

# Crescimento e produção de quatro clones de eucalipto no norte de Minas Gerais

| **Junimaura Resende da Silva**

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

| **Carlos Alberto Araújo Júnior**

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

| **Christian Dias Cabacinha**

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

# RESUMO

O presente estudo teve como objetivo estimar e comparar o crescimento e a produção de quatro clones híbridos de eucalipto, analisando o comportamento destes materiais sob as condições edafoclimáticas presentes no Norte de Minas Gerais. O experimento foi implantado em uma área de 1,14 ha no espaçamento de 4x3 m, em que os clones conhecidos como clone A, clone B, clone C e clone D, foram distribuídos em um delineamento em blocos casualizados. Cada bloco possui 16 parcelas e cada parcela possui 14 árvores. Os inventários foram realizados aos 33, 48 e 60 meses de idade, os quais constituíram a base de dados para obtenção do volume de cada parcela que posteriormente foram extrapolados para o hectare. Os resultados de volumes foram comparados de acordo com o delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial, tendo como fator um, o clone e o fator dois, a idade. O teste de médias de Scott-Knott foi realizado para um nível de significância de 5%. Adiante, ajustou-se os modelos de prognose: Gompertz, Logístico, Schumacher e Richards. A seleção das melhores equações se baseou no erro padrão residual, coeficiente de determinação, critério de informação Akaike, correlação entre os valores estimados e observados do volume, quadrado médio do erro e análise da dispersão gráfica dos resíduos. Posteriormente, foi realizada a predição dos volumes nas idades de 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 108 meses e construídas as curvas de produção, Incremento Médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) para acompanhar o desenvolvimento dos clones e, assim, poder definir a idade de rotação silvicultural para os mesmo. Aos 33 meses, o clone A diferiu dos demais obtendo a menor produtividade e o clone B também se diferiu, por ter obtido a maior produtividade. A partir dos 48 meses não houve diferença estatística entre os materiais genéticos. Já no desdobramento de idade dentro de cada nível de clone houve diferença estatística para todos os clones. Com relação as equações de crescimento e produção,, a equação de Gompertz se mostrou a mais adequada para realização da prognose de todos os clones. O clone B possui a menor idade de rotação silvicultural, por volta dos 45 meses, os clones C e D apresentam rotação próximo aos 50 meses e o clone A aos 60 meses.

**Palavras-chave:** Prognose, Cubagem, Volume.

## ■ INTRODUÇÃO

Há muitos anos, o homem utilizava a madeira como principal matéria prima para diversas aplicações e com o decorrer dos anos isso não mudou. Devido ao grande crescimento populacional, foi necessária a expansão de áreas destinadas à silvicultura para assim garantir a colheita de produtos madeireiros e não madeireiros (ABRAF, 2013).

O Brasil tem aumentado no decorrer dos anos a produção de madeira proveniente da silvicultura, passando de 38% para mais de 64% no período de 2001 a 2013. Ainda assim, a produção tem se mostrado insuficiente para suprir as demandas dos mercados (SIMIONE *et al.*, 2017). A madeira produzida é de extrema importância do ponto de vista social, ambiental e econômico, estando inserida em diversos ramos das cadeias industriais como, por exemplo: a produção de painéis, carvão vegetal, celulose, fonte de energia em fogões. Também, é utilizada na produção de mourões de cercas, postes, construção civil, móveis e outros produtos em geral (DRUMOND *et al.*, 2016; MELO, 2016).

Minas Gerais detém 23,6% das florestas plantadas no Brasil. Além de gerar 378.640 empregos no estado, a atividade de plantio preza pela conservação de 530.000 hectares de florestas nativas, sendo ela responsável pela absorção de dióxido de carbono da atmosfera e por desempenhar um importante papel na conservação de várias espécies da fauna e da flora brasileira (GABRIEL *et al.*, 2013; MELO, 2016). Além disso, o estado destaca-se por ser o maior produtor de carvão vegetal do Brasil, detendo 83% da produção (SIMIONE *et al.*, 2017). O Norte de Minas Gerais, que está inserido na região semiárida onde se tem altas temperaturas, precipitação concentrada em curtos períodos de tempo e déficit hídrico, tem significativo papel nessa produção (ARAÚJO, 2011).

Diante do cenário em que vivemos nos dias atuais, em que as mudanças climáticas é uma realidade, os estudos e a ampliação das pesquisas com diferentes espécies florestais, a busca pelo aprimoramento de técnicas para manejo das espécies, a utilização do melhoramento genético e a clonagem das árvores tornam-se essenciais para que sejam identificados novos materiais genéticos potenciais, que atribuam aumento na produtividade e melhoria da qualidade das plantações. Assim, faz-se necessária a seleção de espécies mais adequadas às condições adversas encontradas nos variados ambientes (DRUMOND *et al.*, 2016; IBA, 2014).

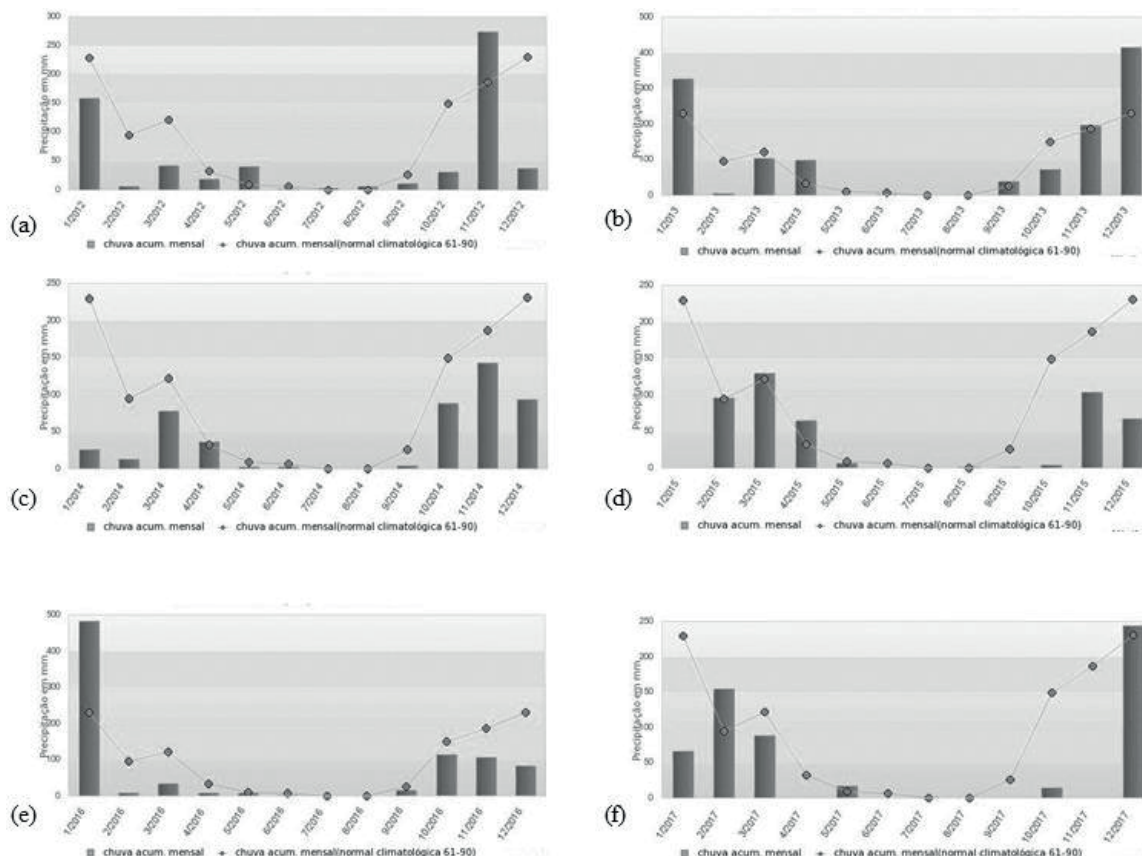
É notável que haja uma baixa na produtividade se o material genético escolhido para ser implantado for inadequado para o sítio em que será introduzido, principalmente, quando o produtor não nota restrições em relação à água disponível. Neste contexto, o presente trabalho busca estimar e comparar o crescimento e a produção de diferentes clones de eucalipto, analisando o comportamento destes materiais sob as condições edafoclimáticas presentes no norte de Minas Gerais.

## ■ MÉTODOS

### Localização e características da área de estudo

A área de estudo está localizada em Montes Claros, norte de Minas Gerais, na fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG (16°40'22.02" S de latitude e 43°50'28.93" O de longitude com altitude de 621 metros). O experimento possui 1,14 hectares (112 metros de comprimento por 102 metros de largura). A classificação climática da região segundo Köppen é do tipo Aw (tropical quente com verão chuvoso) com precipitação média de 1060 mm e temperatura média de 24,2° C, no entanto, de 2012 (ano de implantação do experimento) até 2017 (ano de realização do último inventário) a precipitação média na região foi de 770, 22 mm (INMET, 2018) quantidade está que está entre a média da parte central do nordeste brasileiro ( 250 a 800 mm) (DRUMOND; OLIVEIRA, 2006). Na Figura 1 mostra a intensidade pluviométrica da região.

**Figura 1.** Valores de precipitação (mm) acumulada mensalmente para os anos de 2012 (a), 2013 (b), 2014 (c), 2015 (d), 2016 (e) e 2017 (f) no município de Montes Claros, MG.



Fonte: Adaptado de INMET, 2018.

Em novembro de 2012, foram implantados no local quatro clones de híbridos de eucalipto identificados como: clone A (híbrido de *Eucalyptus urophylla*); clone B (híbrido de *Eucalyptus urophylla*); clone C (híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e

clone D (híbrido de *Eucalyptus urophylla*). O experimento possui 24 linhas de plantio com espaçamento de 4 x 3 m (quatro metros entre linhas e três metros entre plantas) sendo distribuídos em três blocos. Cada bloco é composto por 16 parcelas experimentais de 168 m<sup>2</sup>, formadas por 14 árvores (FIGURA 2).

**Figura 2.** Caracterização da área de estudo.

BLOCO 1				BLOCO 2				BLOCO 3			
Parcela 48 CLONE D	Parcela 44 CLONE B	Parcela 40 CLONE C	Parcela 36 CLONE A	Parcela 32 CLONE B	Parcela 28 CLONE C	Parcela 24 CLONE D	Parcela 20 CLONE A	Parcela 16 CLONE C	Parcela 12 CLONE A	Parcela 8 CLONE D	Parcela 4 CLONE B
Parcela 47 CLONE D	Parcela 43 CLONE B	Parcela 39 CLONE C	Parcela 35 CLONE A	Parcela 31 CLONE B	Parcela 27 CLONE C	Parcela 23 CLONE D	Parcela 19 CLONE A	Parcela 15 CLONE C	Parcela 11 CLONE A	Parcela 7 CLONE D	Parcela 3 CLONE B
Parcela 46 CLONE D	Parcela 42 CLONE B	Parcela 38 CLONE C	Parcela 34 CLONE A	Parcela 30 CLONE B	Parcela 26 CLONE C	Parcela 22 CLONE D	Parcela 18 CLONE A	Parcela 14 CLONE C	Parcela 10 CLONE A	Parcela 6 CLONE D	Parcela 2 CLONE B
Parcela 45 CLONE D	Parcela 41 CLONE B	Parcela 37 CLONE C	Parcela 33 CLONE A	Parcela 29 CLONE B	Parcela 25 CLONE C	Parcela 21 CLONE D	Parcela 17 CLONE A	Parcela 13 CLONE C	Parcela 9 CLONE A	Parcela 5 CLONE D	Parcela 1 CLONE B

Duas linhas Clone D (bordadura) Duas linhas Clone B (bordadura)

Fonte: Da autora, 2018.

## Coleta de dados

Aos 33 meses foram cubadas 48 árvores no povoamento, nos inventários posteriores optou-se por obter uma base de dados mais robusta, dessa forma, foram cubadas 240 árvores sendo 5 árvores por parcela. A cubagem rigorosa foi realizada de acordo com o método geométrico (SCOLFORO; THIERSCH, 2004) com obtenção das alturas totais, alturas relativas e diâmetros a 0,30 m; 1,30 m e nas alturas relativas. Para coleta dos dados foram utilizados os seguintes equipamentos: Relascópio de Bitterlich (operado na aferição da altura total e diâmetro na altura relativa), fita métrica para obtenção da circunferência a 0,30 m do solo e para coleta do CAP – Circunferência a Altura do Peito que, posteriormente, foram transformados em diâmetro.

Após a cubagem rigorosa pelo método geométrico, foi possível obter o volume total das árvores e, posteriormente, foram ajustadas as equações de volume de simples entrada. Estas, por sua vez, utilizam como variável independente somente o DAP e exigem de um tempo menor tanto para os trabalhos de campo quanto para o processamento (SANTOS *et al.*, 2012). Após a seleção da equação de volume, foi obtido o volume total de cada parcela que, posteriormente, foram extrapolados para o hectare. Segue na Tabela 1, os modelos selecionados para estimativa do volume de cada clone nas idades de 33, 48 e 60 meses e suas respectivas estatísticas de precisão.

**Tabela 1.** Equações utilizadas para predição do volume de madeira com casca dos Clonas A, B, C e D nas idades de 33, 48 e 60 meses em Montes Claros, MG.

Clone	Modelo	Autor	Syx (%)	R <sup>2</sup> (%)
A	$Ln(V) = -9,1279 + 2,5871Ln(Dap) - 2,1376 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	39,79	93,21
B	$Ln(V) = 34,6667 - 9,9916Ln(Dap) - 147,6833 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	21,99	91,11
C	$Ln(V) = -5,3027 + 1,4741Ln(Dap) - 9,9432 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	16,93	94,71
D	$Ln(V) = -7,8873 + 2,2242Ln(Dap) - 3,3005 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	30,55	95,39
A	$Ln(V) = -5,8015 + 1,634919Ln(Dap) - 10,3497 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	18,16	92,69
B	$Ln(V) = -5,3018 + 1,5802Ln(Dap) - 15,9521 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	15,77	90,04
C	$Ln(V) = -2,9401 + 0,8353Ln(Dap) - 19,526 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	14,93	84,66
D	$Ln(V) = -9,2636 + 2,5636Ln(Dap) + 2,2477 \frac{1}{Dap} + Ln(\epsilon i)$	Brenac	16,63	87,69
A	$V = 0,001586Dap + 0,000491Dap^2 + \epsilon i$	Dissescu - Meyer	18,36	97,11
B	$V = -0,000490Dap + 0,000634Dap^2 + \epsilon i$	Dissescu - Meyer	12,56	98,57
C	$V = 0,002927Dap + 0,000443Dap^2 + \epsilon i$	Dissescu - Meyer	14,63	98,03
D	$V = 0,000229Dap + 0,000548Dap^2 + \epsilon i$	Dissescu - Meyer	15,36	97,92

Fonte: Da autora, 2018.

Sendo:  $V$  = volume da madeira em m<sup>3</sup>;  $Dap$  = diâmetro a altura do peito (1,30m), em cm; Syx= erro padrão da estimativa; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

Os resultados de volumes obtidos nas três idades foram comparados de acordo com o delineamento em blocos casualizados, considerando um arranjo em fatorial, sendo o fator um o clone, com quatro níveis e o fator dois a idade com três níveis, com o intuito de verificar se existe alguma interação entre os clones e a idade.

De acordo com Vaz (2013), o esquema fatorial propicia o estudo simultâneo de dois ou mais fatores e permite entender se há interação entre eles. A análise estatística foi realizada no software R, versão 3.2.1. Utilizou-se o teste de médias de Scott-Knott, para um nível de significância de 5%, para comparar as médias de produção.

Adiante, os modelos de crescimento e produção em nível de povoamento foram ajustados sendo eles: Richards, Gompertz, Schumacher e Logístico (CALEGARIO *et al.*, 2005).

Estes modelos estimam o crescimento e produção por unidade de área, eles diferem quando se diz respeito as variáveis independentes podendo ter como variável somente a idade (CAMPOS; LEITE, 2002). Os ajustes do presente trabalho foram realizados somente em função da idade, pois o experimento possui uma área pequena, plana e homogênea não justificando a utilização de outras variáveis.

A seleção da melhor equação de crescimento e produção se baseou na análise do menor erro padrão residual ( $S_{yx}$ ), no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no critério de informação Akaike ou *Akaike information criterion* (AIC), na correlação entre os valores estimados e observados do volume ( $r_{\hat{y}y}$ ), na raiz do quadrado médio do erro (RMSE%) e, ainda, na análise da dispersão gráfica dos resíduos. Após a seleção, foi realizada a predição dos volumes nas idades de 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 108 meses. A Tabela 2, mostra os modelos que foram utilizados nos ajustados para os clones A, B, C e D.

**Tabela 2.** Modelos a nível de povoamento ajustados para predição do volume dos Clones A, B, C e D em Montes Claros, MG.

Modelo	Autor
$V = \frac{\beta_0}{(1 + \exp^{\beta_1 - \beta_2 I})^{1/\beta_3}} + \varepsilon_i$	Richards
$V = \beta \exp^{-\exp^{\beta_1 - \beta_2 I}} + \varepsilon_i$	Gompertz
$V = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \exp^{-\beta_2 I}} + \varepsilon_i$	Logístico
$V = \exp^{\beta_0 + \beta_1 I} + \varepsilon_i$	Schumacher

Fonte: Da autora, 2018.

Sendo:  $V$  = Volume em  $m^3$ ;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$  = parâmetros estimados;  $I$  = idade (meses);  $\exp$  = base do logaritmo neperiano;  $\varepsilon_i$  = erro da estimativa.

A análise estatística dos gráficos de resíduos, consistiu na inspeção da dispersão dos erros percentuais em relação as idades (meses), sendo:

$$erro\% = \frac{(Y - \hat{Y})}{Y} * 100$$

Em que:  $Y$  = volume observado;  $\hat{Y}$  = volume estimado.

A correlação indica o grau de relação entre os valores estimados e observados, quanto mais próximo de um, maior a correlação entre as variáveis (BINOTI, 2010) sendo:

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{\text{cov}(Y, \hat{Y})}{\sqrt{s^2(Y)s^2(\hat{Y})}}$$

Em que:  $\text{cov}$  = covariância;  $s^2$  = variância.

A função do quadrado médio do erro (RMSE) é avaliar a diferença quadrática média entre os valores estimados e observados (BINOTI, 2010), quanto menor o valor mais precisa é a estimativa, sendo:

$$RMSE_{\%} = \frac{100}{\bar{Y}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

Em que:  $n$  = número total de dados;  $\bar{Y}$  = média do volume observado.

O Critério de informação Akaike ou *Akaike information criterion* (AIC) é um meio simples, eficaz e objetivo para a seleção do melhor modelo estatístico estimado. Quando se tem resultado de  $\frac{n}{k}$  maior do que 40, então, o AIC pode ser descrito como:

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

Em que:  $e$  = resíduos;  $n$  = número de observações;  $K = p+1$ ;  $p$  = número de parâmetros do modelo.

Entretanto, quando o resultado de  $\frac{n}{k}$  for menor do que 40, o AIC pode ser calculado através da fórmula (BURNHAM e ANDERSON, 2002):

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

Após seleção do modelo que descrevia melhor o crescimento e produção dos clones, foram construídas as curvas de produção para cada um deles. Também foram feitas as curvas de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA), com intuito de acompanhar o desenvolvimento dos clones no decorrer dos anos e, assim, poder definir a idade de rotação silvicultural para os mesmos.

$$IMA = \frac{V_i}{I_{i/12}}$$

Sendo (ROMANIUK, 2015):

$$ICA = V_i - V_{i-1}$$

Em que:  $IMA$  = Incremento Médio Anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );  $V_i$  = Volume ( $m^3/ha$ );  $i$  = idade (meses)

Em que:  $ICA$  = Incremento Corrente Anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );  $V_i$  = volume ( $m^3/ha$ );  $V_{i-1}$  = volume ( $m^3/ha$ ) na idade de interesse menos um ano.

## ■ RESULTADOS

### Análise estatística

De acordo com o teste de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk para um nível de significância de 5% que foi realizada no software R, os resíduos podem ser considerados normais ( $p$ -valor = 0,983741) podendo, assim, proceder o estudo. Para que seja feita a Análise de Variância (ANOVA), é necessário que as variáveis tenham distribuição normal e o teste de Shapiro-Wilk é o recomendado para verificação da normalidade (TORMAN *et al.*, 2012). Na Tabela 3 é apresentado o resultado da Análise de Variância realizada.

**Tabela 3.** Análise de Variância (ANOVA) realizada no software R tendo como fator um clone e fator dois a idade para um nível de significância de 5%.

Quadro da análise de variância					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	53,7	26,9	2,09	0,148089
Clone	3	539,2	179,7	13,95	0,000026
Idade	2	14414,3	7207,2	559,38	0,000000
Clone*Idade	6	452,6	75,4	5,85	0,000904
Resíduo	22	283,5	12,9		
Total	35	15743,3			
CV					4,43%

Em que: GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = valor de  $p$  ( $p$ -value) da estatística F.

**Fonte:** Da autora, 2018.

Como pode ser observado, o coeficiente de variação foi 4,43%, indicando uma baixa contribuição de variação do acaso na análise o que indica uma alta precisão. Não houve diferença estatística entre os blocos, possivelmente por ser uma área pequena com relevo plano, entretanto, a interação foi significativa entre o clone e a idade o que levou ao desdobramento dessa interação (TABELA 4).

**Tabela 4.** Análise de variância do desdobramento de Clone dentro de cada nível de idade (A) e da idade dentro de cada Nível do Clone (B).

(A)

Quadro da análise de variância					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Bloco	2	53,75	26,8737	2,0858	0,1481
Idade	2	14414,32973	7207,16487	559,3796	0
Idade:Clone 33	3	827,21308	275,73769	21,4012	0
Idade: Clone 48	3	74,48888	24,82963	1,9271	0,1547
Idade: Clone 60	3	90,03674	30,01225	2,3294	0,1022
Resíduos	22	283,45262	12,88421		
Total	35	15743,26846	449,80767		

(B)

Quadro da análise de variância					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
Bloco	2	53,75	26,8737	2,0858	0,1481
Clone	3	539,1572	179,71905	13,9488	0
Clone: Idade A	2	5718,3751	2859,18754	221,9141	0
Clone: Idade B	2	2818,5445	1409,27223	109,7846	0
Clone: Idade C	2	3344,3432	1672,17159	129,7846	0
Clone: Idade D	2	2985,6485	1492,82427	115,8646	0
Resíduo	22	283,4526	12,88421		
Total	35	15743,2685	449,80767		

Em que: GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = valor de p (*p-value*) da estatística F.

**Fonte:** Da autora, 2018.

Como pode ser observado (TABELA 5) na idade de 33 meses, o clone A produziu menos e diferiu estatisticamente dos demais. O clone B também se diferiu dos outros, no entanto, por ter obtido a maior produtividade. No avançar da idade, as médias de produção de todos os clones passaram a ser estatisticamente iguais. Na idade de 48 meses, o clone A passa a ser o terceiro mais produtivo e permanece até a idade de 60 meses. O Clone B é o mais produtivo na idade de 33 e 60 meses. O Clone C na idade de 48 meses é o mais produtivo, nos outros inventários ele permaneceu em segundo lugar. O clone D na primeira medição é o terceiro mais produtivo e nas demais idades passa a ser o menos produtivo.

**Tabela 5.** Resultado do teste de médias de Skott-knott para os clones A, B, C e D nas idades de 33, 48 e 60 meses.

Variável	Clone	Idade do Povoamento		
		33	48	60
Volume (m³)	A	41,9512 cC	83,6250 aB	102,2426 aA
	B	64,6252 aC	85,4593 aB	107,9622 aA
	C	58,3860 bC	85,9369 aB	105,3712 aA
	D	56,3326 bC	79,6095 aB	100,9326 aA

Médias seguidas de letras minúsculas distintas entre si na coluna diferem os clones dentro de cada idade de povoamento, e maiúsculas na linha, diferem as idades de povoamento para cada clone, de acordo com o teste de Skott-knott ( $p < 0,05$ ).

## Crescimento e Produção

Na Tabela 6, está disposto o resumo estatístico das equações ajustadas para projeção do crescimento e produção. A escolha das melhores equações foi baseada primeiramente na análise gráfica dos resíduos (FIGURA 3), seguido da observação do erro padrão da estimativa (Syx), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do critério de informação de Akaike (AIC), do quadrado médio do erro (RMSE (%)) e da correlação entre os valores reais e estimados ( $\gamma\hat{y}$ ). Todas as equações apresentaram dispersão gráfica dos resíduos com uma boa distribuição e sem a ocorrência de tendenciosidade. Além disso, elas mostraram bons resultados nas estatísticas realizadas com destaque para o modelos de Gompertz (modelo selecionado para prognose da produção).

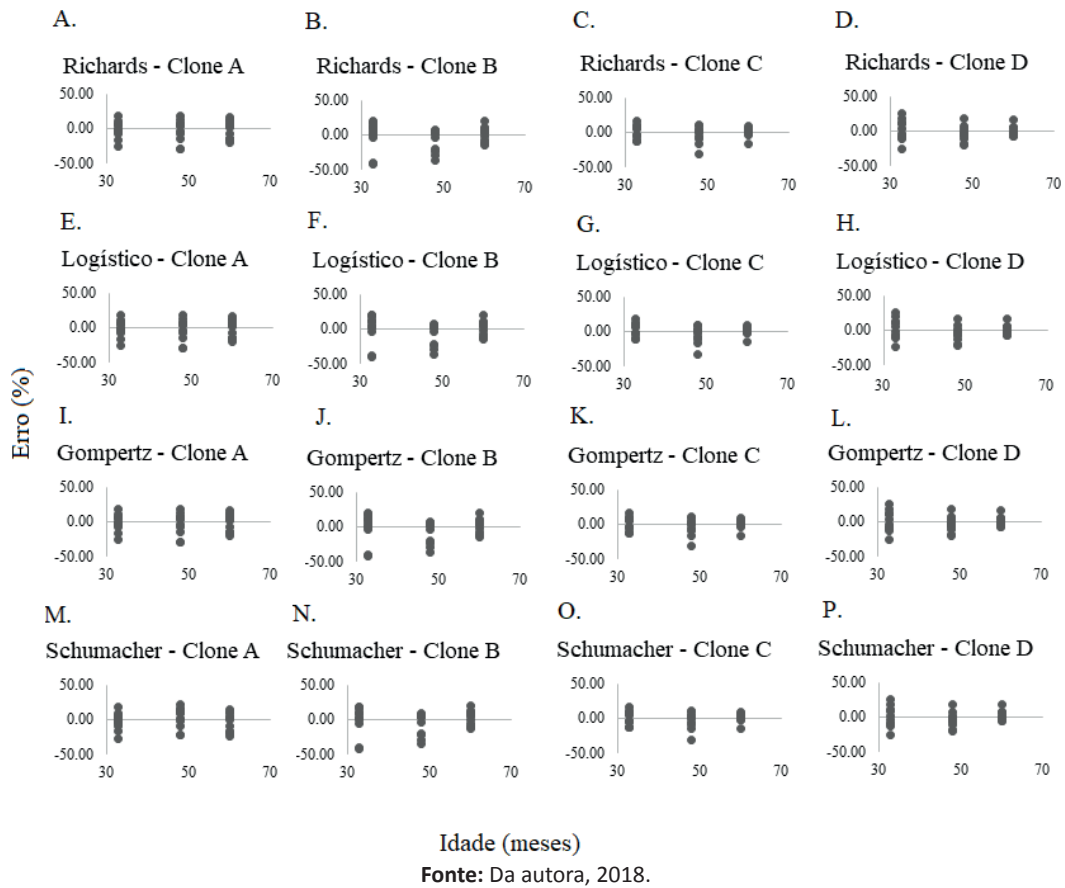
**Tabela 6.** Relação das estatísticas e parâmetros das equações ajustadas para projeção do crescimento e produção dos clones A, B, C e D no município de Montes Claros, MG.

Clone	Modelo	Parâmetros				Syx (%)	$R^2$ (%)	$\gamma\hat{y}$	RMSE (%)	AIC
		0	1	2	3					
A	Richards	117,7076	-1,5794	0,0740	0,0172	10,46	94,20	0,9293	13,20	175,23
A	Logístico	111,7013	56,7728	0,1069	-	10,31	94,19	0,9293	13,20	172,69
A	<b>Gompertz</b>	<b>117,8452</b>	<b>2,4573</b>	<b>0,0735</b>	-	<b>10,31</b>	<b>94,20</b>	<b>0,9293</b>	<b>13,20</b>	<b>172,69</b>
A	Schumacher	5,7583	-66,4817	-	-	10,57	89,34	0,9237	13,72	173,11
B	Richards	140,2109	-3,3616	0,0397	0,0114	11,84	91,60	0,8381	13,24	184,42
B	Logístico	123,5505	9,0672	0,0665	-	12,05	91,02	0,8345	13,40	182,76
B	<b>Gompertz</b>	<b>140,6226</b>	<b>1,0952</b>	<b>0,0393</b>	-	<b>11,66</b>	<b>91,61</b>	<b>0,8382</b>	<b>13,23</b>	<b>181,87</b>
B	Schumacher	5,2581	-36,9580	-	-	11,66	65,78	0,8352	13,37	180,21
C	Richards	136,5910	-3,0969	0,0438	0,0123	7,16	96,87	0,9414	8,30	148,41
C	Logístico	119,2245	13,2407	0,0755	-	7,40	96,55	0,9393	8,45	147,21
C	<b>Gompertz</b>	<b>137,0575</b>	<b>1,2885</b>	<b>0,0434</b>	-	<b>7,05</b>	<b>96,87</b>	<b>0,9414</b>	<b>8,29</b>	<b>145,85</b>
C	Schumacher	5,3620	-43,0580	-	-	7,02	87,80	0,9412	8,31	143,62
D	Richards	140,4894	-2,9742	0,0377	0,0155	8,90	95,16	0,9122	10,32	160,36
D	Logístico	119,8441	10,8391	0,0662	-	8,73	94,73	0,9100	10,48	158,87
D	<b>Gompertz</b>	<b>141,2057</b>	<b>1,1750</b>	<b>0,0372</b>	-	<b>8,36</b>	<b>95,17</b>	<b>0,9123</b>	<b>10,32</b>	<b>157,80</b>
D	Schumacher	5,2905	-42,2792	-	-	8,40	81,64	0,9095	10,49	156,57

Em negrito os modelos selecionados

Fonte: Da autora, 2018.

**Figura 3.** Dispersão gráfica dos erros percentuais, para os modelos de crescimento e produção ajustados.



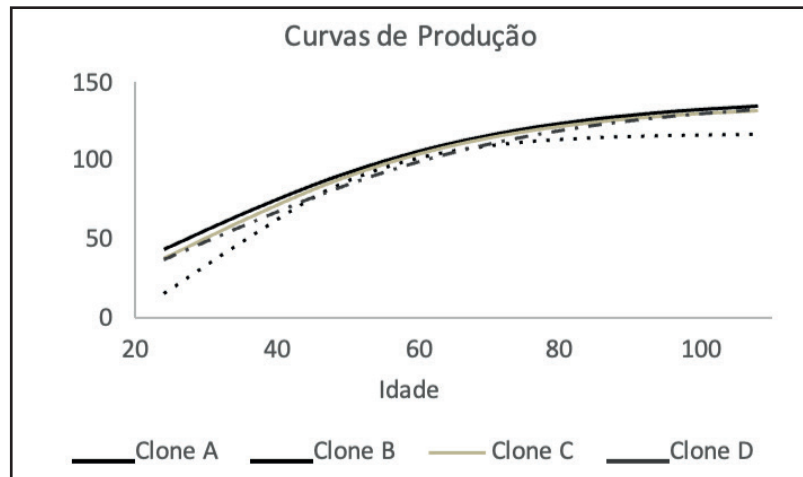
A partir das equações de Gompertz, foi construída a tabela de crescimento e produção em nível de povoamento (TABELA 7), a curva de produção para cada clone (FIGURA 4) e, ainda, as curvas de ICA e IMA (FIGURA 5).

**Tabela 7.** Tabela de predição do crescimento e produção dos clones A, B, C e D situado na região de Montes Claros, MG.

Idade (meses)	Clone A			Clone B			Clone C			Clone D		
	Volume m <sup>3</sup> /ha	ICA m <sup>3</sup> .ha.an	IMA m <sup>3</sup> .ha.an	Volume m <sup>3</sup> /ha	ICA m <sup>3</sup> .ha.an	IMA m <sup>3</sup> .ha.an	Volume m <sup>3</sup> /ha	ICA m <sup>3</sup> .ha.an	IMA m <sup>3</sup> .ha.an	Volume m <sup>3</sup> /ha	ICA m <sup>3</sup> .ha.an	IMA m <sup>3</sup> .ha.an
24	15,9309	-	7,9655	43,9246	-	21,9623	38,0685	-	19,0343	37,5019	-	18,751
36	51,4626	35,5317	17,1542	68,0448	24,1201	<b>22,6816</b>	64,0169	25,9484	21,339	60,4529	22,951	20,151
48	83,625	32,1624	<b>20,9062</b>	89,4088	21,364	22,3522	87,1839	23,1669	<b>21,796</b>	82,0545	21,6016	<b>20,5136</b>
60	102,243	18,6176	20,4485	106,013	16,6043	21,2026	104,749	17,5653	20,9498	99,7708	17,7163	19,9542
72	111,116	8,8729	18,5192	117,899	11,8863	19,6499	116,821	12,072	19,4702	113,065	13,2944	18,8442
84	115,011	3,8954	16,4301	125,981	8,0811	17,9972	124,644	7,8231	17,8063	122,487	9,4218	17,4981
96	116,663	1,6525	14,5829	131,3	5,3196	16,4125	129,539	4,8949	16,1924	128,924	6,4366	16,1155
108	117,355	0,6911	13,0394	134,732	3,4318	14,9702	132,539	2,9994	14,7265	133,219	4,2949	14,8021

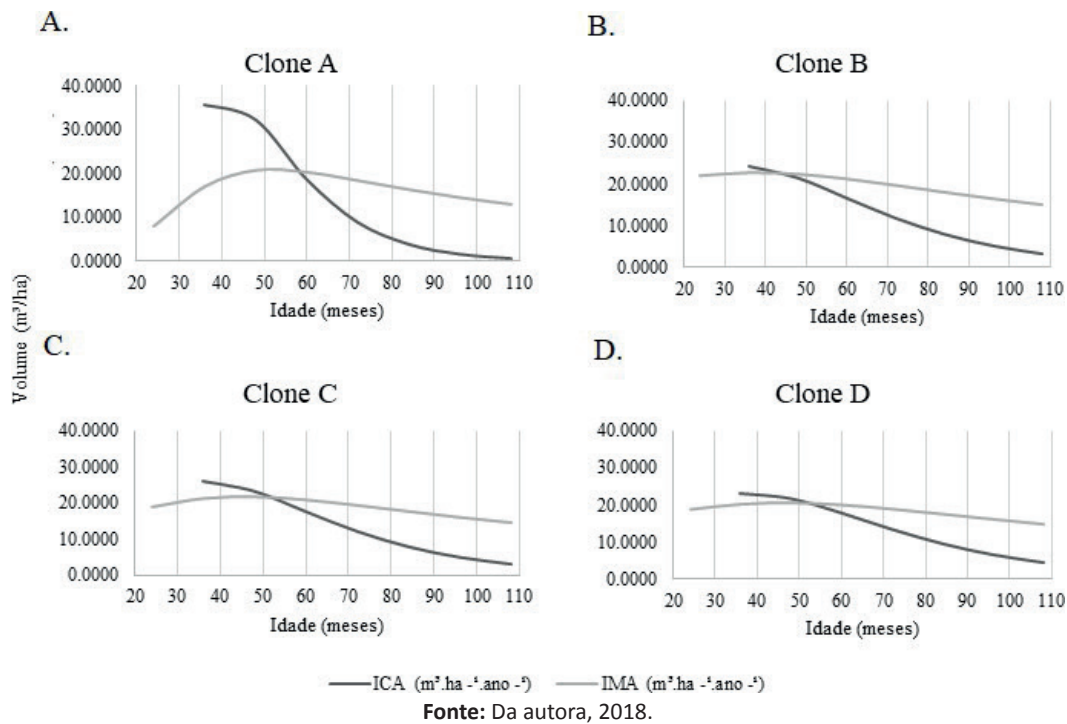
Fonte: Da autora, 2018.

**Figura 4.** Curva de produção para os clones A, B, C e D em Montes Claros, MG.



Fonte: Da autora, 2018.

**Figura 5.** Incremento médio e corrente anual em volume para os clones A, B, C e D, na região de Montes Claros, MG.



Fonte: Da autora, 2018.

## ■ DISCUSSÃO

A produtividade dos clones, possivelmente, sofreu interferência da seca que vem ocorrendo nos últimos anos na cidade de Montes Claros. Como já visto, a pluviosidade desde a implantação dos materiais genéticos até os cinco anos de idade (60 meses) foi 289,8 mm abaixo da média. Em 2014 e 2015 foram os anos que obtiveram os menores índices pluviométricos, nesta fase, os clones estavam com idades entre 24 e 36 meses. E de acordo com *Gonçalves et al.*, (2013), em regiões com sazonalidade marcada e chuvas mal distribuídas entre as estações do ano, como é o caso do clima da região do presente estudo, a produtividade é demasiadamente variável.

As florestas podem usar da aclimatação e formas de adaptação estratégicas, tanto genotípicas quanto fenotípicas, para resistir aos estresses aos quais elas são submetidas (HAKAMADA *et al.*, 2015). Pesquisas em andamento, na mesma área experimental do presente estudo, tem demonstrado que o clone B possui mais raízes finas vivas que o clone A, além de maior retenção hídrica nas folhas e galhos de sua serapilheira em relação a todos os outros clones. As plantas, que são mais enraizadas, possuem maior tolerância a extensos períodos de estiagem e desempenham um papel muito importante na adaptação da planta ao meio em que ela está inserida (GONÇALVES *et al.*, 2013; HAKAMADA *et al.*, 2015). Isto pode explicar porquê o clone B obteve a maior produção em todos os anos, este material buscou formas de se adaptar as condições edafoclimáticas da região e se sobressaiu em alguns metros cúbicos de volume que os demais.

O clone C, a partir dos 48 meses, apresentou uma diferença muito pequena na média de produção em relação ao clone B. Aos 60 meses o clone C atingiu produção de 105,37 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> e o clone B 107,96 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. O clone híbrido de *E. urophylla* x *grandis* (clone C), reúne a produtividade da espécie *E. grandis* com a rusticidade do *E. urophylla* e é o material genético mais plantado no Brasil devido a sua alta taxa de produção e tolerância a seca (GONÇALVES, *et al.*, 2013).

Quando se trata do desdobramento de idade dentro de cada nível de clone, podemos observar que para todos os clones houve diferença estatística, o que já era de se esperar, pois quanto mais a idade avança tende a ter um aumento de produtividade.

Quanto aos ajustes dos modelos de crescimento e produção, os menores valores de R<sup>2</sup> e  $\sigma_{\hat{Y}}$  foram 65,78% e 0,8345, respectivamente, nas equações de Schumacher e Logístico ambas do clone B, enquanto que, os maiores valores de RMSE (%), AIC e Syx foram: 13,72, 184,42 e 12,05%, nas equações de Schumacher, Richards e Logístico, na devida ordem, o primeiro no clone A e os outros dois para o clone B. Ao confrontar os resultados estatísticos com o objetivo de conhecer qual deles apresenta maior precisão, concluiu-se que a equação de Gompertz é a mais adequada para a realização da prognose dos quatro clones.

Gonçalves *et al.* (2013) afirma que a maioria das plantações de eucalipto estão localizadas em locais que possui água, estresse nutricional e geadas de baixo a alto grau, o incremento médio anual nestes locais é de 40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, variando de 25 a 60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> dependendo do grau de estresse. Em estudo realizado por Santos *et al.* (2011) no município de Águas Vermelhas, norte de Minas Gerais, onde a precipitação média varia de 702 a 882 mm, ele encontrou incremento médio anual, para clones de *E. urophylla*, variando entre 32,14 e 54,67 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, aos cinco anos de idade. Em estudo realizado por Fernandes *et al.* (2012) em Uberaba-MG com a espécie de *E. grandis* durante cinco anos, com parcelas com e sem irrigação e adubação, encontrou um IMA de 56, 0 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>,

em parcelas não irrigadas e com 50% da adubação necessária, sendo a precipitação média da área de estudo de 1474 mm.

Os clones do presente estudo, na idade de cinco anos, apresentaram IMA oscilando entre 19,95 e 21,20 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, muito abaixo do encontrado nos trabalhos citados. Esse comportamento pode ser explicado pela intensidade de chuvas (770,20 mm) abaixo da média que vem ocorrendo nos últimos anos na região de Montes Claros, pois de acordo com Souza *et al.* (2006), a produtividade da madeira de eucalipto é fortemente influenciada pela precipitação e tem uma redução no ganho de volume nos anos que são precedidos de estações secas ou muito secas.

O clone B apresentou o máximo IMA (22,68 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) com 36 meses de idade (3 anos). De acordo com Scolforo (2006), este é um evento muito incomum e indica que o espaçamento utilizado pode ser inadequado. Dessa forma, se faz necessário mais estudos para entender como os materiais genéticos se desenvolvem diante da condição de déficit hídrico e quais seus mecanismos de adaptação.

A curva de produção mostra que o Clone A apresentou um volume um pouco menor até próximo aos 35 meses, logo depois, a produção se aproximou da dos demais clones. Quanto aos clones B, C e D, eles apresentam curvas de produção muito semelhantes.

Os estudos de idades de rotações silviculturais influem diretamente na viabilidade econômica e técnica da produção de madeira, ainda assim, é muito comum encontrar áreas em que há povoamentos não explorados com idades acima da rotação silvicultural ou até mesmo florestas que são cortadas antes desta idade (Pimenta, 2015).

De acordo com Gonçalves *et al.* (2013), no Brasil, a maioria das plantações de eucalipto ocorrem em ciclos curtos, de 6 a 8 anos, Scolforo (2006) cita de 6 a 7 anos. Como pode ser observado, o clone B é o que possui a menor idade de rotação silvicultural, por volta dos 45 meses (3,75 anos), idade em que não é usual o corte das árvores, o mesmo apresenta produção em volume na idade de rotação entre 68,04 e 89,41 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, de acordo com a tabela de produção (TABELA 7).

Os clones C e D possuem idades de rotação próximo aos 50 meses (4,17 anos), a produção do clone C nesta idade está entre 87,18 a 104,74 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, quanto ao clone D, a produção está entre 82,05 a 99,77 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já o clone A possui idade de rotação aos 60 meses (5 anos) com um volume de 102,24 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Levando-se em conta o que foi dito acima, o clone A apresenta maior volume de madeira na idade de corte e idade de rotação mais próxima das usuais.

## ■ CONCLUSÃO

De acordo com o que foi observado nos resultados, considerando a idade de 5 anos para rotação silvicultural, conclui-se que, qualquer um dos quatro clones pode ser recomendado para implantação em locais com condições edafoclimáticas semelhantes à do presente estudo, pois não houve diferença estatística entre eles.

## ■ REFERÊNCIAS

1. ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília, 2011.
2. ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012, ano base 2011**. Brasília, 2012.
3. ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012**. Brasília, 2013.
4. ARAUJO, S. M. S. de. A região semiárida do nordeste do Brasil: Questões ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos recursos. **Revista rios eletrônica**, v. 05, n. 05, p. 90-98, 2011.
5. ASSIS, T. F.; RESENDE, M. D. V. **Genetic improvement of forest tree species**. Crop Breeding and Applied Biotechnology. Viçosa, v. 11, p. 44-49, Mai. 2011.
6. BEZERRA, A. D. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 60 f. Dissertação (mestrado em ciência florestal). Universidade Federal de Viçosa.
7. BINOTI, M. L. M. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. Viçosa-MG: UFV, 2010, 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa.
8. BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information theoretic approach**. 2 ed. Springer, New York, 2002. 488p.
9. CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 1. Ed. Viçosa: UFV, 2002.
10. CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C. L. L.; MAETRI, R.; DANIELS, R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 38-50, dez. 2005.
11. CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.3, p.287-295, mar. 2013.
12. CHAVES, A. G. S. **modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* linn. f. até a idade de rotação**. 2013. 72 f. Dissertação (mestrado em Ciências florestais) – Universidade federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal.

13. DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de. **Seleção de espécies/procedências do gênero *Eucalyptus* potenciais para o semi-árido do Brasil**. Embrapa semiárido. 2006. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/>> acessado em: 05 mai. 2018.
14. DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R. de; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa semiáridos, 2016.
15. FERNANDES, A. L. T.; FLORENCIO, T. M.; FARIA, M. F. Análise biométrica de florestas irrigadas de eucalipto nos cinco anos iniciais de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 05, p. 505-513, fev. 2012.
16. FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S.; NETO, S. M. O. N., PAULA, T. R., COUTINHO, R. P.; SILVA, R. L. da. Crescimento e produção de eucalipto na região do médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e ambiente**. v. 24, p. 1-9, 2017.
17. GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**. v. 301, p. 6- 27, jan. 2013.
18. GABRIEL, V. A.; VASCONCELOS, A. A.; LIMA, E. F.; CASSOLA, H.; BARRETTO, K. D.; BRITO, M. C. A importância das plantações de eucalipto na conservação da biodiversidade. **Pesquisa florestal brasileira**. Colombo, v. 33, n. 74, p. 203-2013, jun. 2013.
19. GONÇALVES, J. C.; CARVALHO, S. P. C.; OLIVEIRA, A. D.; GOMIDE, L. R. Comparação dos modelos prognósticos de Clutter e da função Logística. **Pesquisa florestal brasileira**. Colombo, v. 36, n. 87, p. 311-317. Set. 2016.
20. HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M. Anais da 47ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo - De 09 e 10 de maio de 2013. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, v. 20, n. 41, p. 1-64, nov. 2015.
21. IBA, Industria Brasileira de Árvores. **Anuário Estatístico da IBA 2014 – Ano base 2013**. [S.l.], 2014.
22. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Boletim Agroclimatológico: mapas do boletim agroclimatológico**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?=agrometeorologia/boletinsagroclimatologicos>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
23. LEITE, M. E.; ALMEIDA, J. W. L.; SILVA, R. F. Análise espaço-temporal do eucalipto no Norte de Minas Gerais nos anos de 1986, 1996 e 2010. **Geo-textos**. [S.l.], v. 8, n. 2, p. 59-74, dez. 2012.
24. LIMA, W. P. A. **Silvicultura e a água: Ciência, dogmas, desafios**. v. 01, Rio de Janeiro: BioAtlântica, 2010.
25. MELO, M. B. de, A riqueza verde de Minas Gerais, **Diário do comércio**, [S.l.], p. 02, 2016. Disponível em: <<http://silviminas.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Artigo-Dr.-Maur%C3%ADcio-Bicalho1.pdf>> Acessado em: 14 set. 2017.

26. PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas: resultados e perspectivas**. 1 ed. Colombo: Embrapa florestas, 2011.
27. ROMANIUK, D. S. **Modelagem do crescimento e da produção em plantios de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná**. 2015. 71 f. Dissertação (mestrado em Manejo florestal) – Universidade Estadual do Centro-oeste.
28. PIMENTA, L. G. **Efeito da idade de rotação na produtividade e viabilidade econômica em povoamentos de *Eucalyptus spp.*** 2015. 29 f. Monografia (monografia em engenharia agrônoma) – Universidade Federal de São João Del Rei, Engenharia agrônoma.
29. SIMIONI, F. J.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; FACHINELLO, A. L.; BUSCHINELLI, C. C. De A.; MATSUURA, M. I. da S. F. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 02, p. 731-742, 2017.
30. SNIF, sistema Nacional de Informações florestais. **Boletim SNIF 2016**. Brasília, v. 2, n. 2, jan. 2017.
31. SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A., LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. DE. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande, v.10, n.3, p.629–638, 2006.
32. SANTOS, J. A. DOS. LIMA; V. O. B.; OLIVEIRA, J. C.; MATOS, P. S.; TRAZZI, P. A. Avaliação do crescimento de clones de eucalipto no norte de Minas Gerais. **Enciclopédia conhecer**, Goiânia, v. 14, n. 26, p. 75-85, dez. 2017.
33. SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de eucalyptus sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 02, p. 275-283, 2007.
34. SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.
35. SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004
36. SANTOS, A. T.; MATTOS P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométrica em plantio de *Ocotea porosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 32, n. 69, p. 13-21, jan./mar. 2012.
37. TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v. 32, n. 02, p. 227-234, 2012.
38. VAZ, M. A. B. **Estudo de delineamentos experimentais no esquema fatorial duplo com um tratamento adicional**. 2013. 103 f. Dissertação (mestrado em estatística e experimentação agrônoma) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.