58 vez maior que a dos tubetes. Segundo Dominguez-Lerena et al. (2006), a profundidade do recipiente é um dos atributos mais importantes que atuam na morfologia de mudas (DOMINGUEZ-LERENA et al., 2006).

Observou-se maior desuniformidade da altura de mudas produzidas em sacos plásticos, com uma distribuição achatada (platicúrtica) e maior dispersão dos dados. O uso de tubetes homogeneizaram a produção de mudas seminais. No que diz respeito à escolha do recipiente de cultivo para atender uma rápida demanda de mudas, os sacos plásticos podem

ser uma alternativa viável a ser considerada, desde que sejam levantados todos os custos envolvidos da cadeia produtiva e evite desperdícios.

O conhecimento da estrutura hipsométrica de mudas possibilita melhor direcionamento dos insumos. O ritmo acelerado de crescimento favorece a obtenção de mudas de alto padrão, que são mais valorizadas para a comercialização e frequentemente usadas na arborização urbana. Mudas que crescem mais rápido requerem mais atenção para a aplicação de tratamentos silviculturais, como a aplicação adicional de N pautada em balanço nutricional. Quanto à altura, os sacos plásticos foram os recipientes mais adequados para a produção de mudas de alto padrão de *H. heptaphyllus*.

Os intervalos mais frequentes, formado por três classes consecutivas de tamanho (Figura 2), concentrou 30,99% (20,0 a 27,5cm) das mudas produzidas em tubetes e 17,94% (42,5 a 50cm), daquelas oriundas de sacos plásticos. Assumindo um cenário hipotético em que mudas com $\geq 90\%$ da média de altura daquelas 10 mais altas são ideais para serem conduzidas em alto padrão, 40% (altura $\geq 24,30\text{cm}$) e 28% (altura $\geq 46,58\text{cm}$) das mudas oriundas de sacos plásticos e tubetes atenderam a essa condicionante, respectivamente. Logo, o investimento em fertilizantes e recipientes maiores, como baldes, devem ser considerados para maximizar os rendimentos.

Mudas com ritmo lento de crescimento requisitam mais tempo para atingir padrões específicos de qualidade. As decisões em investir no crescimento dessas mudas ou sua imediata expedição deve ser avaliada com cautela, se possível, considerando as exigências mercadológicas e insumos disponíveis. As mudas menores, que atendem certo nível de qualidade, podem ser direcionadas para médios e pequenos produtores rurais, por ser tradicionalmente um público com maiores limitações financeiras para a recuperação florestal (FERRAZ, 2011; PINTO et al., 2011). Outro público alvo são empresas com restrições de capital para iniciar projetos de reflorestamento. Assim, mudas maiores são indicadas para o reflorestamento em locais onde há clara possibilidade de sobrevivência e estabelecimento da espécie (PINTO et al., 2011).

Além de medidas generalistas de posição e dispersão, recomenda-se a análise estatística das medições habitualmente realizadas em viveiros em nível de distribuição. A distribuição hipsométrica é um indicador do estoque em crescimento (AMARAL et al., 2009), com potencial uso no planejamento e manejo da produção de mudas, auxiliando a definição de estratégias silviculturais e logística em viveiros. É importante salientar que dificuldades em se ajustar distribuições biométricas têm sido solucionadas em virtude de avanços da

informática e técnicas estatísticas, tornando os ajustes cada vez mais simples e facilitando a escolha da melhor função em relação ao conjunto de dados (LANA et al., 2013).

6 CONCLUSÕES

A função Weibull de dois parâmetros é eficiente para modelar a distribuição da altura de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus* aos 122 dias de idade, produzidas em tubetes e sacos plásticos. Essa função é flexível e promissora para o ajuste da altura de mudas.

A distribuição hipsométrica é uma eficiente ferramenta para classificar mudas e subsidiar decisões estratégicas sobre logística e tratamentos silviculturais em viveiros.

Em termos hipsométricos, os sacos plásticos (de maiores dimensões) foram superiores aos tubetes (de menores dimensões) para a produção de mudas da espécie *Handroanthus heptaphyllus*.

REFERÊNCIAS

- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, v.14, n.1. Santa Maria, p.149-164, 2004.
- AMARAL, S. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÊO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.
- ANTONIAZZI, A. P.; BINOTTO, B.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de mudas de *Cedrela fssilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, RS, v. 11, n. 3, p. 313-
- BAILEY, R. L.; DELL, T. T. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.
- BARBOSA, T. C.; RODRIGUES, R. B.; COUTO, H. T. Z. Tamanhos de recipientes e o uso de hidrogel no estabelecimento de mudas de espécies florestais nativas. **Hoehnea**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 537-556, 2013.
- BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; LELES, P. S. S. Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados, com diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 238-250, 2000.
- BARROSO, D. G. et al. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, v.24, n.3, p.291-296, 2000.
- BLANCO JORGE, L. A.; VEIGA, R. A. A.; PONTONHA, A. 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.
- 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**, v.18, n.2, p. 185-196, 2012.
- BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B.; SÃO JOSÉ, A. R.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.
- BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) taubert em viveiro. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 223-232, 2010.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: Ed., 2017. 636p.

CUNHA, A. O. et al. . Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.507-516, 2005.

DIAMANTOPOULOU, M. J.; ÖZÇELIK, R.; CRESCENTE-CAMPO, F.; ELER, Ü. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 133, p. 33-45, 2015.

DOMINGUEZ-LERENA, S.; SIERRA, N. H.; MANZANO, I. C.; BUENO, L. O.; RUBIRA, J. L. P.; MEXAL, J. G. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. **Forest Ecology and Management**, v. 221, p. 63-71, 2006.

DULLIUS, M.; DALMOLIN, R. S. D.; LONGHI, S. J.; PEDRON, F. A.; HORST, T. Z.; GREFF, L. T. B. Composição florística em diferentes estágios de regeneração no Rio Grande do Sul. **Agrária**, v. 11, n. 3, p. 238-246, 2016.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) Mart. Ex Dc). Sandl.) e guarucaia (*Paraptadenia rígida* (Benth.) Brenan. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric statistical inference**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, 1992. 544p. (Statistics: Textbook and Monograph, 31).

GOMES, J. M.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, 655-664, 2002.

GOMES, J.M.; NOGUEIRA de P.H. **Viveiros Florestais**. UFC 3 ed. Viçosa. 2006

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.

KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; NETTO, S. P. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010.

LANA, M. D.; BRANDÃO, C. F. L. S.; NETTO, S. P.; MARANGON, L. C.; RETSLAFF, F. A. S. Distribuição diamétrica de *Escheweilera ovata* em um fragmento de floresta ombrófila densa – Igarassu, PE. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 59-68, 2013.

LANDERGOTT, U.; GURGELI, F.; HOEBEE, S. E.; FINKELDEY, R.; HOLDEREGGER, R. Effects of seeds mass in seedling height and competition in European white oaks. **Flora**, v. 207, p. 721-725, 2012.

LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GUIMARÃES, D. P.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R. Avaliação do ajuste das funções Weibull e Hiperbólica a dados de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 305-311, 2010.

LUCA, E. F.; REBECCHI, R. J.; SCHORN, L. A. Crescimento e qualidade de mudas de cedro (*Cedrela fssilis* Vellozo) em viveiro, mediante diferentes técnicas de produção. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 189-199, 2010.

MORI, N. T.; MORAES, M. L. T.; MORITA, C. M.; MORI, E. S. Genetic diversity between and within population of *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos using microsatellite markers. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 9-15, 2012.

OLIVEIRA, T. P. F.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K R.; CARVALHO, V. S.; OLIVEIRA, M. A. Efeito do ácido indol-3-butírico (AIB) no enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* Mattos). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1043-1052, 2015.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T.; TRASOBARES, A. Modelling the diameter distribution of *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* and *Pinus halepensis* forest Stands in Catalonia using the truncated Weibull function. **Forestry**, v.79, n.5, 2006.

PIAS, O. H. C.; BERGHETTI, J.; SOMAVILLA, L.; CANTARELLI, E. B. Produção de mudas de cedro em função de tipos de recipientes e fontes de fertilizante. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 153-158, 2015.

PECE, M. G.; BENÍTE, C. G.; GALÍNDEZ, M. J. Uso de la función weibull para modelar distribuciones diamétricas en una plantación de *Melia azedarach*. *Revista Forestal Venezolana*, v.44, n.2, p.49-52, 2000.

PINTO J. R.; MARSHALL, J. D.; DUMROESE, R. K.; DAVIS, A. S.; COBOS, D. R. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: a function of stocktype and edaphic conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1876-1884, 2011.

PODLASKI, R.; WOJDAN, D.; ŽELEZIK, M. The gamma shape mixture model and influence of sample-unit size on estimation of tree diameter distributions: forest modelling. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 144, p. 190-198, 2018.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

RANA, P.; VAUHKONEN, J.; JUNTILA, V.; HOU, Z.; GAUTAM, B.; CAWKWELL, F.; TOKOLA, T. Large tree diameter distribution modelling sparse airborne laser scanning data in a subtropical forest in Nepal. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 134, p. 86-95, 2017.

SILVA JÚNIOR, W.V. Probabilidade de cobertura dos intervalos de confiança assintótico, p-bootstrap e t-bootstrap, para alguns parâmetros da distribuição Weibull. 2005. Monografia (Graduação em Estatística) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-SP.

SCHWENGBER, J. E. et al. Utilização de diferentes recipientes na propagação da ameixeira através de estacas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.285-288, 2002.

SOUZA, R. F.; NASCIMENTO, R. G. M.; NETTO, S. P.; MACHADO, S. A. Efeito de idade e sítio no ajuste de funções probabilísticas para altura de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 271-280, 2013.

TEIXEIRA, P. C.; RODRIGUES, H. S.; LIMA, W. A. A.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2009.

WESTFALL, J. A.; MCWILLIAMS, W. H. Predicting tree-seedling height distributions using subcontinental-scale forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 332-338, 2017.