

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA

LAYANE MOURÃO CORDEIRO

PRODUÇÃO DE EUCALIPTO CONDUZIDOS SOB ALTO FUSTE E TALHADIA EM
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS

SÃO JOÃO EVANGELISTA
DEZEMBRO DE 2019

LAYANE MOURÃO CORDEIRO

**PRODUÇÃO DE EUCALIPTO CONDUZIDOS SOB ALTO FUSTE E TALHADIA EM
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São
João Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

SÃO JOÃO EVANGELISTA

DEZEMBRO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

C787p Cordeiro, Layane Mourão.
2019

Produção de eucaliptos conduzidos sob alto fuste e talhadia em diferentes arranjos espaciais. / Layane Mourão Cordeiro. – 2019.
21fl; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2019.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

1. Densidade de plantio. 2. Potencial produtivo. 3. Retangularidade. 4. Rotações.
I. Cordeiro, Layane Mourão. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 634.97342

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

LAYANE MOURÃO CORDEIRO

**PRODUÇÃO DE EUCALIPTO CONDUZIDOS SOB ALTO FUSTE E TALHADIA EM
DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São
João Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

Aprovado em 12/12/2019

BANCA EXAMINADORA

Bruno Lafetá
Orientador Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Natália Risso Fonseca

Profa. Dra. Natália Risso Fonseca

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Tamires Mousslech A. Penido

Profa. Ma. Tamires Mousslech Andrade Penido

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – Campus Diamantina

*A Deus e Nossa Senhora, pela graça e proteção.
A minha mãe, Irene Mourão, pelo exemplo de vida e amor.
A meu namorado, Diogo, pela força e companheirismo.
E a todos que acreditaram em mim.
Dedico essa vitória.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e Nossa Senhora, pela presença em minha vida, por toda força, sabedoria e proteção para seguir meu caminho em busca da realização de mais um sonho.

Agradeço a minha mãe Irene, por toda confiança e amor, por estar sempre ao meu lado, me incentivar e ensinar tanto.

A minha família, por todo apoio e consideração.

Ao meu namorado Diogo, pelo companheirismo, amor, força e por estar comigo em todos os momentos.

Aos amigos que fizeram com que essa caminhada fosse mais leve, com todo o apoio e carinho compartilhado durante a trajetória.

Ao professor Bruno Oliveira Lafetá, por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, orientação e confiança.

A todos os demais professores do curso de Engenharia Florestal, por todo ensinamento compartilhado durante a graduação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, pela oportunidade e acolhida.

A empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA) pela disponibilização dos dados para execução do trabalho e pela oportunidade de participar do programa de estágio e adquirir conhecimentos imensuráveis. Agradeço em especial ao Antonilmar, por acreditar e contribuir na execução do trabalho.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais de plantio e regimes de manejo. As combinações avaliadas foram instaladas em escala operacional, sendo assim descritas: T1) alto fuste + 3,00 × 2,80m; T2) alto fuste + 3,00 × 3,33m; T3) talhadia + 3,00 × 3,33m e; T4) talhadia + 4,00 × 2,50m. Totalizaram-se 40, 1.495, 155 e 13 talhões comerciais para cada combinação, respectivamente. O crescimento em área basal e volume se diferenciou entre rotações à medida que melhorou a qualidade de sítio e aumentou a idade. A estimativa de declínio volumétrico da talhadia em relação ao alto fuste, quando se adotou o arranjo 3,00 × 3,33m, iniciou-se logo após os 62,2 meses, 60,9 meses, 59,8 meses e 58,8 meses para os índices de sítios de 20, 25, 30 e 35 m, respectivamente. A diferença percentual de tal declínio foi menor que 4 e 6% aos 72 e 84 meses de idade. O arranjo 3,00 x 3,33m demonstrou maior potencial volumétrico nos regimes de alto fuste e talhadia. Neste arranjo espacial, o início de rotação da talhadia tende a ser mais produtivo que o do alto fuste.

Palavras-chave: Densidade de plantio; Potencial produtivo; Retangularidade; Rotações.

ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the eucalyptus production under different spatial planting arrangements and management regimes. The evaluated combinations were installed on an operational scale, as follows: T1) high shaft + 3.00 × 2.80m; T2) high shaft + 3.00 × 3.33m; T3) coppice + 3.00 × 3.33m and; T4) coppice + 4.00 × 2.50m. There were 40, 1,495, 155 and 13 commercial plots for each combination, respectively. Growth in basal area and volume differed between rotations as site quality improved and age increased. The estimation of the coppice's volumetric decline in relation to the high shaft, when the 3.00 × 3.33m arrangement was adopted, started shortly after 62.2 months, 60.9 months, 59.8 months and 58.8 months. months for site indexes of 20, 25, 30 and 35 m, respectively. The percentage difference of such decline was less than 4 and 6% at 72 and 84 months of age. The 3.00 x 3.33m arrangement showed higher volumetric potential in the high stem and coppice regimes. In this spatial arrangement, the beginning of the coppice's rotation tends to be more productive than that of the high shaft.

Keywords: Planting Density; Productive potential; Rectangularity; Rotations.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
3. RESULTADOS	12
4. DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

A silvicultura tem um grande papel na economia nacional, possui uma representatividade de 6,9% no PIB Industrial, geração de 3,8 milhões de empregos e responsável por 5,2% das exportações brasileiras em 2019. O consumo de madeira de florestas equiâneas minimiza o impacto sobre a vegetação nativa, onde 1 hectare de florestas plantadas conserva 0,7 hectare de área natural. Vale ressaltar que 7,83 milhões de hectares de árvores plantadas consegue absorver 1,7 bilhão de toneladas de CO₂eq¹ da atmosfera. No Brasil, 6,3 milhões de hectares das árvores plantadas são advindas de manejo florestal, garantindo a sustentabilidade e desempenhando uma importante função para o país (IBÁ, 2019).

A expressiva produtividade florestal brasileira é atribuída a melhorias silviculturais, avanços operacionais e pesquisas em melhoramento genético e biotecnologias para diferentes condições de sítio. A definição de práticas silviculturais específicas para determinados sítios é fundamental para a obtenção de incrementos volumétricos em povoamentos conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia.

O sistema alto fuste ou reforma, atualmente é mais utilizado do que o sistema de talhadia, devido à avanços biotecnológicos e melhoramento genético destinado à clonagem (ALMEIDA, 2019). Este sistema é representado pelo processo de condução, exploração e regeneração da floresta (FONTENELE, 2016). Por outro lado, o sistema de talhadia consiste na condução de brotos originários de cepas de plantios recém-cortados (ALMEIDA, 2019). A adoção do sistema de talhadia é justificada por proporcionar menores custos na produção por volume de madeira produzida, produção de madeira de menores dimensões, simplicidade de execução do corte e aquisição de mudas. Porém, é importante ressaltar que fatores como deficiência hídrica e nutricional podem afetar o crescimento das brotações (FONTENELE, 2016).

O declínio produtivo na talhadia tem sido frequente em diversas regiões brasileiras. Muitos pesquisadores têm buscado explicações para tal declínio, levantando hipóteses sobre as irregularidades de condições meteorológicas, genótipo, qualidade operacional de colheita, manejo integrado de pragas e doenças, práticas silviculturais de preparo do solo, fertilização e condução de brotações, genótipo, controle de plantas daninhas e diferentes níveis tecnológicos de implantação (SILVA, 2013; GONÇALVES et al, 2014). A carência de dados para a pesquisa relacionados a talhadia e o longo período de ciclo de corte para avaliação são aspectos que favorece a falta de conhecimento sobre a produtividade em sucessivas rotações.

O espaçamento e arranjo espacial influenciam o crescimento, produção em volume, idade de corte e a escolha de práticas silviculturais apropriadas para a implantação e condução florestal. A seleção do espaçamento de plantio deve contemplar a qualidade do site, genótipo e nível tecnológico. Plantios mais densos apresentam árvores de diâmetro menor se comparados com plantios menos densos, porém os plantios com menor espaçamento atingem a capacidade de sítio mais rapidamente, com a diminuição das dimensões dos produtos obtidos (MARCOLINO, 2010). O volume de madeira por área aumenta com o adensamento do espaçamento, devido o maior número de árvores por área em menores espaçamentos (MOULIN et al, 2017).

A análise da projeção da produção volumétrica para diferentes classes de sítio são essenciais para a gestão dos recursos florestais. Esta estimativa é adquirida por meio de modelos de crescimento e produção, que são ajustados a partir de, principalmente, dados biométricos provenientes de inventário florestal. As equações obtidas permitem a construção de tabelas de produção, estimativas do estoque de crescimento, subsidiam a prescrição de tratamentos silviculturais e planejamento da colheita (BEZERRA, 2009). Logo, a adoção de modelos que representam adequadamente o realismo biológico é fundamental para a eficiência da modelagem (SILVA, 2017).

A modelagem via regressão não linear é uma importante ferramenta estatística que permite sintetizar amplos conjuntos de informações para reconhecer padrões de crescimento, prever a produtividade de povoamentos e auxiliar a tomada de decisões referentes ao planejamento florestal (MAESTRI; SANQUETTA; ARCE, 2003). Este planejamento se torna ainda mais relevante quando se considera a economia nacional.

Os modelos de crescimento e produção florestal mais utilizados no Brasil são aqueles baseados nas características do povoamento, como idade, área basal e índice de sítio, podendo definir índice de sítio como o crescimento médio da altura dominante em função da idade. Essa modelagem tem sido realizada, basicamente, a partir do modelo de Clutter, para diferentes espécies, clones e regiões, gerando estimativas precisas e livres de tendência (MIRANDA et al., 2014). Entretanto, o uso de modelos parcimoniosos como o logístico tem se destacado no setor florestal face a análise específica de estratificações, facilidade de ajuste e interpretação de parâmetros.

Mediante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais de plantio e regimes de manejo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido com 1.703 talhões clonais de eucalipto, instalados e conduzidos pela companhia Celulose Nipo Brasileira S.A. (CENIBRA). A distribuição dos talhões contemplou as regiões referentes a Barão de Cocais – BC, Santa Bárbara – SB e, entre BC e SB, uma sub-bacia do Rio Piracicaba – PI. O clima predominante dessas regiões segundo sistema internacional de Köppen (KÖPPEN, 1936) é do tipo Cwb, tropical de altitude. As médias anuais de temperatura e precipitação em BC são de 20,7° C (médias variando de 17,4°C em julho a 23,2°C em fevereiro) e 1.383 mm (médias variando de 10 mm em julho e agosto a 294 mm em dezembro), respectivamente. Nesta sequência, SB apresenta média de 20,6°C (médias variando de 17,2°C em julho a 23,1°C em fevereiro) e 1.376 mm (médias variando de 11 mm em julho e agosto a 289 mm em dezembro). Os dados climáticos foram oriundos de registros anuais de 1982 a 2012, disponibilizados gratuitamente por Climate-data.org (<http://es.climate-data.org/>).

As combinações avaliadas entre os arranjos espaciais de plantio e regimes de manejo foram instaladas em escala operacional (Tabela 1).

Tabela 1. Combinações avaliadas entre os arranjos espaciais de plantio e regimes de manejo, com respectivas retangularidades e número de talhões em que estão presentes.

Tratamento	Regime	Arranjo	Retangularidade	Número de talhões
T1	Alto Fuste	3,00 x 2,80	1,07	40
T2	Alto Fuste	3,00 x 3,33	1,11	1.495
T3	Talhadia	3,00 x 3,33	1,11	155
T4	Talhadia	4,00 x 2,50	1,60	13

Os dados para a análise do crescimento e produção foram provenientes de inventários florestais contínuos executados durante a primeira e segunda rotação em ciclos de cultivo distintos. O período inventariado por rotação foi de 24 a 84 meses, entre fevereiro de 2006 a setembro de 2013. Nem todos os talhões foram contemplados com medições até o final da segunda rotação. O processamento em nível de parcela foi realizado pela própria empresa florestal, sendo cedidas as estimativas médias de altura dominante (m), área basal (B, m² ha⁻¹) e volume comercial com casca (V, m³ ha⁻¹). O índice de sítio (S, m) foi definido para uma idade de 72 meses.

Os dados de cada combinação foram submetidos à análise de regressão não linear através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado por rotação para a estimativa de cada atributo biométrico em função do índice de sítio e idade do talhão. Optou-se pelo modelo logístico em virtude da fundamentação biológica, facilidade de interpretação de seus parâmetros e crescente uso no setor florestal.

$$Y = \frac{\alpha S}{1 + \beta S^{-1} e^{-\gamma I}} + \varepsilon$$

Em que: Y = atributo biométrico (B e V); I = idade (meses); α , β e γ = parâmetros do modelo logístico; S = índice de sítio (m); e = constante neperiana; e ε = erro aleatório.

A qualidade dos ajustes foi avaliada de acordo com os valores da Média dos Desvios Absolutos (MDA), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e coeficiente de correlação de Pearson (r). Menores valores de MDA e RQEM implicam em maior qualidade preditiva. A significância de parâmetros foi avaliada pelo teste t . A análise gráfica consistiu na inspeção estatística de superfícies de resposta, comparando o comportamento das combinações.

A cada 5 unidades de site (de 20 a 35m), calcularam-se através de derivação as idades correspondentes à tangente a parte inferior de curva (passando pela origem, P1), ponto de inflexão (P2) e idade técnica de corte (ITC, P3). A assíntota foi calculada por relação multiplicativa entre valores do parâmetro “ α ” e índice de sítio (P4). Os intervalos de idade correspondentes à origem até P1 e de P3 a P4 representam as fases de crescimento lento vegetal. O intervalo de intenso crescimento situa-se entre P1 e P3, atingindo o máximo incremento corrente em P2.

A diferença absoluta da estimativa volumétrica ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) entre combinações de regimes de manejo e arranjos espaciais foi calculada assumindo como referencial o arranjo mais frequente no trabalho, de $3,00 \times 3,33\text{m}$. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes contrastes volumétricos: Contraste 1 = T3 (talhadia + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T2 (alto fuste + $3,00 \times 3,33\text{m}$); Contraste 2 = T2 (alto fuste + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T1 (alto fuste + $3,00 \times 2,80\text{m}$) e; Contraste 3 = T3 (talhadia + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T4 (talhadia + $4,00 \times 2,50\text{m}$).

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do *software* R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018), ao nível de significância de 1%.

3. RESULTADOS

As equações geradas para cada regime de manejo e arranjo espacial são apresentadas na Tabela 2. Os menores valores de MDA e RQEM foram observados nos ajustes realizados para os povoamentos sob talhadia e arranjo $3,00 \times 3,33\text{m}$. Os ajustes referentes aos povoamentos conduzidos sob talhadia e arranjo $4,00 \times 2,50\text{m}$ exibiram os maiores desvios. Os coeficientes de correlação foram elevados e significativos ($r \geq 0,82$, $p \leq 0,01$); menores valores foram verificados para a talhadia. A significância de parâmetros ($p \leq 0,05$) foi verificada em todos os ajustes do modelo logístico. Como esperado, o comportamento sigmoidal foi identificado em todas as superfícies de resposta obtidas para a estimativa de área basal (Figura 1) e volume (Figura 2).

Tabela 2. Coeficientes e qualidade de ajuste do modelo logístico para a estimativa de área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) e volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de diferentes regimes de manejo e arranjos espaciais de eucalipto em função do índice de sítio (m) e idade (meses)

Regime	Arranjo	α	β	γ	MDA	RQEM	r
----- Área basal -----							
Alto fuste	$3,00 \times 2,80\text{m}$	0,891275	181,601443	0,058249	1,84	2,35	0,91
	$3,00 \times 3,33\text{m}$	0,905306	262,217632	0,065403	2,04	2,66	0,88
Talhadia	$3,00 \times 3,33\text{m}$	0,899695	183,704145	0,060553	1,82	2,33	0,87
	$4,00 \times 2,50\text{m}$	0,974461	83,469702	0,033983	2,79	3,73	0,82
----- Volume -----							
Alto fuste	$3,00 \times 2,80\text{m}$	11,613270	331,093283	0,055098	26,23	31,68	0,95
	$3,00 \times 3,33\text{m}$	12,306668	526,441830	0,058886	25,73	34,00	0,92
Talhadia	$3,00 \times 3,33\text{m}$	11,814394	276,904596	0,050218	23,71	30,44	0,91
	$4,00 \times 2,50\text{m}$	10,428579	789,429900	0,073979	31,45	41,02	0,87

α , β e γ referem-se aos parâmetros do modelo logístico; MDA = média dos desvios absolutos; RQEM = raiz quadrada do erro médio e; r = coeficiente de correlação.

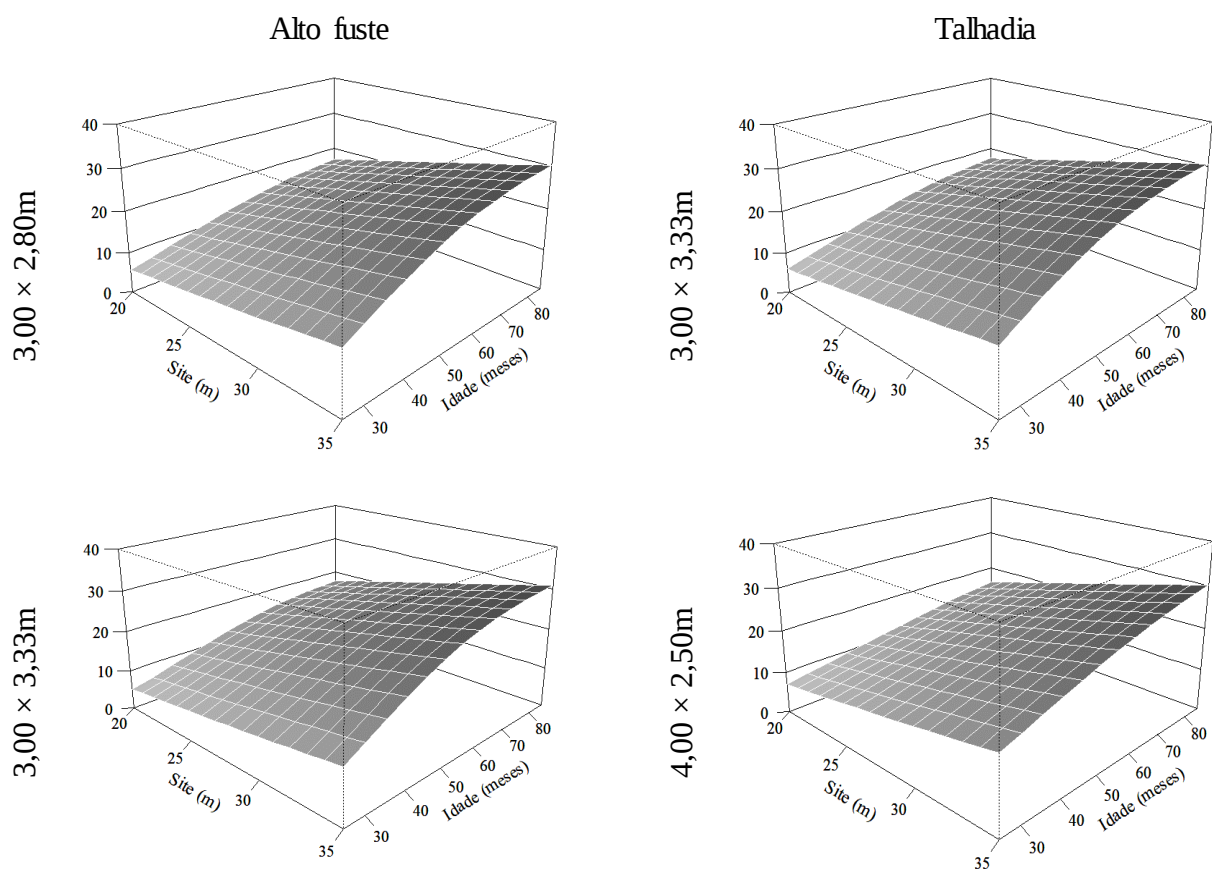


Figura 1. Superfícies de resposta da área basal de eucalipto ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, eixo z) em função do índice de sítio (m, eixo x) e idade (meses, eixo y).

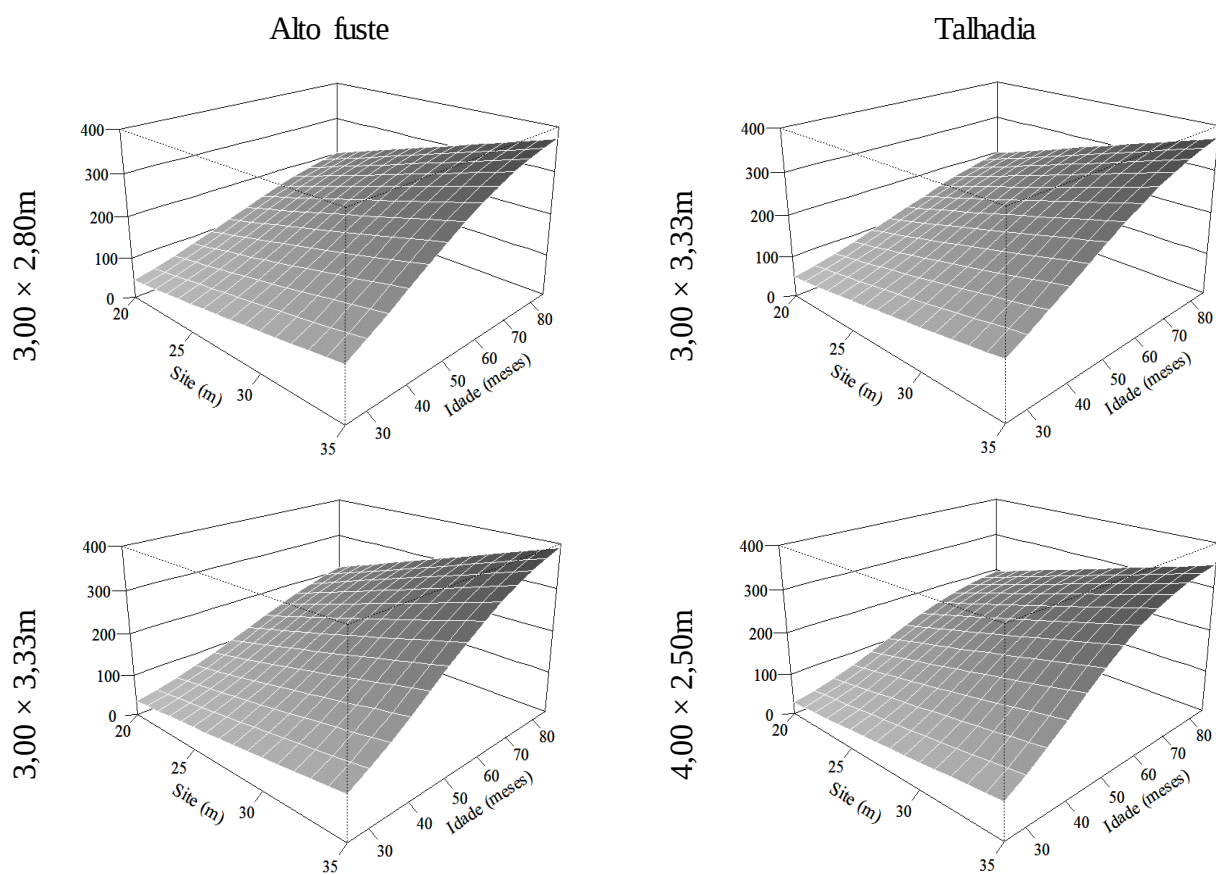


Figura 2. Superfícies de resposta da produção volumétrica ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, eixo z) de eucalipto em função do índice de sítio (m, eixo x) e idade (meses, eixo y).

Os valores do parâmetro “ α ” das equações oscilaram relativamente pouco, com coeficiente de variação de 4,17 e 6,90% para a estimativa de área basal e volume, respectivamente. As superfícies de reposta evidenciaram diferenças no comportamento do acúmulo de área basal e volume com o envelhecimento do povoamento (Figuras 1 e 2). A estimativa de idade referente aos pontos P1, P2 e P3 da superfície de resposta de produção volumétrica foi menor à medida que aumentou o índice de sítio (Tabela 3). No regime de alto fuste, maiores densidades de plantio resultaram em menores idades nesses pontos da superfície de resposta.

Tabela 3. Idades (meses) estimadas para diferentes posições da curva de produção volumétrica de diferentes regimes de manejo e arranjos espaciais de eucalipto

Regime	Arranjo	Posição	Sites (m)			
			20	25	30	35
Alto fuste	3,00 × 2,80m	P1	27,04	22,99	19,68	16,88
		P2	50,94	46,89	43,58	40,78
		P3	74,84	70,79	67,48	64,68
	3,00 × 3,33m	P1	33,17	29,38	26,29	23,67
		P2	55,54	51,75	48,65	46,03
		P3	77,90	74,11	71,02	68,40
Talhada	3,00 × 3,33m	P1	26,11	21,66	18,03	14,96
		P2	52,33	47,89	44,26	41,19
		P3	78,56	74,11	70,48	67,41
	4,00 × 2,50m	P1	31,88	28,87	26,40	24,32
		P2	49,68	46,67	44,20	42,12
		P3	67,49	64,47	62,01	59,92

P1 = tangente a parte inferior de curva; P2 = ponto de inflexão de curva e; P3 = idade técnica de corte.

A estimativa de declínio volumétrico da talhadia em relação ao alto fuste, quando se adotou o arranjo 3,00 × 3,33m, iniciou-se logo após os 62,2 meses, 60,9 meses, 59,8 meses e 58,8 meses para os índices de sítios de 20, 25, 30 e 35 m, respectivamente. A diferença percentual de tal declínio foi menor que 4 e 6% aos 72 e 84 meses de idade (Tabela 4, Contraste 1). Aos 60 meses, a estimativa de igualdade da produção entre regimes de manejo ocorreu no índice de sítio com 28,89m. A estimativa volumétrica da talhadia aos 60 meses foi superior àquela do alto fuste nas ocasiões cujo índice de sítio foi inferior a 28,89m e o inverso foi verificado nos sites acima deste valor. A partir de 63 meses, verificou declínio da estimativa volumétrica da talhadia nos talhões

com índice de sítio de 25 a 35m. Aos 84 meses, a diferença entre regimes de manejo oscilou 0,51% (índice de sítio de 25 m = -5,34% e índice de sítio de 35 m = -4,82%).

Tabela 4. Diferença absoluta da estimativa volumétrica ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) entre regimes de manejo e arranjos espaciais de eucalipto

Sites (m)	Idades (meses)					
	24	36	48	60	72	84
Contraste 1 = T3 (talhadia + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T2 (alto fuste + $3,00 \times 3,33\text{m}$)						
20	12,66	13,07	9,15	1,47	-6,28	-11,06
25	18,15	17,65	11,17	0,77	-8,48	-13,66
30	24,07	22,15	12,77	-0,25	-10,75	-16,23
35	30,25	26,45	13,96	-1,50	-13,06	-18,77
Contraste 2 = T2 (alto fuste + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T1 (alto fuste + $3,00 \times 2,80\text{m}$)						
20	-9,68	-11,69	-10,55	-5,39	1,60	7,41
25	-13,86	-15,67	-12,68	-4,94	3,90	10,55
30	-18,34	-19,49	-14,25	-3,95	6,49	13,77
35	-23,01	-23,08	-15,30	-2,54	9,27	17,06
Contraste 3 = T3 (talhadia + $3,00 \times 3,33\text{m}$) – T4 (talhadia + $4,00 \times 2,50\text{m}$)						
20	18,76	16,65	7,55	-1,64	-2,83	2,97
25	27,33	23,43	11,32	1,36	1,54	8,72
30	36,80	30,62	15,57	5,16	6,56	14,82
35	46,97	38,09	20,20	9,52	12,01	21,12

A diferença volumétrica entre os arranjos $3,00 \times 3,33\text{m}$ e $3,00 \times 2,80\text{m}$, conduzidos sob alto, tendeu a redução ao longo da idade (Tabela 4, Contraste 2). Aos 24, 36 e 48 meses de idade, essa diferença volumétrica foi maior à medida que aumentou o índice de sítio. As estimativas de igualdade volumétrica entre arranjos foram observadas aos 69,2 meses, 66,5 meses, 64,3 meses e 62,3 meses para os índices de sítio de 20, 25, 30 e 35m, respectivamente. A partir dessas idades, a diferença volumétrica variou relativamente pouco, inferior a 4,5%.

A diferença volumétrica entre os arranjos $3,00 \times 3,33\text{m}$ e $4,00 \times 2,50\text{m}$, conduzidos sob talhadia, foi modesta aos 84 meses de idade, de 1,5 a 5,7% para os índices de sítio de 20 a 35m, respectivamente (Tabela 4, Contraste 3). Por outro lado, a idade técnica de corte (P3) foi menor para o arranjo de maior retangularidade, variando de 7,5 (índice de sítio de 35m) a 11,1 meses (índice de sítio de 20m) de diferença no que se refere àquele de menor retangularidade.

4. DISCUSSÃO

A modelagem do crescimento e produção deve representar adequadamente a realidade operacional de povoamentos florestais. A quantidade de informações biométricas em nível de parcela possibilitou o uso do modelo logístico com precisão, evidenciando a flexibilidade e bom desempenho de ajuste. Em virtude da ampla plasticidade fenotípica que diferentes genótipos de eucalipto podem assumir em cenários com distintos arranjos espaciais, idades e sítios (FORRESTER et al., 2012; COBLE et al., 2014; ALEGRIA et al., 2019), a área basal e volume foram estimados de maneira satisfatória pelas equações obtidas (Tabela 2). Enfatiza-se que o objetivo do estudo não foi provar a eficiência do modelo logístico, mas a tendência da variável resposta em condição de rotina operacional.

Definiram-se relações funcionais de dupla entrada para a estimativa de área basal e volume de eucalipto, utilizando o índice de sítio e a idade como variáveis preditoras (Figuras 1 e 2). O comportamento das superfícies de resposta geradas para a área basal aproximou-se daquele de volume. O detalhamento das informações em diferentes arranjos espaciais e capacidades produtivas permitiu a análise de padrões de produção. A intensificação do crescimento (representado por P1) iniciou antecipadamente nos arranjos mais adensados nos regimes de alto fuste e talhadia. Este resultado corrobora com o esperado para o cultivo de eucalipto, em que se esperada maior produção inicial por área em plantios mais densos e antecipação da estagnação da taxa de crescimento (LAFETÁ et al., 2018). Diante da intensificação do crescimento a partir de P1, recomenda-se para este momento um adequado balanço nutricional e eficiente controle de pragas e doenças. Portanto, monitoramento nutricional desde o início de cultivo é relevante para o planejamento e execução de práticas silviculturais apropriadas para a condução do povoamento e aumento da produtividade.

Maiores índices de sítio estiveram relacionados à menores idades em P1, P2 e P3, comprovando que talhões mais produtivos em volume tendem a menores idades técnicas de corte (CAMPOS e LEITE, 2017; LAFETÁ et al., 2018). A diferença de idade técnica de corte entre índices de sítio de 20 e 35m foi em média, de 10 meses. No arranjo $3,00 \times 3,33\text{m}$, as diferenças entre tais idades técnicas foram de 10 e 11 meses para os regimes de alto fuste e talhadia, respectivamente. Indica-se mais cautela e intensificação do monitoramento da condução de talhões mais produtivos, cuja intensificação do crescimento ocorre com antecedência em relação àqueles com menor índice de sítio.

A idade técnica de corte do regime de talhadia foi inferior àquela do alto fuste no arranjo $3,00 \times 3,33\text{m}$. Este evento, também, esteve associado às menores idades da intensificação do

crescimento a partir de P1 e do ponto de inflexão da curva de produção (P2). As árvores sob regime de talhadia possuem sistema radicular formado e estabelecido no sítio, o que favorece produção volumétrica das brotações; afirmativa confirmada no Contraste 1 da Tabela 4. Para a idade técnica de corte da talhadia em tal arranjo espacial (67,41 meses, Tabela 3), a diferença absoluta de produção entre os regimes de alto fuste e talhadia no índice de sítio de 35m foi modesta, de $9,35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (2,79%), respectivamente. Este valor é inferior ao RQEM encontrado nos ajustes do modelo logístico para ambos regimes de manejo, indicativo, inclusive, de igualdade estatística.

No regime de alto fuste, verificou maior produtividade do arranjo $3,00 \times 2,80\text{m}$ em relação ao $3,00 \times 3,33\text{m}$ nos primeiros anos de cultivo (Contraste 2 da Tabela 4). A idade técnica de corte do primeiro arranjo foi de 64,68 meses idade no índice de sítio de 35m, que representou uma diferença volumétrica de $2,45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (0,76%). Oscilações na diferença absoluta de produtividade entre arranjos espaciais podem ocorrer ao longo da idade de rotação em virtude de aspectos meteorológicos e peculiaridades fenotípicas de determinados genótipos.

No que se refere ao regime de talhadia (Contraste 3 da Tabela 4), mesmo com área útil similar (10 m^2), o arranjo $3,00 \times 3,33\text{m}$ se mostrou promissor volumetricamente em relação ao $4,00 \times 2,50\text{m}$. A diferença entre estes arranjos espaciais se pautou em retangularidade, onde o segundo é 1,44 vez maior que o primeiro. Arranjos de mesma área útil, porém com maior retangularidade, tendem a exibir menor produtividade em rotações de eucalipto (WEST, 2006; SANTOS et al., 2019). O aumento da retangularidade pode antecipar o contato entre copas, restringir o uso de luz, antecipar a competição e estimular a mortalidade (GONÇALVES et al., 2014; WEST, 2006). A antecipação da competição no arranjo de maior retangularidade pode ser comprovada nas menores idades em P1, P2 e P3 (Tabela 3).

A análise de viabilidade econômica é fundamental na escolha do arranjo espacial e deve considerar a produtividade e todos os custos envolvidos na cadeia florestal. Arranjos mais retangulares facilitam o acesso de máquinas entre linhas para o controle de matocompetição, manutenção e colheita do povoamento. Além disso, podem tornar operações por unidade de área mais rápidas e rentáveis financeiramente, pois demandam menos trânsito de veículos, combustível e mão de obra (CASSIDY; PALMER; SMITH, 2013; DANIEL et al., 2018). No entanto, em alguns casos, o aumento da distância entre plantas estimula a proliferação de matocompetição e inviabiliza adoção de arranjos de maior retangularidade.

A possibilidade de declínio volumétrico em rotações subsequentes deve ser contemplada no planejamento da regulação florestal. Salienta-se que a escolha ideal do arranjo espacial deve

considerar diferentes rotações em um mesmo ciclo de cultivo, levantando custos e produção até a reforma. Os resultados obtidos fornecem subsídios para o desenvolvimento de futuras pesquisas na busca de incremento produtivo de talhões manejados sob talhadia e levantamento de prováveis causas para declínios volumétricos em rotações subsequentes. Enfim, a resposta distinta da produção de eucalipto em diferentes arranjos espaciais, índices de sítio e rotações demonstrou que estratégias silviculturais específicas são necessárias para melhor aproveitamento do estoque de crescimento de sítios.

5. CONCLUSÕES

O arranjo espacial 3,00 x 3,33m demonstrou maior potencial volumétrico nos regimes de alto fuste e talhadia.

O início de rotação da talhadia tende a ser mais produtivo que o do alto fuste no arranjo espacial 3,00 x 3,33m. Estratégias silviculturais específicas para a condução da talhadia em sítios mais produtivos são essenciais para a maximização da produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRIA, C.; PEDRO, N.; HORTA, M. C.; ROQUE, N.; FERNANDEZ, P. Ecological envelope maps and stand production of eucalyptus plantations and naturally regenerate maritime pine stands in the central inland of Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 327-344, 2019.
- ALMEIDA, J. S. *Avaliação econômica de dois sistemas de regeneração (talhadia e alto fuste), em reflorestamento de Schizolobium parahyba var amazonicum (HUBER EX DUCKE) BARNEBY. no estado do Pará*. 2019. 32f. Monografia de Especialização – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- BEZERRA, A. F. 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**, Viçosa, MG, 2009.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. 5. ed. Viçosa: Ed., 2017. 636p.
- CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R. G. B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, v. 44, p. 919-939, 2013.
- COBLE, A. P.; AUTIO, A.; CAVALIERI, M. A.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Converging patterns of vertical variability in leaf morphology and nitrogen across seven *Eucalyptus* plantations in Brazil and Hawaii, USA. **Trees**, v. 28, p. 1-15, 2014.
- DANIEL, M. J.; GALLAGHER, T.; MITCHELL, D.; MCDONALD, T.; VIA, B. Changing times: altering establishment spacing, harvesting frequency, and harvesting machines to promote increased sawtimber volumes. **Frontiers in Energy Research**, v. 6, 2018, 13p.
- FONTENELE, N.de.M. *Comparação entre a produtividade e análise econômica de clones de Eucalyptus spp. em sistemas de alto fuste e talhadia no polo gesseiro do Araripe-PE*. 2016. 62f. Dissertação de Pós Graduação – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2016.
- FORRESTER, D. I.; COLLOPY, J. J.; BEADLE, C. L.; WARREN, C. R.; BAKER, T. G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertilizer application on transpiration, photosynthesis and water-use-efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 266, p. 286-300, 2012.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; BEHLING, M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantação de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.
- IBA. Dados Estatísticos: os números comprovam a força do setor de árvores plantadas. 2019. Disponível em <<https://www.iba.org/dados-estatisticos>>. Acesso em: 29 nov 2019.
- KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936. 44 p.

LAFETÁ, B. O.; SANTANA, R. C.; NOGUEIRA, G. S.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. S. Ecophysiology modeling by artificial neural networks for different spacing in eucalypt. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 3, p. 438-448, 2018.

MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Modelagem do Crescimento de Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Através de Processos de Difusão. Curitiba: **Revista Floresta**, v. 33, n. 2, p 169-182, jan./jul, 2003.

MARCOLINO, L. *Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo*. 2010. 36f. Monografia de Graduação – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

MIRANDA, R. O. V. de. et al. **Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus* sp.** Floresta, Curitiba, V.45, n. 1, p. 117-128, jan/mar. 2015.

MOULIN, J. C. et al. **Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto.** Floresta e Ambiente, Jerônimo Monteiro, 2017. Disponível <<https://www.floram.org/article/10.1590/2179-8087.073914/pdf/floram-24-e00073914.pdf>>. Acesso em: 05 nov 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.

SANTOS, P. H. R.; SANTANA, R. C.; OLIVEIRA, M. L. R.; GOMES, F. S. Benchmark: biomass production in *Eucalyptus* plantations as a consequence of fertilization. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, e20170606, 2019.

SILVA, G.C.C. *Modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos de eucalipto desbastado e não desbastado*. 2017. 130f. Dissertação de Pós Graduação – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SILVA, N.D.da. *Produtividade, demanda e eficiência nutricional de clones de eucalipto em regime de alto fuste e talhadia*. 2013. 65f. Dissertação de Pós Graduação – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

WEST, P. W. **Growing plantation forests**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, 304 p.