

TAMIRIS LOPES ELERATI

**ESPAÇAMENTO, GENÓTIPO, IDADE E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM  
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS- BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Elerati, Tamiris Lopes, 1992-

E39e  
2017

Espaçamento, genótipo, idade e a produção de biomassa em povoamentos de Eucalipto / Tamiris Lopes Elerati. – Viçosa, MG, 2017.

ix, 79f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.62-70.

1. Eucalipto - Espaçamento. 2. Eucalipto - Biomassa.  
3. Economia florestal. 4. Madeira - Exploração. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal.  
Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22 ed. 634.973766

TAMIRIS LOPES ELERATI

**ESPAÇAMENTO, GENÓTIPO, IDADE E A PRODUÇÃO DE BIOMASSA EM  
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de março de 2017



---

Nairam Félix de Barros



---

Helió Garcia Leite  
(Coorientador)



---

Haroldo Nogueira de Paiva  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha sabedoria e por guiar meus caminhos.

À minha mãe guerreira, Onélia, pelo amor incondicional. Ao meu pai, Joaquim, pelo exemplo de honestidade. Às irmãs, Francine e Anna Lívia, pelo companheirismo. Obrigada por acreditarem em mim e proporcionarem, cada um a sua maneira, a melhor educação e formação como pessoa.

Ao Rodrigo por todo seu amor, paciência e respeito; obrigada por estar ao meu lado em todos os momentos e entender minhas ausências.

À família Lopes pela união, carinho e presença, mesmo quando a distância não permitia. Em especial aos meus amados avós, Maria e Nenego, por estarem sempre presentes vibrando com minhas conquistas. Minha eterna gratidão por todo carinho e incentivo.

Ao professor orientador Haroldo Nogueira de Paiva, pela confiança na realização deste trabalho, orientação e aos ensinamentos repassados contribuindo para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Também ao professor coorientador Hélio Garcia Leite pelo auxílio imprescindível na elaboração do trabalho e pelos conhecimentos repassados.

A todos os professores que contribuíram para o meu conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do meu caráter no processo da minha formação. A palavra mestre, nunca será suficiente para os professores, aos quais sem nominar, terão meus eternos agradecimentos.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter sido fundamental na minha formação profissional e como cidadã.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela oportunidade de realização do curso.

À empresa Ramires Reflorestamentos LTDA, em especial ao engenheiro Rogério Rezende Malheiros.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Às minhas irmãs de república, Jaque e Rita, que se fizeram presente desde início dessa jornada e à Wiane, por me acolher, obrigada pela amizade e pelo conforto.

Às minhas amigas Barangas; Cams, Mari, Karin, Thata, Angel e Baiana; obrigada por tornarem essa caminhada mais leve e divertida.

Ao meu querido amigo Matheus, pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos da graduação/Pós-graduação; Amana, Vicente, Mariana e Matheus; por compartilharem os mesmos medos e inseguranças.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação do DEF Alexandre e Dilson, por serem sempre muito prestativos e pacientes.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e gratidão.

Muito grata!

## **BIOGRAFIA**

TAMIRIS LOPES ELERATI, filha de Joaquim Elerati e Onélia Aparecida Lopes Elerati, natural de Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, nasceu no dia 28 de Fevereiro de 1992.

Em 2009, concluiu o ensino médio no Colégio Sagrado Coração de Maria, em Ubá, Minas Gerais.

Em março de 2010, ingressou no curso de Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, tendo concluído em janeiro de 2015.

Em março de 2015, ingressou no programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em março de 2017.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1 Objetivo geral .....	5
2.2 Objetivos específicos .....	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	6
3.1 Caracterização da área de estudo .....	6
3.2 Instalação do experimento .....	7
3.3 Coleta e tratamento dos dados .....	8
3.4 Estimativa do volume de árvores individuais e volume total .....	9
3.5 Estimativa da área basal .....	10
3.6 Estimativa de massa seca e carbono .....	10
3.7 Qualidade da madeira .....	11
3.8 Análise das características da madeira .....	12
3.9 Estimativa de massa seca e energia .....	13
3.10 Análise dos dados .....	14
4. RESULTADOS .....	16
5. DISCUSSÃO .....	47
6. CONCLUSÕES .....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
APÊNDICE .....	71

## RESUMO

ELERATI, Tamiris Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2017. **Espaçamento, genótipo, idade e a produção de biomassa em povoamentos de eucalipto.** Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Coorientador: Helio Garcia Leite

Os povoamentos florestais cobrem milhões de hectares a cada ano nas regiões tropicais, com a finalidade de suprir a demanda de madeira local e global, além de atuarem como sequestradores de carbono e oferecerem outros bens e serviços diretos e indiretos. O estado do Mato Grosso do Sul vem se destacando, devido ao acelerado crescimento no setor florestal. Buscando atender a demanda de madeira para energia e entender seu crescimento nessa região, essa pesquisa teve por objeto avaliar o efeito do espaçamento de plantio e da idade na produção de cinco clones de eucalipto, no município de Ribas do Rio Pardo, MT. Mudanças dos clones 02, 04, 05, 07 e 24 foram plantadas em parcelas fixas, em espaçamentos de 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, com 27 repetições para cada combinação clone x espaçamento. Cada parcela foi composta por cinco linhas, com dez plantas por linha. Foram realizadas medições aos 3,5; 4,5 e 6,0 anos de idade, do *dap* de todas as árvores e a altura de 22% do total do povoamento; aos 3,5 anos, foi realizada cubagem rigorosa e ajustadas equações para estimar altura e volume total. Aos 3,5 e aos 6,0 anos de idade foram realizadas análises para determinar a densidade básica do tronco (DBT) e aos 6,0, além da DBT, foi determinada densidade básica do lenho (DBL) e da casca (DBC), poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e útil (PCU); teor de extrativos totais (ET), teor de lignina (TL) e teor de cinzas (CZ). Com esses dados foram estimados a massa seca e a quantidade de energia por hectare. Para verificação do efeito da idade e do espaçamento sobre as variáveis estudadas foi empregada análise de regressão. De acordo com os resultados, maior espaçamento resulta em maior altura e diâmetro médio para todos os clones avaliados neste estudo. Nos espaçamentos com maior número de plantas por hectare ocorrem maiores áreas basais, com exceção do clone 02. O crescimento em volume (com e sem casca), por hectare, em massa seca (com e sem casca, e de casca), por hectare e estoque de carbono por hectare apresentaram relação direta com a densidade de plantio, para os clones 04, 07 e 24. Para o clone 05 nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m não houve diferença significativa e para o clone 02 o espaçamento não influenciou nenhuma dessas variáveis. O clone 24 apresentou menor produtividade em qualquer espaçamento



avaliado. A idade técnica de corte ocorreu mais cedo nos espaçamentos reduzidos. A DBT tende a aumentar com o espaçamento e com a idade das árvores. Os clones 07 e 04 apresentaram os maiores valores de PCS, e o clone 05 os menores, em relação à média. O TL para todos os clones é baixo, considerando essa matéria-prima para a produção de carvão vegetal. O potencial energético tende a elevar-se com a redução do espaçamento de plantio. O espaçamento 3,0x2,0 m foi o mais indicado, considerando a quantidade de energia estocada por hectare e um *dap* mínimo comercial de 10 cm. Os clones 07, 04 e 05 são os mais indicados para produção de energia, por apresentarem melhor crescimento nos espaçamentos avaliados, desde que leve em conta o espaçamento indicado.

## ABSTRACT

ELERATI, Tamiris Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2017. **Spacing, genotype, age and biomass production in eucalypt stands.** Adviser: Haroldo Nogueira de Paiva. Co-adviser: Helio Garcia Leite.

Forest stands cover millions of hectares each year in tropical regions for the purpose of supplying local and global timber demand, as well as acting in the process of carbon capture and offering other direct and indirect goods and environmental services. The state of Mato Grosso do Sul has been highlighted due to its accelerated growth in the forest sector. In order to meet the demand of finest genetic materials for energy and understand its growth in this region, this research aimed to evaluate the effect of spacing and age in timber production for five commercial clones of eucalyptus in the city of Ribas do Rio Pardo, MT. Clones 02, 04, 05, 07 and 24 were disposed in fixed portions with a spacing of 3.0x1.0; 3.0x1.5 and 3.0x2.0 m being planted each clone in each portion. The portions were composed by five lines, each with 10 individuals. Measurements were made at 3.5; 4.5 and 6.0 years of age of the DBH of all trees and a height of 22% of the total stand; at 3.5 years was measured the volume of trees, and the equations for height and volume estimate were adjusted. When the population was 3.5 and 6.0 years old, analyzes were performed to determine the stem basic density and at 6.0 years old also were determined the wood and bark basic density, higher calorific value, total extractives content, lignin content and ash content. With these data, the dry mass and the amount of energy per hectare were estimated. A regression analysis was used to verify the effect of age and spacing on the studied variables. According to the results, greater spacing results in higher heights and mean diameter for all clones evaluated in this study. In the treatments with the highest number of individuals per hectare, there are larger basal areas, with the exception of clone 02. The increase in volume (with or without bark), dry mass (with or without bark, and of bark), and carbon stock, all per hectare, presented direct relationship with planting density, for clones 04, 07 and 24. For clone 05 in spacing 3.0x1.5 and 3.0x2.0 m there is no significant difference and for clone 02 spacing did not influence any of the variables above. Clone 24 presented lower productivity in any spacing evaluated. The technical cutting age was reached earlier in the reduced spacings. The stem basic density tends to increase with spacing and tree age. Clone 07 and 04 presented highest calorific values and clone 05

the lowest when compared to the average. The lignin content for all clones is low, considering this raw material for the production of charcoal. Both total extractives and ashes content were satisfactory, not affecting the use of these genotypes for energy production. The energy stored tends to increase with the reduction of planting spacing. The spacing 3.0x2.0 m was the most indicated, considering the amount of energy stored per hectare and the minimum commercial DBH of 10 cm. Clones 07, 04 and 05 are the most suitable for energy production as they present superior growth in the evaluated spacings, since those can be assured.

## 1. INTRODUÇÃO

Os povoamentos florestais cobrem milhões de hectares a cada ano nas regiões tropicais, com a finalidade de suprir a demanda de madeira local e global, além de atuarem como sequestradores de carbono e oferecerem outros bens e serviços diretos e indiretos. Dentre os gêneros mais cultivados, está o *Eucalyptus* (Stape, 2002; Lima e Zakia, 2006; Stape et al., 2008).

As leis de proteção às florestas inequidâneas veem sendo aprimoradas e cada vez mais restritivas. Esse foi um dos principais fatores que contribuiu para o aumento da produtividade das florestas equidâneas, com significativa redução da pressão sobre as florestas inequidâneas. As florestas de eucalipto, pinus e teca, quando bem manejadas, podem ser mais eficientes e econômicas como fonte de matéria prima para a indústria de base florestal em relação às florestas inequidâneas (Harrison et al., 2000). Existem muitas espécies arbóreas que podem ser cultivadas para fins madeireiros. Devido à ampla diversidade do gênero *Eucalyptus*, ao seu crescimento acelerado, ao uso múltiplo de sua madeira, fácil adaptabilidade as mais variadas condições ambientais e o aperfeiçoamento das técnicas de manejo florestal, ele tem sido o mais utilizado em reflorestamentos e apresentado os maiores índices de produtividade do mundo (MORA e GARCIA, 2000; TRUGILHO et al., 2001; SCARPINELLA, 2002).

Por se adaptar a variadas condições edáficas e climáticas, o eucalipto constitui uma das melhores opções para a produção de celulose, papel, e carvão vegetal, em razão das propriedades físicas da sua madeira, entre elas, a densidade básica e o poder calorífico (COUTO e MÜLLER, 2008).

Apesar do setor industrial florestal ser muito forte no Brasil (indústria de papel e celulose, indústria de cimento, entre outros), esse setor ainda ocupa o terceiro lugar em consumo de madeira de florestas equidâneas. Uma das maiores demandas de madeira no Brasil é para a produção de energia, por meio do carvão vegetal, para atender a demanda do setor siderúrgico, sendo o país o maior produtor mundial de aço com a utilização de carvão vegetal. O setor residencial é o segundo consumidor madeireiro para o uso em energia (ELOY, 2013).

De acordo com dados publicados pela IBA (2016), as áreas plantadas com florestas no Brasil somam aproximadamente 7,8 milhões de hectares, dos quais 5,6 milhões são de plantios de eucalipto. Os estados que mais se destacam nessa produção são Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%). Esse último estado se destacou nos últimos cinco anos, devido ao acelerado crescimento no setor florestal; com aumento de 450 mil hectares de área plantada (IBA, 2016). A maior parte da madeira produzida é destinada para consumo interno, sendo que o produto mais exportado é a celulose e o produto totalmente consumido no país é o carvão vegetal (ABRAF, 2013).

As florestas energéticas são constituídas de espécies de rápido crescimento e geralmente com alta densidade de plantas por hectare. A utilização de espécies de ciclo curto, fertilização mineral e o manejo da densidade de plantio são técnicas que visam à maximização da produção em curto espaço de tempo. A implantação de florestas energéticas implica na adoção dessas técnicas (REZENDE et al., 1983; BERGER, 2000).

O número de árvores por hectare em um povoamento de eucalipto afeta a formação de florestas, a qualidade da madeira, seus tratamentos culturais, sua extração e conseqüentemente os custos de produção (SIMÕES et al., 1976). Esse número de árvores por hectare pode ser definido como densidade do povoamento. A densidade de um povoamento é a expressão quantitativa da população de indivíduos por unidade de área que é capaz de ser expressa pela área basal e volume (SCHNEIDER, 1993).

O uso final da madeira é um dos fatores que irá determinar a escolha do espaçamento, além disso, deve-se levar em consideração fatores como, capacidade produtiva do sítio, qualidade requerida para a madeira, maquinários da colheita florestal, dentre outros. Espaçamentos mais amplos geralmente estão associados à integração lavoura-pecuária-floresta (PAULINO, 2012) ou à madeira com destino à serraria e laminação (GOMES et al., 1997).

As árvores entram em competição quando os recursos disponíveis para o crescimento passam a ser escassos. O espaçamento determina o tempo e a intensidade dessa competição pelos recursos entre as árvores (HARRINGTON et al., 2009). Por isso, o espaçamento entre plantas é fator importante, o qual irá determinar e limitar a

quantidade de recursos que estarão disponíveis por planta, ao longo do tempo e no espaço que se tem disponível para cada indivíduo. Sendo assim, o espaçamento tem uma série de implicações silviculturais, tecnológicas e econômicas na elaboração de projetos florestais (COUTO et al., 2002).

O espaçamento adequado é aquele com capacidade de fornecer o maior volume de madeira em dimensões, forma e qualidade desejáveis, que está intrinsecamente relacionado com o material genético e seu potencial de desenvolvimento em determinado sítio (PATINO-VALERA, 1986).

Se o povoamento é constituído por muitas árvores por hectare, o espaço para o crescimento de cada árvore acaba sendo reduzido, prejudicando o desenvolvimento radicular e da parte aérea, afetando a quantidade e a qualidade da produção (SCOLFORO, 1997). No entanto, de modo geral, esses espaçamentos mais densos permitem obter maior área basal por hectare, menor diâmetro quadrático, maior volume total por hectare e menor porcentagem de sobrevivência (COUTO, 1977; GORGULHO et al., 1991; LADEIRA, 1999).

Mello et al. (1971); Rezende et al. (1983); Ferreira et al. (1997), destacam em seus trabalhos que, com o passar do tempo, o estoque de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, sendo que nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação ocorre em idades mais avançadas e nos plantios mais densos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais jovens.

Um dos preceitos essenciais do manejo florestal é a prognose, que envolve predição ou projeção de estoques de madeira na colheita, o que usualmente é feita pelo emprego de modelos de crescimento e de produção, ou técnicas de inteligência artificial (CAMPOS e LEITE, 2013). Os modelos são gerados a partir de dados obtidos em parcelas permanentes e de árvores-amostra abatidas para cubagem nos povoamentos e o volume das árvores presentes nas parcelas é obtido através de equações de volume ou outras técnicas (BARROS, 2014).

A estimação da altura das árvores tem um custo significativo no inventário florestal, devido, além da própria operacionalização dos instrumentos, aos fatores como a falta de visibilidade do topo da árvore e a ocorrência de ventos na região, que dificultam a sua medição. Ker e Smith (1957) propuseram que a partir da medição do

*dap* e da altura de algumas árvores da parcela se estimasse a altura das demais e isso é feito atualmente, seja por meio de regressão ou inteligência artificial.

Para estimar o volume das árvores geralmente se usa a correlação entre o volume total com variáveis mensuráveis em campo, como altura e o *dap* (diâmetro a 1,3 m de altura). O modelo mais difundido é o de Schumacher e Hall, por apresentar na maioria das vezes estimativas não tendenciosas e de grande exatidão (CAMPOS e LEITE, 2013).

Tão importante quanto o volume produzido é a qualidade do produto. A avaliação da qualidade da madeira é muito importante, principalmente em florestas de rápido crescimento. Para se avaliar essa qualidade e definir sua melhor utilização, é necessário conhecer o que afeta o produto final, por isso é essencial a identificação das propriedades físicas e mecânicas da madeira.

A massa específica é uma das propriedades mais utilizadas para expressar a qualidade da madeira. É de fácil determinação sendo considerada a principal característica física com melhor relação com outras propriedades, como a densidade (EISFELD et al., 2009; MATTOS et al., 2011).

Para uso da madeira para energia é muito importante conhecer o seu poder calorífico (CORDER, 1973). O poder calorífico representa a quantidade de calor liberado (energia) durante a queima total de uma determinada quantidade de combustível (CINTRA, 2009). O poder calorífico é influenciado por diversos fatores, dentre eles o material genético, por isso a necessidade de se estudar cada genótipo (clone).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o efeito do espaçamento de plantio e da idade na produção e nas características da madeira, para cinco clones comerciais de eucalipto, no município de Ribas do Rio Pardo, MT.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o efeito do espaçamento e da idade no crescimento em altura;
- Avaliar o efeito do espaçamento e da idade no crescimento em diâmetro;
- Avaliar o efeito do espaçamento e da idade sobre a área basal por hectare;
- Avaliar o efeito do espaçamento e da idade sobre o volume, massa seca e estoque de carbono;
- Determinar a idade técnica de corte em cada espaçamento, para cada clone, com base no volume;
- Avaliar a qualidade da madeira, em cada espaçamento, através da análise de densidade, poder calorífico (superior, inferior e útil), composição da madeira (teor de cinzas, teor de lignina e teor de extrativos totais);
- Avaliar o efeito do espaçamento sobre a energia estocada.



### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área de estudo**

Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, está sob influência do clima tropical (AW), sendo as temperaturas médias do mês mais frio, menores que 20°C e maiores que 18°C.

Localizado no bioma Cerrado, caracterizado por solos de baixa fertilidade natural, a região norte desse estado é caracterizada por uma precipitação pluviométrica anual variando entre 1.200 e 1.500 mm; apresentando um clima sub-úmido. Já na região sul do estado o clima é predominantemente úmido a sub-úmido, com variação pluviométrica entre 1.500 e 1.750 mm.

O experimento foi conduzido no município de Ribas do Rio Pardo situado no leste do Mato Grosso do Sul (Figura 1), na latitude de 20°26'34" Sul e longitude de 53°45'32" Oeste. O município possui uma área de 17.308,085 km<sup>2</sup>, com altitude de 389 metros, integrando a microrregião de Três Lagoas, região caracterizada por grandes plantios florestais (IBGE, 2015). O clima é tropical, classificado como Aw segundo a Köppen e Geiger, apresentando média anual de temperatura de 24,1°C e pluviosidade em torno de 1425 mm.

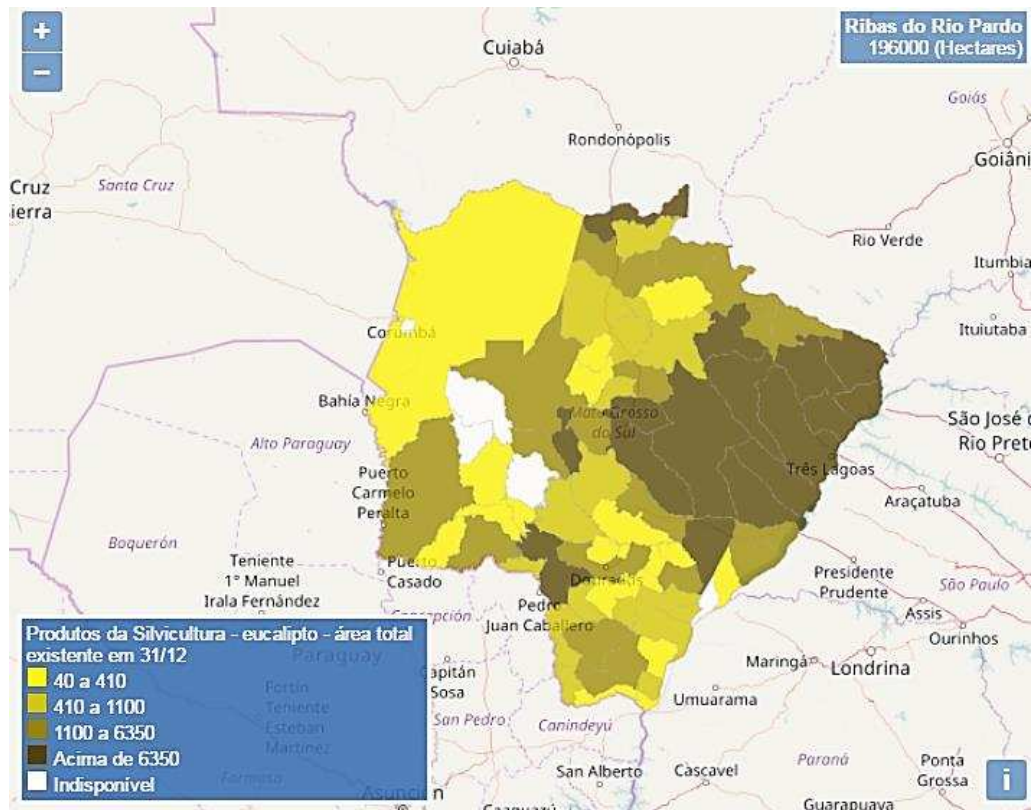


Figura 1: Cartograma do Mato Grosso do Sul destacando a distribuição dos plantios de eucalipto no estado. FONTE: <http://cod.ibge.gov.br/1QDJI>

### 3.2 Instalação do experimento

Foram utilizados cinco clones de eucalipto; 02, 04, 05, 07 e 24. Esses foram plantados nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, totalizando 27 repetições para cada combinação clone x espaçamento. Cada parcela foi composta por cinco linhas, com dez plantas por linha.

No plantio foram utilizados 160 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 06 30 06. Na primeira adubação de cobertura utilizou-se de 140 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 16 00 30, mais 0,5% de cobre e 0,5% de zinco. Na segunda, utilizou-se de 160 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, mais 1% de boro. Essa adubação foi aplicada em todos os tratamentos. Além disso, foram realizadas duas aplicações, de 3 kg ha<sup>-1</sup> de glifosato, para o controle de mato competição. E o controle a formigas, foi realizado anualmente.

### 3.3 Coleta e tratamento dos dados

Foi medido o *dap* de todas as árvores e a altura de 22% do total do povoamento. Para medição da circunferência a 1,3 m de altura (*cap*) da altura total (*H*) foram empregados uma fita métrica e um hipsômetro, respectivamente, aos 3,5; 4,5 e 6,0 anos de idade. Os dados de *cap* foram convertidos para *dap*, para o emprego nas equações.

Para as alturas não mensuradas em campo, foram ajustadas equações para estimá-las. Para cada combinação de clone, espaçamento e idade; foi gerada uma equação em função do diâmetro (*dap*), totalizando 45 equações.

Aos 3,5 anos de idade, com a finalidade de determinar o volume sólido (m<sup>3</sup>), foram abatidas e cubadas três árvores-amostra em cada classe de diâmetro (amplitude de 3 cm) e aproximadamente 40 árvores por clone, distribuídos entre os tratamentos, totalizando 202 árvores-amostra. Foram mensurados os diâmetros com casca e sem casca de cada indivíduo em alturas de 0 a 1 m, 1 a 2 m e a partir desse comprimento, foram realizadas medições de 2 em 2 m.

O volume de cada secção foi determinado pela aplicação sucessiva da fórmula de Smalian (CAMPOS e LEITE, 2013):

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \times L$$

em que:

$V$  = volume com e sem casca da seção, m<sup>3</sup>;

$AS_1$  = área seccional do início da seção, m<sup>2</sup>;

$AS_2$  = área seccional do final da seção, m<sup>2</sup>;

$L$  = comprimento da seção, em m.

### 3.4 Estimativa do volume de árvores individuais e volume total

O volume de árvores individuais foi estimado através do modelo proposto por Leite et al. (1995), ajustado de modo simultâneo para diâmetros com e sem casca. Esse modelo engloba as propriedades estatísticas do modelo de Schumacher e Hall (1933), mais as propriedades de estimar com uma só equação os volumes total e comercial. A equação permite calcular o volume em qualquer diâmetro, no entanto, esse modelo múltiplo foi utilizado apenas para volume total com e sem casca.

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} H^{\beta_2} e^{\beta_3 \frac{Tx}{dap}} \left[ 1 - \left( \frac{d_i}{dap} \right)^{1+\beta_4 d_i} \right] + \varepsilon$$

em que:

$V$  = volume, m<sup>3</sup>;

$\beta_i$  = parâmetros;

$dap$  = diâmetro a 1,3 m de altura, cm;

$H$  = altura total da árvore, m;

$e$  = logaritmo neperiano;

$Tx = 0$  para volume com casca e  $Tx = 1$  para volume sem casca;

$d_i$  = diâmetro comercial, cm;

$\varepsilon$  = erro aleatório, e  $\sim$ NID (0,  $\sigma^2$ ).

Para determinação do volume total o modelo foi reduzido para:

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} H^{\beta_2} e^{\beta_3 Tx} dap^{-1} + \varepsilon$$

Após estimar os volumes, com e sem casca, foi calculado o volume médio por hectare e determinado o incremento médio anual na idade técnica de corte.

Normalmente, as empresas florestais definem um diâmetro mínimo de aproveitamento para processar a matéria-prima, que é em torno de 5 cm. Diante do exposto foi calculada a porcentagem de árvores e a porcentagem de volume de árvores individuais por classe de diâmetro nos espaçamentos avaliados, para todos os clones aos seis anos de idade. Foram adotadas cinco classes de diâmetro, com amplitude de 5 cm.

### 3.5 Estimativa da área basal

A área basal por hectare foi calculada por meio da expressão:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{\pi d a p_i^2}{40000}$$

em que:

$d a p_i$  = diâmetro da árvore  $i$ , a 1,3 m de altura, cm;

$B$  = área basal,  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ .

### 3.6 Estimativa de massa seca e carbono

A massa seca do fuste foi determinada multiplicando-se o valor do volume pela densidade básica da madeira (método descrito em 3.8); conforme a equação de Finke Herrera (1989), citado por Brianezi (2015):

$$W = V * d$$

em que:

$W$  = massa seca do fuste com casca, kg;

$d$  = densidade básica da madeira e da casca do fuste,  $\text{kg m}^{-3}$ ;

$V$  = volume do fuste com casca,  $\text{m}^3$ .

Para estimar o carbono estocado, os valores de massa seca encontrados foram multiplicados por 0,47, fator recomendado pelo IPCC (2006) para espécies arbóreas.

Para a determinação do incremento médio anual de carbono ( $IMA_c$ ) foi utilizada a seguinte equação (BRIANEZI, 2015):

$$IMA = \frac{E_i}{i}$$

em que:

$IMA$  = incremento médio anual,  $Mg\ ha^{-1}ano^{-1}$ ;

$E_i$  = estoque de carbono no tempo  $i$ ,  $Mg\ ha^{-1}$ ;

$i$  = período de tempo, anos.

### 3.7 Qualidade da madeira

Para avaliar a qualidade da madeira dos cinco clones, foram utilizadas três árvores para cada tratamento (clone X espaçamento), nas idades de 3,5 e 6 anos. Aos 3,5 anos de idade foi determinada a densidade básica da madeira (lenho e casca) e aos 6 anos de idade, além da densidade básica da madeira, foi determinada a densidade básica do lenho; densidade básica da casca; poder calorífico superior, inferior e útil; composição química e teor de cinzas. Para tais análises foram retirados discos na base, no meio e na parte superior do fuste. Para cada disco foram obtidas duas cunhas opostas, que foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira. O restante do disco foi utilizado para a determinação das outras variáveis analisadas, sendo essas realizadas com amostras compostas.

### **3.8 Análise das características da madeira**

Os procedimentos utilizados para análise de densidade básica da madeira foram de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984), utilizando-se uma balança hidrostática; os valores médios foram calculados a partir da média aritmética das densidades das respectivas cunhas.

As amostras de madeira foram transformadas em serragem, conforme a norma TAPPI T257 om-85 (1996). A serragem obtida foi classificada em peneiras de 40/60 mesh (ASTM, 1977) e armazenadas a uma umidade relativa de  $50 \pm 2\%$  e temperatura de  $23 \pm 1$  °C.

O poder calorífico superior foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

O teor de cinzas foi obtido após a combustão completa de 1g da amostra, através do aquecimento em forno (mufla), a 550°C durante 6 horas. A massa de cinzas em relação à massa da amostra seca é o teor de cinzas (CAMPOS, 2008).

A determinação do teor de extrativos foi realizada seguindo a norma TAPPI T204 om-88 (1996). A composição química foi determinada de acordo com a norma TAPPI T264 om-88 (1996); na qual foram utilizadas amostras livres de extrativos, após a extração em etanol/tolueno, etanol e água quente. O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel em ácido foi determinada a partir do filtrado resultante da análise da lignina Klason através de leitura em espectrofotômetro de acordo com Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido pela soma de lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

### 3.9 Estimativa de massa seca e energia

A massa seca (kg) da madeira sem casca por hectare foi obtida multiplicando a produtividade ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) aos 6 anos de idade, para cada combinação genótipo x espaçamento, pela DBL, conforme a equação:

$$W_{sc} = V_{sc} \times DBL$$

em que:

$W_{sc}$  = massa seca do lenho por hectare,  $\text{Mg ha}^{-1}$ ;

$V_{sc}$  = volume sem casca aos seis anos,  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ;

$DBL$  = densidade básica do lenho aos seis anos,  $\text{kg m}^{-3}$ .

O poder calorífico superior do lenho estocado por hectare ( $\text{kcal ha}^{-1}$ ) foi calculado a partir da massa seca do lenho por hectare ( $W_{sc}$ ) e o poder calorífico superior (PCS) dos clones avaliados em cada espaçamento, aos 6 anos de idade.

O potencial energético teórico para a geração de energia elétrica, assumindo a utilização da madeira num sistema convencional de turbina a vapor, foi calculado conforme (CAMPOS e LEITE, 2013):

$$PE = \frac{W \text{ PCI } \eta}{860 \text{ Tempo}}$$

em que:

$PE$  = potencial energético por ano,  $\text{MW h}$ ;

$W$  = massa seca de madeira,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$PCI$  = poder calorífico inferior,  $\text{kcal kg}^{-1}$ ;

$\eta$  = eficiência da conversão;



860 = fator de conversão de kcal kg<sup>-1</sup> para kW h kg<sup>-1</sup>;

*Tempo* = duração da operação em horas durante o ano.

Para o cálculo do potencial energético teórico, considerou a massa seca do lenho por hectare (*Wsc*), aos 6 anos de idade; a eficiência de conversão ( $\eta$ ) igual a 43% (SCHÜRHAUS, 2007); *PCI* de cada combinação clone *x* espaçamento aos 6 anos de idade e o *Tempo* levou em conta a operação da turbina durante todo o ano, 24 horas por dia.

### 3.10 Análise dos dados

Para verificação do efeito da idade e do espaçamento sobre as variáveis estudadas foi empregada uma análise de regressão, considerando a variável estudada como variável dependente e a idade como variável independente.

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

em que:

*Y* = estimativa das variáveis analisadas: altura (*H*) (m), diâmetro médio (*q*) (cm), área basal (*Q*) (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), volume com casca (*Vccha*) (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e volume sem casca (*Vscha*) (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>);

$\beta_i$  = parâmetros;

*x* = idade, anos;

$\varepsilon$  = erro aleatório, e  $\sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

As equações obtidas foram submetidas a um teste de identidade de modelos para avaliar o efeito dos espaçamentos sobre cada variável dendrométrica testada. As análises estatísticas foram feitas com o software Statistica 13 (Statsoft, Inc, 2015).

Os modelos ajustados foram:

$$\text{Ln}H = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^{-1} + \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{Ln}H = \beta_0 + \beta_1 \text{Lndap} + \varepsilon \quad (2)$$

$$\log(V) = \beta_0 + \beta_1 \log\text{dap} + \beta_2 \log H + \varepsilon \quad (3)$$

$$V = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} H^{\beta_2} e^{\beta_3 Tx \text{dap}^{-1}} + \varepsilon \quad (4)$$

em que:

$H$  = altura total da árvore, m;

$V$  = Volume, m<sup>3</sup>;

$\beta_i$  = parâmetros;

$\text{dap}$  = diâmetro a 1,3 m de altura, cm;

$e$ ,  $\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;

$\log$  = logaritmo;

$Tx = 0$  para volume com casca e  $Tx = 1$  para volume sem casca;

$\varepsilon$  = erro aleatório,  $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

Pelo melhor ajuste, utilizou as equações (1) e (4).

#### 4. RESULTADOS

Analisando o erro padrão residual ( $S_{xy}$ ) e os coeficientes de determinação ajustado ( $r^2_{ajustado}$ ) (Tabela 1), verifica-se correlação significativa entre as variáveis, sendo os ajustes das equações hipsométricas adequados mesmo utilizando somente o  $dap$  como variável independente.

Tabela 1 - Equações hipsométricas ajustadas para plantios dos clones 02, 04, 05 07 e 24, nas idades de 3,5; 4,5 e 6,0 anos, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m:  
 $\hat{H} = e^{\beta_0 + \beta_1 dap^{-1}}$

Clone	Espaçamento (m)	Idade (anos)	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2_{ajustado}$	$S_{xy}$
02	3,0x1,0	3,5	3,07	-3,24	77,4	0,8259
	3,0x1,5	3,5	3,12	-3,70	72,6	0,9374
	3,0x2,0	3,5	3,24	-4,53	87,3	0,9221
04	3,0x1,0	3,5	3,05	-3,36	87,5	0,6904
	3,0x1,5	3,5	3,09	-3,72	83,6	0,7866
	3,0x2,0	3,5	3,11	-3,92	78,0	0,8975
05	3,0x1,0	3,5	3,18	-3,80	81,0	0,9836
	3,0x1,5	3,5	3,20	-3,99	83,6	0,8608
	3,0x2,0	3,5	3,22	-4,18	86,0	1,1013
07	3,0x1,0	3,5	3,11	-3,32	84,4	0,7061
	3,0x1,5	3,5	3,11	-3,87	80,2	0,9887
	3,0x2,0	3,5	3,10	-3,97	66,1	0,9195
24	3,0x1,0	3,5	2,86	-2,78	78,1	0,4965
	3,0x1,5	3,5	2,86	-2,88	82,8	0,4263
	3,0x2,0	3,5	2,93	-3,61	84,6	0,5716
02	3,0x1,0	4,5	3,17	-3,46	71,6	1,1553
	3,0x1,5	4,5	3,26	-4,02	71,9	1,1655
	3,0x2,0	4,5	3,40	-5,19	83,1	1,3094
04	3,0x1,0	4,5	3,16	-3,35	74,8	1,2691
	3,0x1,5	4,5	3,21	-3,79	77,6	1,1334
	3,0x2,0	4,5	3,11	-3,15	60,6	1,0714
05	3,0x1,0	4,5	3,28	-4,21	81,5	1,1769
	3,0x1,5	4,5	3,31	-4,28	75,9	1,2809
	3,0x2,0	4,5	3,36	-4,86	85,2	1,3037
07	3,0x1,0	4,5	3,24	-3,85	81,8	0,9879
	3,0x1,5	4,5	3,28	-4,46	87,3	0,9459
	3,0x2,0	4,5	3,25	-4,37	79,6	0,8137
24	3,0x1,0	4,5	2,99	-2,77	66,1	0,7785
	3,0x1,5	4,5	2,98	-2,75	66,5	0,7115
	3,0x2,0	4,5	3,07	-3,67	77,5	0,8746

Continua....

Tabela 1: **Continuação...**

Clone	Espaçamento (m)	Idade (anos)	$\beta_0$	$\beta_1$	$r^2_{ajustado}$	$S_{xy}$
02	3,0x1,0	6,0	3,40	-4,61	76,6	1,5459
	3,0x1,5	6,0	3,50	-5,38	83,5	1,2169
	3,0x2,0	6,0	3,60	-6,29	83,5	1,7346
04	3,0x1,0	6,0	3,40	-4,18	79,4	1,3452
	3,0x1,5	6,0	3,37	-4,08	84,3	0,9965
	3,0x2,0	6,0	3,39	-4,50	73,0	1,1422
05	3,0x1,0	6,0	3,48	-5,17	85,1	1,4678
	3,0x1,5	6,0	3,63	-6,30	86,1	1,3769
	3,0x2,0	6,0	3,59	-6,01	85,9	1,6446
07	3,0x1,0	6,0	3,50	-4,96	94,1	1,2242
	3,0x1,5	6,0	3,47	-4,81	91,1	1,0679
	3,0x2,0	6,0	3,44	-4,59	77,7	1,0177
24	3,0x1,0	6,0	3,22	-3,69	63,9	1,5048
	3,0x1,5	6,0	3,18	-3,44	45,0	1,7239
	3,0x2,0	6,0	3,23	-3,65	40,3	1,5206

Foi ajustada uma equação para cada clone, em cada espaçamento, nas três idades (Tabela 1). Isso só foi possível, pois foram realizados inventários nesses três momentos com medição de *dap* de todos os indivíduos e altura de alguns. A partir dessas equações foram estimadas as alturas das outras árvores do povoamento.

A cubagem foi realizada somente aos 3,5 anos. Nessa ocasião foram cubadas 202 árvores e a partir desses dados, foi ajustada uma equação volumétrica (Tabela 2).

Tabela 2 - Equação de volume total ajustada para plantios dos clones 02, 04, 05 07 e 24, aos 3,5 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m:  $V = \beta_0 dap^{\beta_1} H^{\beta_2} e^{-\beta_3 Tx dap^{-1}}$

	Estimativa	Média	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.
$\beta_0$	0,000064	0,000000	0,00	0,00	0,000064	0,000064
$\beta_1$	2,008892	0,034346	0,00	0,00	1,941363	2,076422
$\beta_2$	0,863195	0,062395	0,00	0,00	0,740518	0,985872
$\beta_3$	0,712975	0,098711	0,00	0,00	0,518897	0,907054

As Figuras 2 e 3 mostram uma distribuição adequada entre os volumes observados e estimados. Portanto, há homogeneidade da variação entre os dados observados e os estimados. A precisão das estimativas volumétricas é a confirmação que os resultados tiveram um bom ajuste para a equação gerada (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise de variância dos parâmetros da equação de volume ajustada para plantios dos clones 02, 04, 05 07 e 24, aos 3,5 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

Fonte de variação	Soma de quadrados	GL	Quadrado médio	F	P-valor
Regressão	2,538361	4	0,634590	14319,89	0,0000
Resíduo	0,017106	386	0,000044		
Total	2,555466	390			

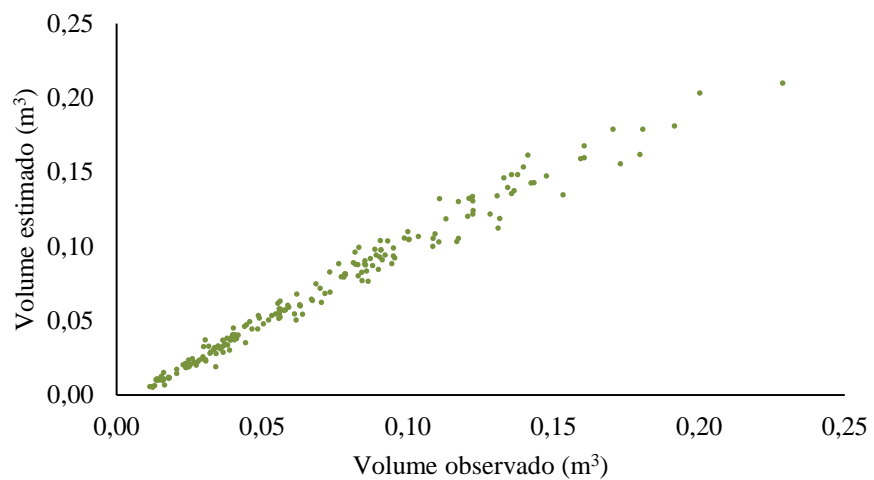


Figura 2 - Distribuição do volume de árvores individuais com casca observado e volume com casca estimado através da equação volumétrica ajustada.

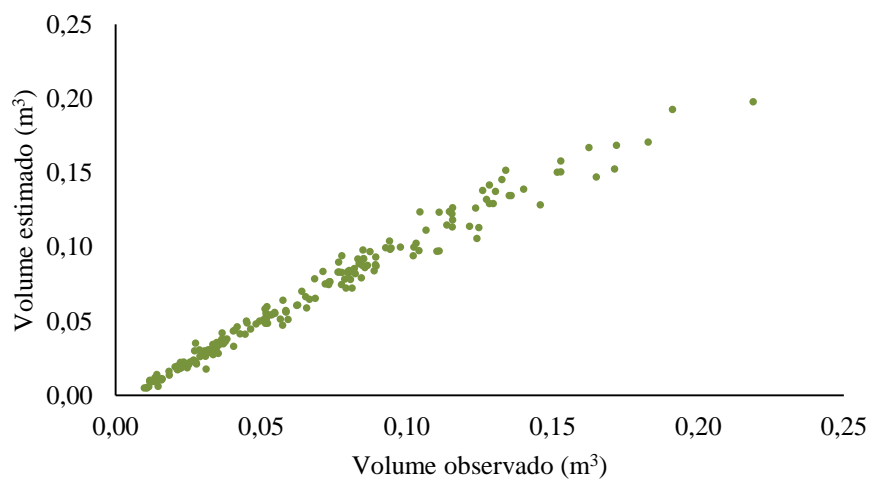


Figura 3- Distribuição do volume de árvores individuais sem casca observado e volume sem casca estimado através da equação volumétrica ajustada.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de *dap* médio; altura média; área basal média; volume com casca e volume sem casca para os clones 02, 04, 05 07 e 24 nas idades de 3,5; 4,5 e 6,0 anos, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m. De maneira geral ocorreu incremento em todas as variáveis com o avanço da idade. No entanto, para alguns clones o incremento em *dap* foi muito baixo ao longo do período avaliado.

De acordo com a Tabela 5, na idade de 6 anos, as duas primeiras classes diamétricas, no espaçamento 3,0x1,0 m, concentraram a maior parte dos indivíduos em todos os clones avaliados, totalizando em média 53,33% do povoamento. Na classe de diâmetro 5,0 a 9,9 cm, no espaçamento 3,0x1,0 m, os clones 02 e 24 concentram 52,60% e 57,89% das árvores do povoamento, respectivamente. Já nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m na classe de diâmetro 10,0 a 14,9 cm concentraram-se mais de 60% das árvores.

Quando se analisa o volume por classe diamétrica, a classe de 10,0 a 14,9 cm concentra o maior volume nos três espaçamentos avaliados (Tabela 5), sendo que no espaçamento 3,0x1,5 m destaca a maior porcentagem de volume (72,85% em média).

Tabela 4 - Médias de *dap* médio (cm), altura média (m), área basal média (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), volume com casca (VcC) (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e volume sem casca (VsC) (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), para os clones 02; 04; 05; 07 e 24; nas idades 3,5; 4,5 e 6,0 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

		02			04			05			07			24		
Resultados	Idade	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0
<i>dap</i> médio	3,5	8,09	9,30	10,31	8,84	9,86	10,60	8,92	9,90	10,89	8,35	9,27	9,78	7,98	8,69	9,41
	4,5	8,56	9,88	10,99	9,43	10,51	11,31	9,35	10,49	11,69	8,82	10,12	10,77	8,39	9,24	10,12
	6,0	9,25	10,88	12,01	9,89	11,19	12,51	9,90	11,51	12,75	9,66	10,97	11,70	8,94	9,85	10,92
Altura média	3,5	14,14	14,89	15,99	14,09	14,80	15,16	15,42	15,99	16,69	14,78	14,40	14,54	12,15	12,37	12,51
	4,5	15,62	16,97	18,10	16,17	16,82	16,73	16,57	17,86	18,55	16,08	16,69	16,98	14,10	14,43	14,66
	6,0	17,77	19,64	20,91	19,07	19,87	20,24	18,41	21,27	22,11	19,21	20,33	20,62	16,10	16,60	17,74
Área basal média	3,5	15,83	13,95	13,86	18,49	15,74	13,78	17,71	15,98	14,97	17,03	14,42	12,30	15,93	12,74	10,90
	4,5	17,78	15,83	15,46	21,19	17,92	15,71	19,67	18,05	17,32	19,13	17,27	14,97	17,65	14,40	12,66
	6,0	20,79	19,07	17,84	23,47	20,17	18,16	21,94	20,98	19,86	22,47	20,51	17,25	20,67	16,64	14,92
VcC médio	3,5	134,72	125,70	134,18	158,99	140,99	125,65	164,59	153,06	149,67	152,45	126,54	107,67	118,87	95,99	84,11
	4,5	166,26	159,80	167,42	206,15	179,85	155,71	196,20	192,25	190,41	186,66	172,78	150,06	150,49	124,17	112,58
	6,0	197,34	198,28	200,92	259,72	229,45	209,62	241,93	234,90	235,53	254,04	237,75	198,29	196,76	162,45	153,72
VsC médio	3,5	124,02	117,07	125,91	147,57	131,83	118,03	152,87	143,16	140,92	140,92	117,84	100,48	109,23	88,76	78,33
	4,5	153,85	149,50	157,79	192,35	168,94	146,84	182,98	180,59	180,04	173,42	161,88	140,95	138,94	115,39	105,41
	6,0	183,62	186,45	190,11	243,35	216,23	198,63	226,92	221,69	223,38	237,79	223,84	187,13	182,87	151,88	144,59

Tabela 5- Percentuais de árvores e de volume por classe de diâmetro para os clones 02, 04, 05, 07 e 24 aos 6,0 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

		<b>Classe de diâmetro para percentuais de árvores</b>				
<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Clone</b>	<b>&lt; 5,0</b>	<b>5,0 a 9,9</b>	<b>10,0 a 14,9</b>	<b>15,0 a 19,9</b>	<b>&gt; 20,0</b>
<b>3,0x1,0</b>	<b>02</b>	5,38	52,60	41,33	0,68	0,00
	<b>04</b>	5,47	41,79	50,22	2,52	0,00
	<b>05</b>	7,18	39,79	49,53	3,50	0,00
	<b>07</b>	5,23	45,12	47,56	2,09	0,00
	<b>24</b>	6,16	57,89	35,15	0,80	0,00
	<b>Média %</b>	<b>5,89</b>	<b>47,44</b>	<b>44,76</b>	<b>1,92</b>	<b>0,00</b>
<b>3,0x1,5</b>	<b>02</b>	3,86	28,30	62,01	5,83	0,00
	<b>04</b>	2,29	27,06	65,48	5,17	0,00
	<b>05</b>	2,69	25,00	61,55	10,68	0,09
	<b>07</b>	1,61	31,24	60,72	6,43	0,00
	<b>24</b>	4,14	39,49	55,89	0,48	0,00
	<b>Média %</b>	<b>2,92</b>	<b>30,22</b>	<b>61,13</b>	<b>5,72</b>	<b>0,02</b>
<b>3,0x2,0</b>	<b>02</b>	2,44	23,72	55,51	18,17	0,17
	<b>04</b>	0,96	14,61	68,42	16,01	0,00
	<b>05</b>	1,35	16,68	56,78	25,11	0,08
	<b>07</b>	1,04	19,28	73,44	6,16	0,08
	<b>24</b>	2,44	23,41	71,46	2,68	0,00
	<b>Média %</b>	<b>1,65</b>	<b>19,54</b>	<b>65,12</b>	<b>13,63</b>	<b>0,07</b>
		<b>Classe de diâmetro para percentuais de volume</b>				
		<b>&lt; 5,0</b>	<b>5,0 a 9,9</b>	<b>10,0 a 14,9</b>	<b>15,0 a 19,9</b>	<b>&gt; 20,0</b>
<b>3,0x1,0</b>	<b>02</b>	1,11	37,48	59,41	1,99	0,00
	<b>04</b>	0,56	23,11	69,44	6,89	0,00
	<b>05</b>	0,61	20,45	69,44	9,51	0,00
	<b>07</b>	0,59	24,35	68,78	6,29	0,00
	<b>24</b>	0,84	41,83	54,49	2,83	0,00
	<b>Média %</b>	<b>0,74</b>	<b>29,45</b>	<b>64,31</b>	<b>5,50</b>	<b>0,00</b>
<b>3,0x1,5</b>	<b>02</b>	0,59	14,84	73,22	11,35	0,00
	<b>04</b>	0,18	11,96	77,21	10,65	0,00
	<b>05</b>	0,28	10,89	68,91	19,59	0,33
	<b>07</b>	0,15	14,42	71,46	13,97	0,00
	<b>24</b>	0,39	24,78	73,48	1,35	0,00
	<b>Média %</b>	<b>0,32</b>	<b>15,38</b>	<b>72,85</b>	<b>11,38</b>	<b>0,07</b>
<b>3,0x2,0</b>	<b>02</b>	0,28	9,56	59,22	30,56	0,38
	<b>04</b>	0,06	4,89	68,57	26,48	0,00
	<b>05</b>	0,17	6,07	55,15	38,41	0,21
	<b>07</b>	0,08	8,36	79,59	11,71	0,27
	<b>24</b>	0,18	11,38	82,84	5,61	0,00
	<b>Média %</b>	<b>0,15</b>	<b>8,05</b>	<b>69,07</b>	<b>22,55</b>	<b>0,17</b>



A Tabela 6 contém os resultados estimados para as variáveis altura total, diâmetro quadrático médio, área basal, volume por hectare com e sem casca, nas idades de 2,0 a 7,0 anos, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m.

Para validar os modelos da regressão, foi realizada uma análise comparativa entre os valores estimados e observados, com objetivo de verificar a existência ou não de tendência na aplicação da equação de regressão encontrada. Para isso, foi empregado o teste de modelos (CAMPOS e LEITE, 2013) (Tabela 7).

Tabela 6 – Estimativa de altura (m), diâmetro quadrático médio (cm), área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ), volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ), volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ), IMA com casca ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) e IMA sem casca ( $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ); para os clones 02, 04, 05, 07 e 24; nas idades de 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 7,0 anos, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

	Idade (anos)	Espaçamento (m)														
		3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0				
		02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24
Altura total	2,0	9,39	8,18	11,15	9,04	7,33	8,99	8,64	9,41	7,58	7,33	9,76	8,77	9,84	7,61	6,61
	3,0	12,84	12,41	14,26	13,04	10,86	13,24	13,02	14,04	12,34	11,01	14,24	13,20	14,64	12,47	10,77
	4,0	15,01	15,28	16,13	15,66	13,22	16,08	15,98	17,14	15,74	13,49	17,20	16,19	17,86	15,95	13,74
	5,0	16,49	17,31	17,37	17,48	14,87	18,06	18,08	19,33	18,22	15,24	19,27	18,31	20,11	18,50	15,90
	6,0	17,55	18,82	18,24	18,81	16,08	19,52	19,62	20,94	20,09	16,53	20,78	19,87	21,78	20,42	17,53
	7,0	18,35	19,97	18,9	19,82	17,01	20,63	20,81	22,18	21,54	17,52	21,93	21,06	23,05	21,91	18,79
Diâmetro quadrático médio	Idade (anos)	Espaçamento (m)														
		3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0				
		02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24
	2,0	6,34	7,33	7,36	6,44	6,43	7,06	8,04	7,62	6,99	6,90	7,92	8,07	8,41	7,17	7,33
	3,0	7,76	8,68	8,70	8,00	7,69	8,87	9,62	9,47	8,87	8,34	9,89	10,12	10,48	9,25	9,04
	4,0	8,59	9,44	9,46	8,92	8,40	9,93	10,52	10,56	9,99	9,17	11,06	11,33	11,70	10,51	10,04
	5,0	9,13	9,94	9,95	9,53	8,86	10,64	11,10	11,27	10,73	9,71	11,82	12,13	12,50	11,34	10,69
	6,0	9,50	10,28	10,29	9,95	9,18	11,13	11,50	11,77	11,26	10,08	12,36	12,69	13,06	11,93	11,15
7,0	9,78	10,53	10,54	10,26	9,42	11,50	11,80	12,14	11,65	10,36	12,75	13,10	13,48	12,37	11,49	

Continua...

Tabela 6 – Continuação...

		Espaçamento (m)															
		Idade (anos)	3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0				
			02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24
Área basal	2,0	9,55	12,07	11,99	10,19	9,81	7,78	10,06	9,68	7,62	7,81	8,69	8,32	8,99	6,75	6,16	
	3,0	14,02	16,86	16,19	15,05	14,15	12,10	14,24	14,19	12,48	11,36	12,39	12,26	13,35	10,82	9,55	
	4,0	16,99	19,93	18,82	18,29	16,99	15,09	16,94	17,19	15,98	13,70	14,81	14,88	16,27	13,70	11,89	
	5,0	19,07	22,03	20,59	20,56	18,97	17,23	18,80	19,28	18,53	15,33	16,47	16,71	18,32	15,78	13,56	
	6,0	20,59	23,55	21,87	22,23	20,41	18,82	20,15	20,81	20,46	16,52	17,69	18,06	19,82	17,34	14,80	
	7,0	21,75	24,70	22,83	23,50	21,51	20,04	21,17	21,98	21,95	17,43	18,61	19,09	20,97	18,55	15,76	
		Espaçamento (m)															
		Idade (anos)	3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0				
			02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24
Volume com casca	2,0	61,32	61,55	76,34	53,61	43,24	48,51	55,44	59,77	36,83	35,29	60,91	45,91	62,16	32,98	26,50	
	3,0	111,97	127,10	136,20	116,34	92,34	99,97	112,82	121,55	93,91	75,47	111,59	97,46	121,88	81,67	63,51	
	4,0	151,31	182,64	181,92	171,38	134,96	143,52	160,95	173,33	149,95	110,36	151,05	141,99	170,65	128,52	98,33	
	5,0	181,28	227,02	216,43	216,22	169,46	178,30	199,19	214,47	198,56	138,63	181,14	177,96	208,84	168,70	127,81	
	6,0	204,48	262,44	243,00	252,45	197,23	206,04	229,61	247,18	239,44	161,38	204,46	206,87	238,94	202,25	152,22	
	7,0	222,85	291,08	263,95	282,00	219,82	228,47	254,14	273,56	273,69	179,89	222,93	230,36	263,07	230,22	172,46	
		Espaçamento (m)															
		Idade (anos)	3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0				
			02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24
Volume sem casca	2,0	55,30	56,14	69,44	48,23	38,75	44,30	51,06	54,87	33,58	31,94	56,27	42,34	57,72	30,14	24,22	
	3,0	102,57	117,49	125,82	106,76	84,29	92,65	105,13	113,15	87,02	69,41	104,34	91,11	114,39	75,85	58,88	
	4,0	139,70	169,98	169,36	158,83	124,31	133,98	150,84	162,49	140,08	102,32	142,08	133,65	161,03	120,34	91,82	
	5,0	168,14	212,14	202,41	201,59	156,94	167,18	187,34	201,89	186,40	129,15	170,99	168,19	197,71	158,74	119,86	
	6,0	190,25	245,91	227,96	236,31	183,33	193,77	216,45	233,33	225,50	150,84	193,46	196,04	226,70	190,92	143,17	
	7,0	207,81	273,28	248,16	264,71	204,85	215,31	239,97	258,75	258,36	168,52	211,30	218,72	249,97	217,84	162,55	

Continua...

Tabela 6 – Continuação...

	Idade (anos)	Espaçamento (m)															
		3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0					
		02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	
<b>IMA com casca</b>	<b>2,0</b>	30,66	30,78	38,17	26,81	21,62	24,25	27,72	29,88	18,42	17,65	30,45	22,96	31,08	16,49	13,25	
	<b>3,0</b>	37,32	42,37	45,40	38,78	30,78	33,32	37,61	40,52	31,3	25,16	37,2	32,49	40,63	27,22	21,17	
	<b>4,0</b>	37,83	45,66	45,48	42,84	33,74	35,88	40,24	43,33	37,49	27,59	37,76	35,50	42,66	32,13	24,58	
	<b>5,0</b>	36,26	45,40	43,29	43,24	33,89	35,66	39,84	42,89	39,71	27,73	36,23	35,59	41,77	33,74	25,56	
	<b>6,0</b>	34,08	43,74	40,50	42,08	32,87	34,34	38,27	41,2	39,91	26,9	34,08	34,48	39,82	33,71	25,37	
	<b>7,0</b>	31,84	41,58	37,71	40,29	31,40	32,64	36,31	39,08	39,10	25,70	31,85	32,91	37,58	32,89	24,64	
<b>IMA sem casca</b>	Idade (anos)	Espaçamento (m)															
		3,0x1,0					3,0x1,5					3,0x2,0					
		02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	02	04	05	07	24	
		<b>2,0</b>	27,65	28,07	34,72	24,11	19,38	22,15	25,53	27,44	16,79	15,97	28,14	21,17	28,86	15,07	12,11
		<b>3,0</b>	34,19	39,16	41,94	35,59	28,10	30,88	35,04	37,72	29,01	23,14	34,78	30,37	38,13	25,28	19,63
		<b>4,0</b>	34,92	42,49	42,34	39,71	31,08	33,50	37,71	40,62	35,02	25,58	35,52	33,41	40,26	30,09	22,95
<b>5,0</b>	33,63	42,43	40,48	40,32	31,39	33,44	37,47	40,38	37,28	25,83	34,20	33,64	39,54	31,75	23,97		
<b>6,0</b>	31,71	40,99	37,99	39,38	30,55	32,29	36,07	38,89	37,58	25,14	32,24	32,67	37,78	31,82	23,86		
<b>7,0</b>	29,69	39,04	35,45	37,82	29,26	30,76	34,28	36,96	36,91	24,07	30,19	31,25	35,71	31,12	23,22		

Tabela 7 - Teste de identidade de modelos para a altura ( $H$ ) (m), diâmetro quadrático médio ( $q$ ) (cm), área basal ( $B$ ) ( $m^2 ha^{-1}$ ), volume com casca ( $Vccha$ ) ( $m^3 ha^{-1}$ ) e volume sem casca ( $Vscha$ ) ( $m^3 ha^{-1}$ ) para os clones 02, 04, 05, 07 e 24; nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

		02		04		05		07		24	
	Espaçamentos (m)	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,5	3,0x2,0
$H$	3,0x1,0	1,04x10 <sup>-55</sup>	3,18x 10 <sup>-84</sup>	2,52x 10 <sup>-25</sup>	8,2x 10 <sup>-31</sup>	2,21x 10 <sup>-52</sup>	1,39x10 <sup>-65</sup>	8,92x10 <sup>-13</sup>	7,26x10 <sup>-22</sup>	1,18x10 <sup>-13</sup>	7,42x10 <sup>-35</sup>
	3,0x1,5		1,57x 10 <sup>-37</sup>		0,008574		6,61x10 <sup>-13</sup>		0,006353		3,96x10 <sup>-20</sup>
$q$	3,0x1,0	8,33x10 <sup>-60</sup>	3,75x10 <sup>-86</sup>	4,80x10 <sup>-27</sup>	1,18x10 <sup>-64</sup>	1,32x10 <sup>-45</sup>	8,16x10 <sup>-76</sup>	2,06x10 <sup>-30</sup>	4,8x10 <sup>-57</sup>	1,21x10 <sup>-25</sup>	4,76x10 <sup>-57</sup>
	3,0x1,5		2,93x10 <sup>-33</sup>		1,1x10 <sup>-20</sup>		2,48x10 <sup>-31</sup>		1,37x10 <sup>-09</sup>		5,32x10 <sup>-35</sup>
$B$	3,0x1,0	3,01 x10 <sup>-10</sup>	3,47x10 <sup>-12</sup>	6,61x10 <sup>-23</sup>	9,31x10 <sup>-43</sup>	3,04x10 <sup>-07</sup>	2,22x10 <sup>-14</sup>	1,24x10 <sup>-09</sup>	1,15x10 <sup>-36</sup>	6,17x10 <sup>-37</sup>	2,28x10 <sup>-57</sup>
	3,0x1,5		0,094043		2,39x10 <sup>-11</sup>		0,012363		1,1x10 <sup>-10</sup>		2,41x10 <sup>-19</sup>
$Vccha$	3,0x1,0	0,021327	0,909041	2,57x10 <sup>-13</sup>	7,49x10 <sup>-31</sup>	0,01131	0,001562	1,04x10 <sup>-07</sup>	1,42x10 <sup>-30</sup>	1,22x10 <sup>-27</sup>	1,04x10 <sup>-42</sup>
	3,0x1,5		0,137191		5,66x10 <sup>-09</sup>		0,500655		3,92x10 <sup>-09</sup>		1,16x10 <sup>-11</sup>
$Vscha$	3,0x1,0	0,071221	0,825398	1,06x10 <sup>-11</sup>	4,12x10 <sup>-28</sup>	0,027744	0,012869	8,05x10 <sup>-07</sup>	2,9x10 <sup>-28</sup>	4,77x10 <sup>-25</sup>	5,63x10 <sup>-39</sup>
	3,0x1,5		0,079264		3,5x10 <sup>-08</sup>		0,67472		1,24x10 <sup>-08</sup>		3,61x10 <sup>-10</sup>

Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste de identidade de modelos. Não significativo para  $p > 0,05$  (itálico)

Foi observada diferença em alturas ( $p < 0,05$ ), entre os espaçamentos para todos os clones (Tabela 7). Para espaçamentos mais amplos as árvores apresentaram maiores alturas. Apesar de ter sido empregado um modelo hipsométrico simples, utilizando somente a variável *dap*, ele foi capaz de gerar resultados com estimativas precisas, uma vez que foi aplicado para áreas homogêneas.

Ao analisar a altura das árvores aos 6 anos de idade, para o clone 02 a distinção entre as curvas de crescimento foi evidente, quanto maior o espaçamento, maiores as alturas atingidas. Para clone 04, apesar de ter dado diferença significativa entre os espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m as alturas foram próximas (Figura 4). Os clones 05 e 07 tiveram comportamentos semelhantes, com maior desenvolvimento inicial (aos 2 anos) no espaçamento 3,0x1,0 m, mas entre 3,5 a 4,5 anos a curva decresce e volta a tendência dos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0m terem maiores alturas; sendo que nesses últimos espaçamentos, o clone 07 apresentou alturas semelhantes, aos 6 anos de idade, contudo significativamente diferentes. O clone 24, apesar de seguir a mesma tendência, apresentou altura inferior aos outros clones, independente do espaçamento.

Ao analisar o diâmetro quadrático médio (Figura 5) verifica-se que, os maiores valores para essa variável foram encontrados nos espaçamentos mais amplos, para todos os clones em todas as idades.

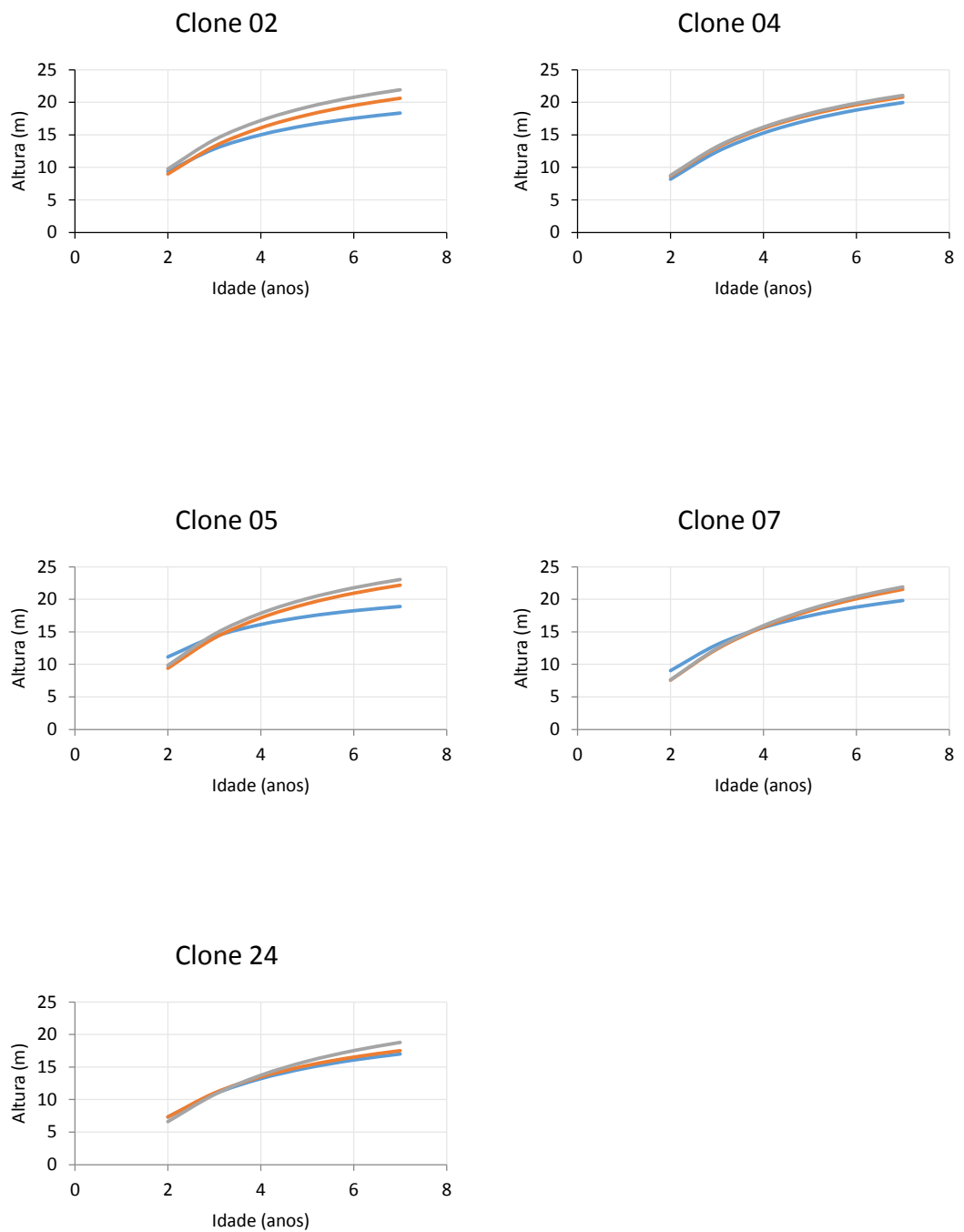


Figura 4 – Crescimento em altura (m) nos espaçamentos 3,0x1,0 (azul); 3,0x1,5 (laranja) e 3,0x2,0 m (cinza); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24.

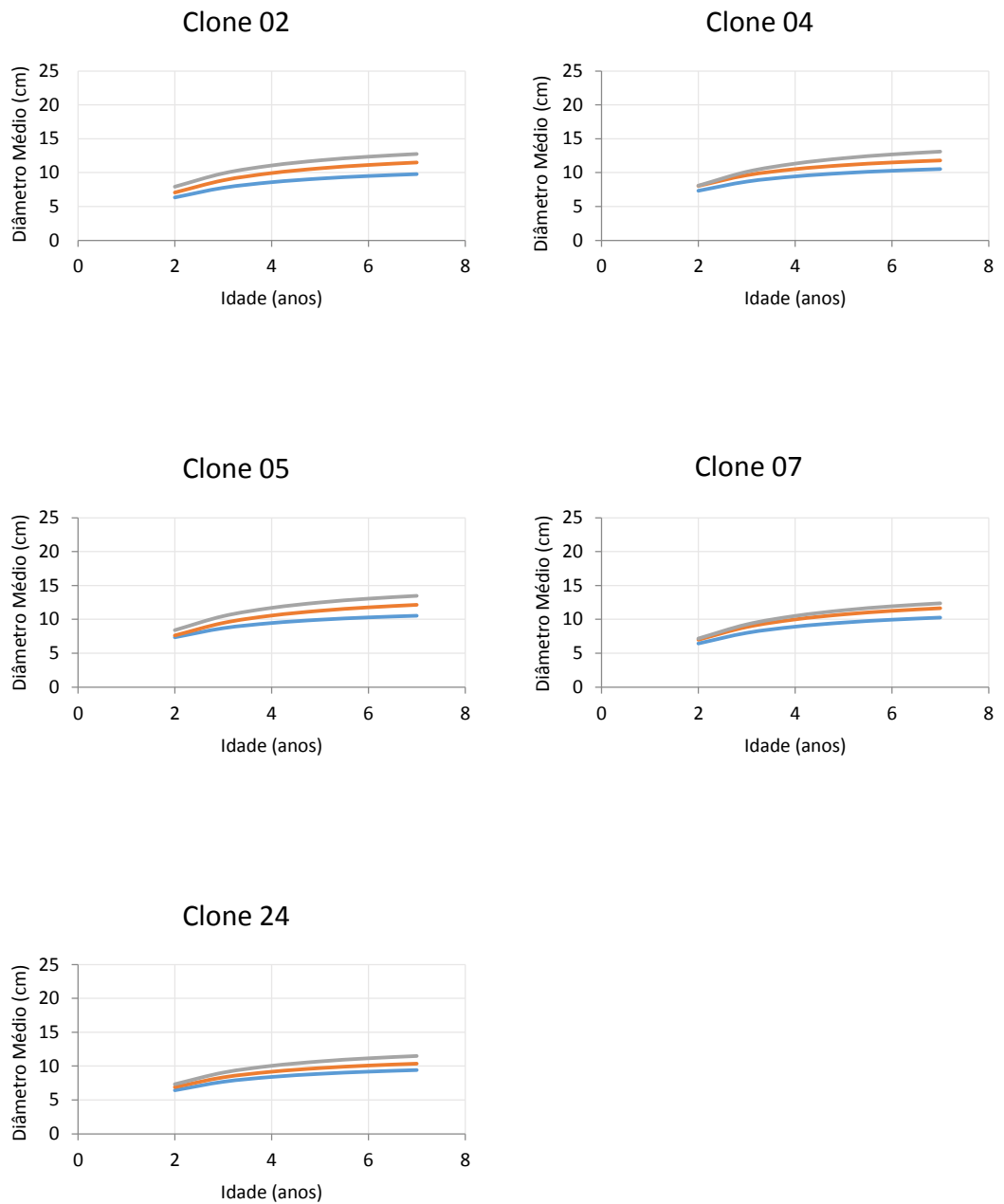


Figura 5- Crescimento em diâmetro quadrático médio (cm) nos espaçamentos 3,0x1,0 (azul); 3,0x1,5 (laranja) e 3,0x2,0 m (cinza); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24.



A área basal apresentou maiores valores nos espaçamentos mais densos (Figura 6). Para os clones 04, 05, 07 e 24 no espaçamento 3,0x1,0 m a área basal apresentou uma curva mais acentuada, quando comparado ao espaçamento 3,0x2,0 m, com diferença ( $p < 0,05$ ) entre os espaçamentos. Já para o clone 02, nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m não houve diferença significativa pelo teste de identidade de modelos, sendo possível ajustar e utilizar uma única equação, que resultou em uma curva mais acentuada em relação à curva do espaçamento 3,0x1,0 m, sendo esse um resultado incoerente com o esperado.

Ao avaliar o volume médio com e sem casca (Figuras 7 e 8), para o clone 02 não houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos avaliados. Os clones 04, 07 e 24, apresentaram curvas mais acentuadas para o espaçamento 3,0x1,0 m e menos acentuadas para o espaçamento 3,0x2,0 m. Isso indica que em plantios mais densos, o volume médio total por hectare é maior. Para o clone 05 não ocorreu diferença ( $p > 0,05$ ) entre os espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m.

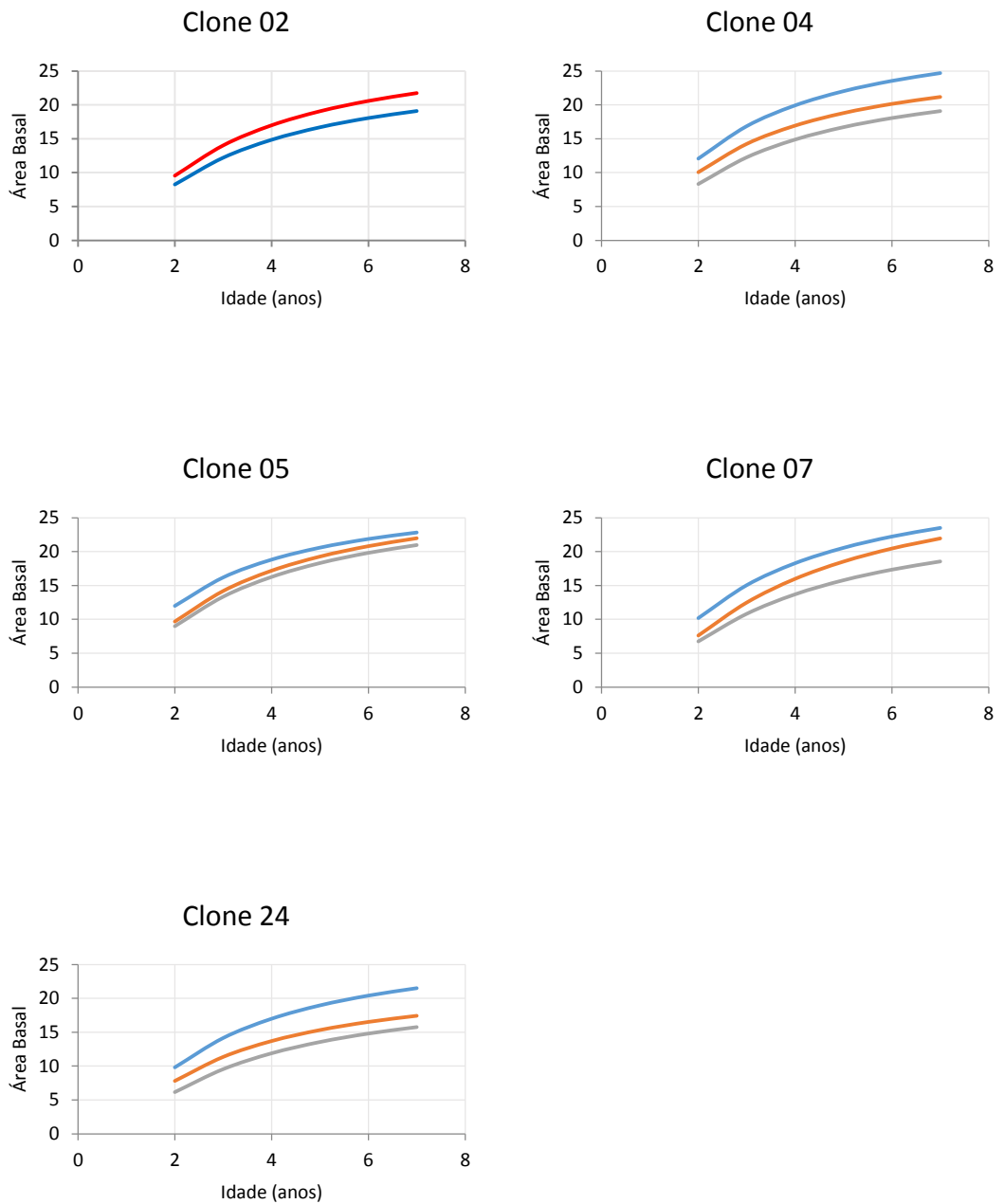


Figura 6- Crescimento em área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) nos espaçamentos 3,0x1,0 (azul); 3,0x1,5 (laranja) e 3,0x2,0 m (cinza); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24. Quando  $p > 0,05$  pelo teste de identidade foi ajustada uma equação única (vermelha).

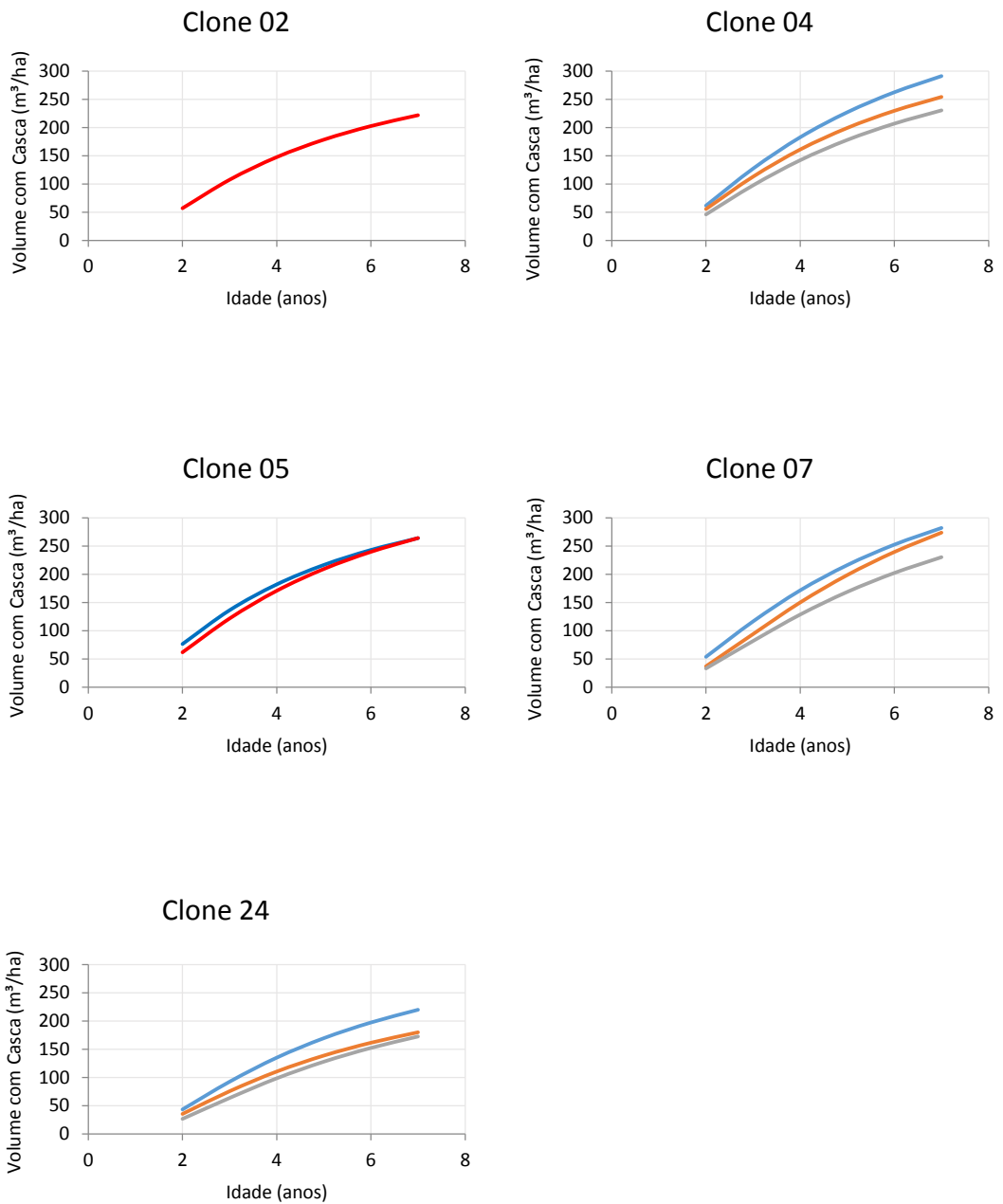


Figura 7- Curva de produção ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  com casca) , nos espaçamentos 3,0x1,0 (azul); 3,0x1,5 (laranja) e 3,0x2,0 m (cinza); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24. Quando  $p > 0,05$  pelo teste de identidade foi ajustada uma equação única (vermelha).

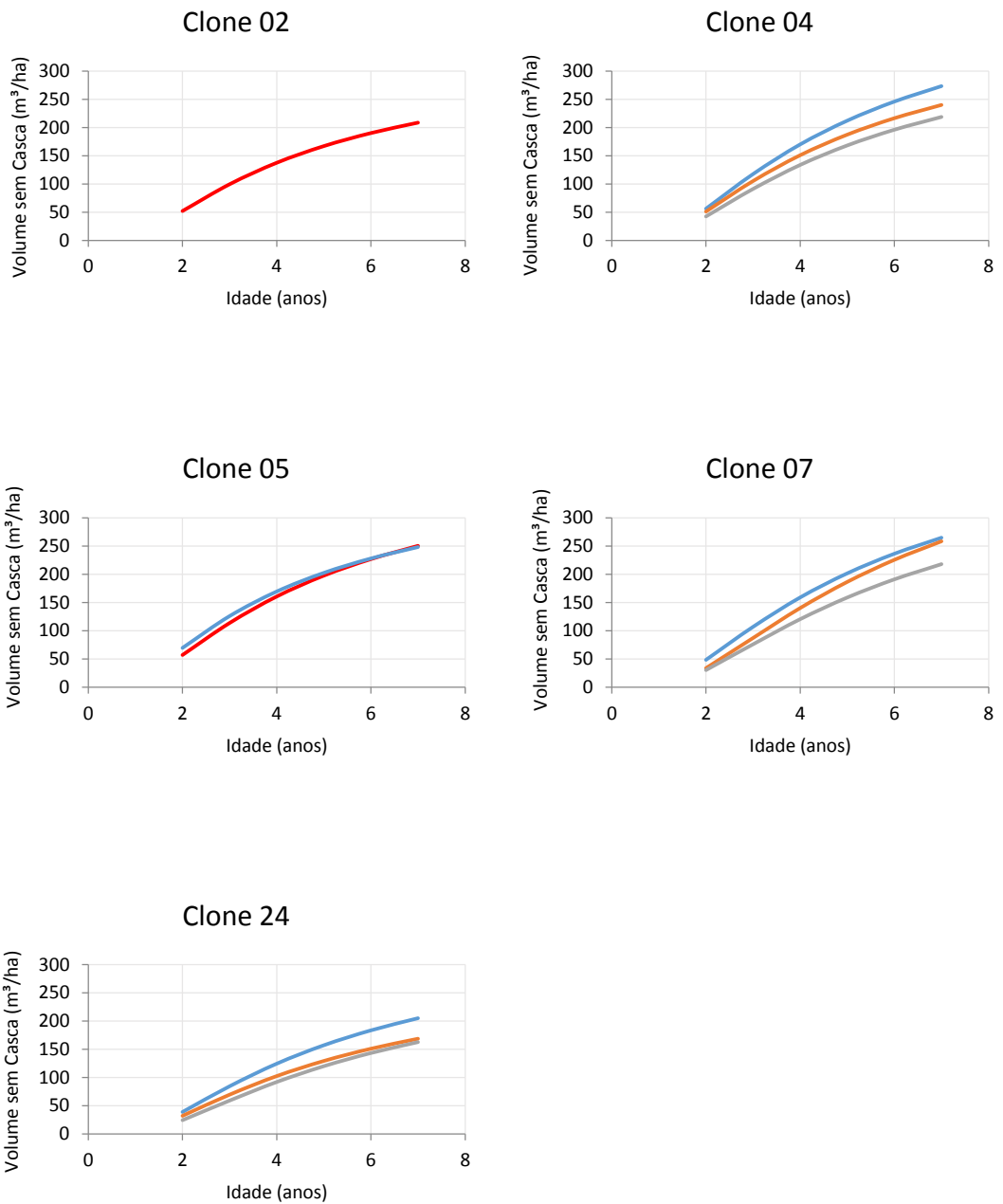


Figura 8- Curva de produção ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  sem casca) nos espaçamentos 3,0x1,0 (azul); 3,0x1,5 (laranja) e 3,0x2,0 m (cinza); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24. Quando  $p > 0,05$  pelo teste de identidade foi ajustada uma equação única (vermelha).

Para todos os clones, o espaçamento que apresentou maior incremento médio anual foi o 3,0x1,0 m (Figura 9). O clone 05 apresentou a menor idade técnica de corte, em relação aos outros clones no espaçamento 3,0x1,0 m, com o maior IMA (Figura 9). De maneira geral, o IMA é maior nos espaçamentos reduzidos, ocorrendo em idades inferiores, em relação ao espaçamento 3,0x2,0 m.

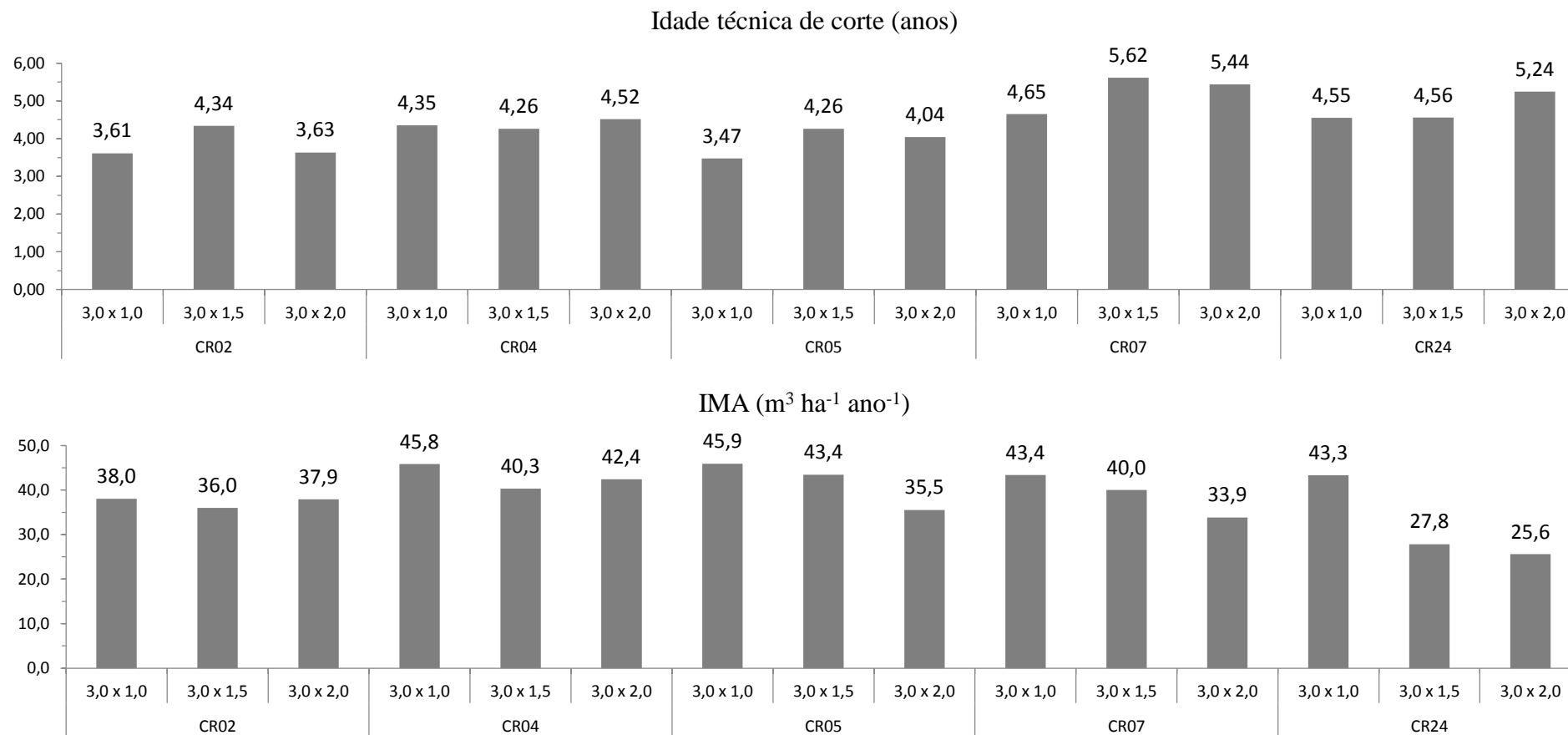
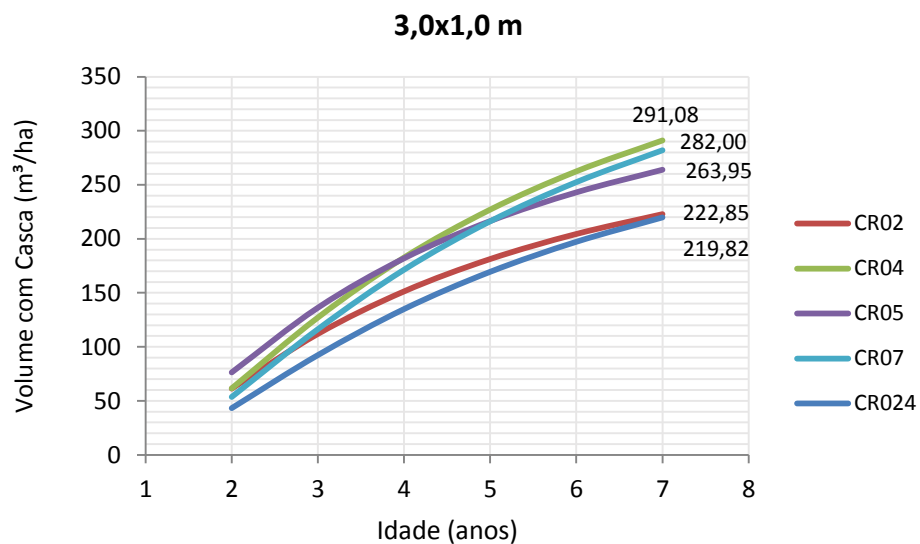


Figura 9- Idade técnica de corte (de máxima produtividade média- IMA) e IMA nessa idade, para os clones 02, 04, 05, 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m.

Ao analisar cada clone, individualmente, em cada espaçamento (Figura 10), observa-se que no espaçamento 3,0x1,0 m, o clone 04 foi o que apresentou maior volume por hectare, e o 07 foi apenas 3% menor. Os clones 02 e 24 foram os que tiveram menores volumes por hectare, aos 6 anos de idade, em todos os espaçamentos avaliados. O clone 05 teve um comportamento diferente dos demais, com um crescimento elevado no início, foi de 76,34 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aos 2,0 anos, para 136, 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aos 3,0 anos de idade, depois essa taxa diminuiu, colocando-o na terceira posição de maior volume.

Ao estimar a produção, aos 7 anos de idade, no espaçamento 3,0x1,5 m, novamente os clones 04, 05 e 07 tiveram os maiores volumes, sendo que o 05 e 07, apresentaram produções semelhantes, 273,56 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e 273, 69 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Novamente o clone 05 se sobressaiu, no espaçamento 3,0x2,0 m, apresentando a maior produção entre os cinco clones analisados. No entanto, apesar do volume ser alto, ele foi semelhante entre os espaçamentos. Isso indica que é um clone com boa produtividade, mas que essa não sofre influência dos espaçamentos avaliados, até a idade estudada.



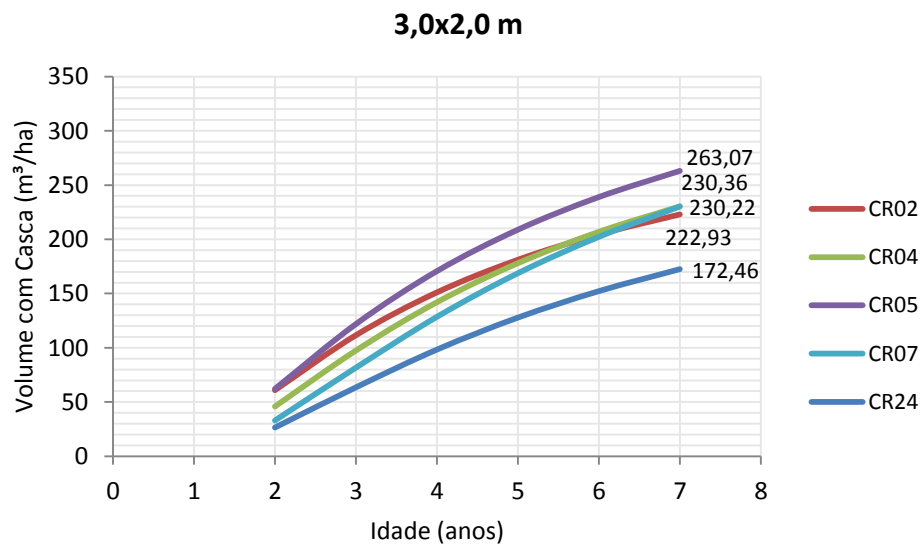
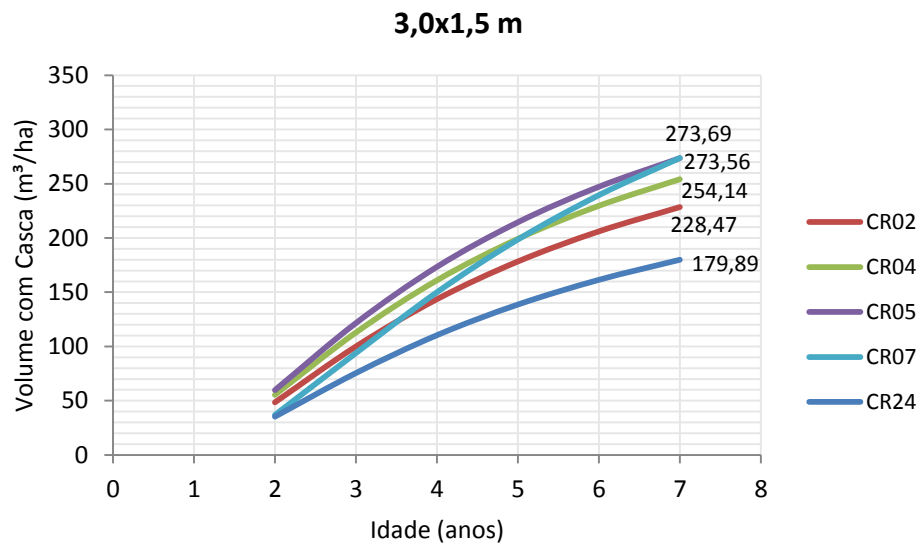


Figura 10: Curva de produção ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  com casca) nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m ao longo de 7,0 anos; para os clones 02; 04; 05; 07 e 24.



A densidade básica do tronco (lenho e casca) para os clones 04, 05 e 07, foi superior na idade de 6 anos, com relação a avaliação feita aos 3,5 anos, em todos os espaçamentos avaliados (Figura 11). Isso ocorreu com o clone 02 e 24 somente nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m. Em todos os espaçamentos o clone 07 foi o que apresentou madeira com maior densidade.

O efeito do espaçamento sobre a massa seca e carbono estocado é diretamente proporcional aos valores de volume com casca, uma vez que se multiplica esse volume pelo valor da densidade correspondente e depois multiplica-se a massa por 0,47 para se encontrar o carbono estocado. Dessa forma, para o clone 02, aos 6 anos de idade, não ocorreu diferença entre os espaçamentos avaliados ( $p > 0,05$ ), ou seja, o espaçamento não influencia na produção de massa nem na estocagem de carbono para esse clone. Isso também ocorreu para o clone 05 aos 6 anos de idade (Figura 12). Já para os clones 04, 07 e 24 o espaçamento influenciou na produção de massa seca e na estocagem de carbono na última idade avaliada. Como apresentado nas Figuras 12 e 13, é nítida a diferença de massa seca e estocagem de carbono nas duas idades avaliadas.

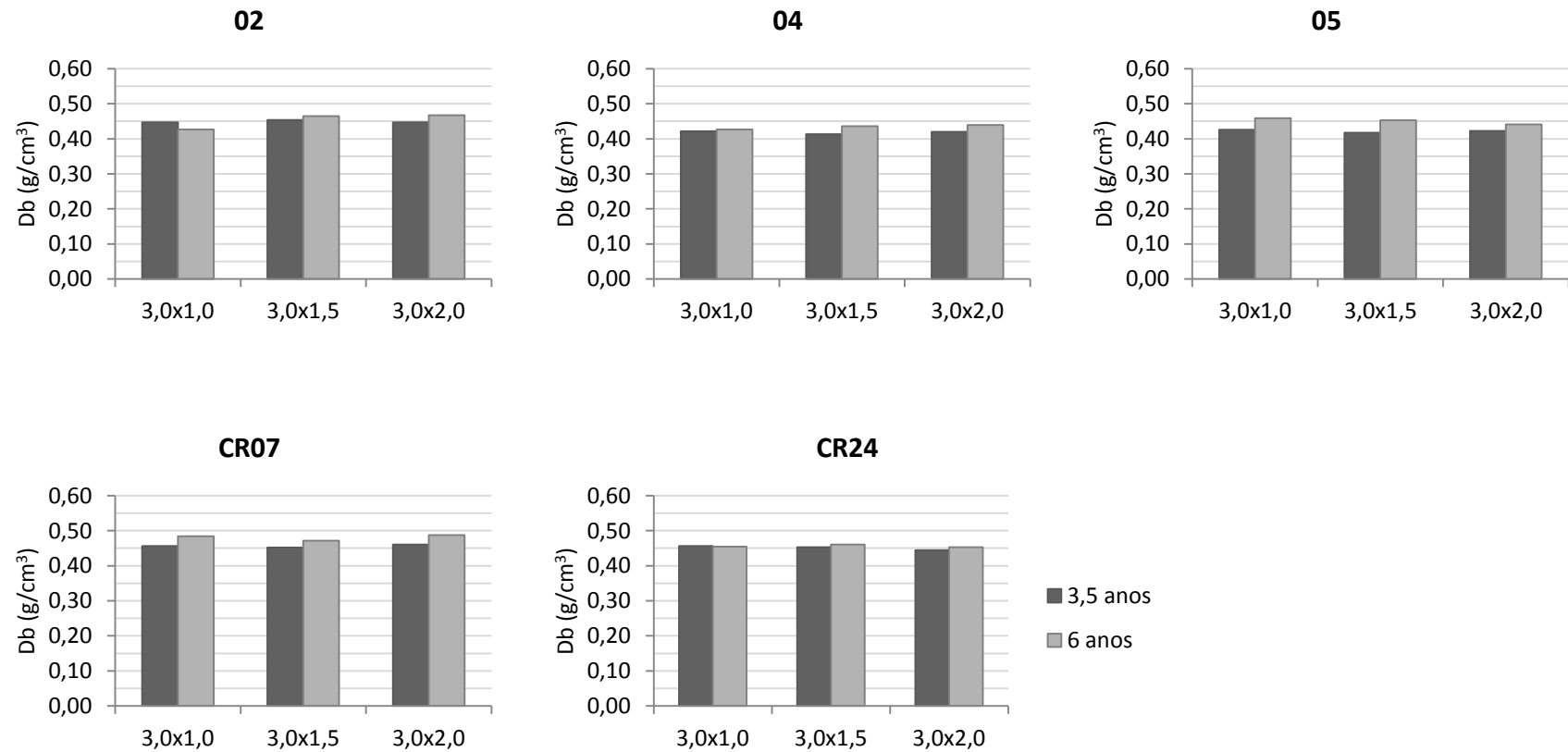


Figura 11: Médias de densidade básica da madeira para os clones 02; 04; 05; 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, aos 3,5 e 6 anos de idade.

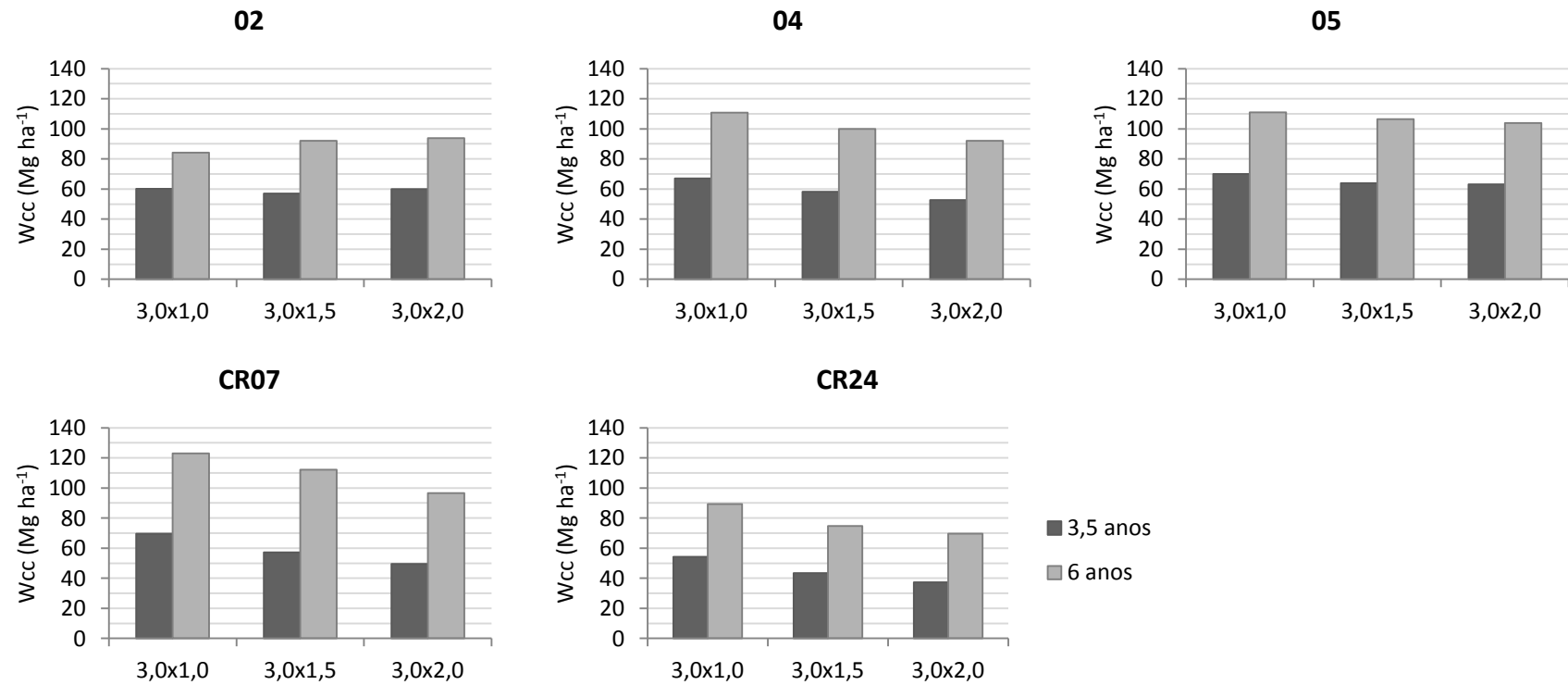


Figura 12: Médias da massa seca por hectare para os clones 02; 04; 05; 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, aos 3,5 e 6 anos de idade.

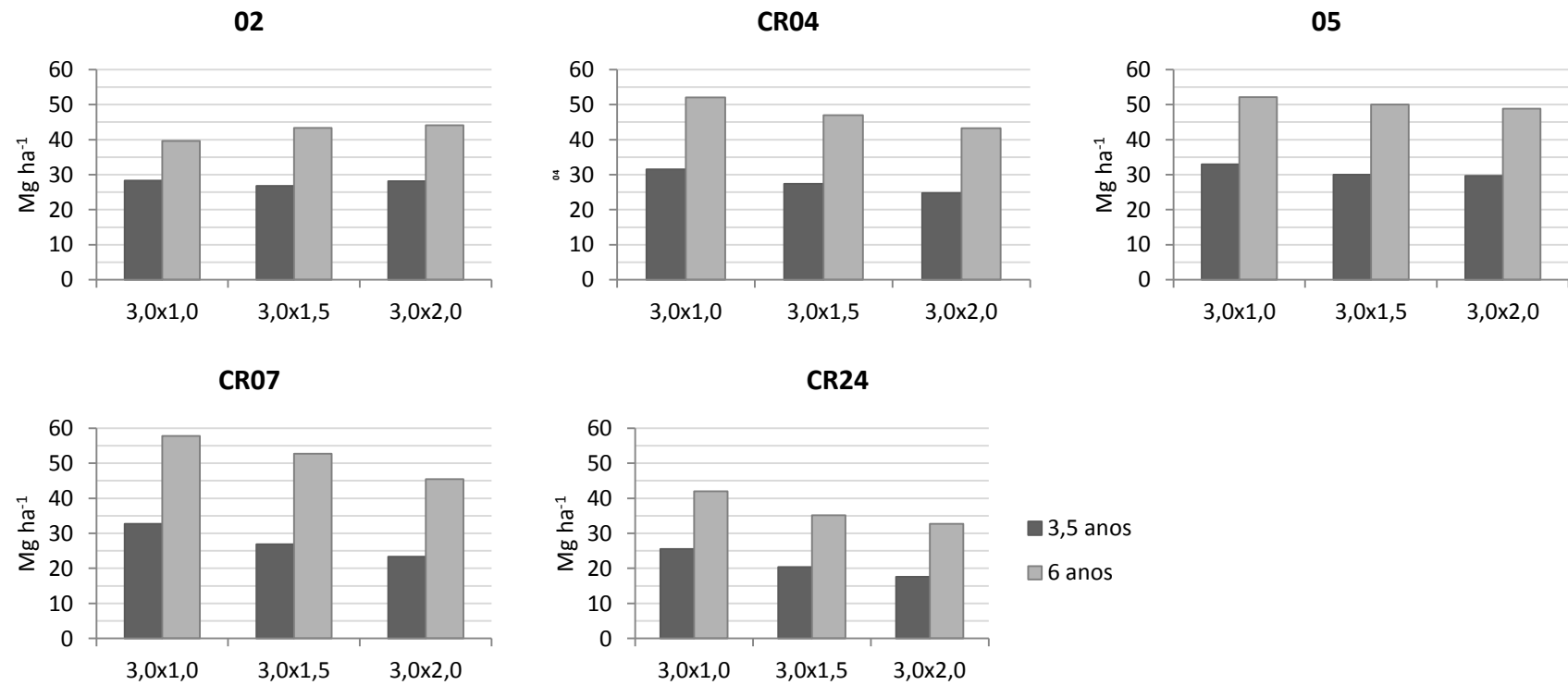


Figura 13: Médias do carbono estocado na massa seca por hectare para os clones 02; 04; 05; 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, aos 3,5 e 6 anos de idade.

O incremento médio anual em carbono (IMA<sub>C</sub>), aos seis anos de idade, foi maior nos menores espaçamentos (Tabela 8), com exceção ao clone 02. O clone 07 foi o que apresentou maior desvio padrão, indicando que houve maior diferença de incremento de carbono entre os espaçamentos avaliados.

Tabela 8: Incremento médio anual de carbono (IMA<sub>C</sub>), aos 6 anos de idade, em Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para os clones 02; 04; 05; 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

Clone	Espaçamento (m)	IMAc (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) 6,0 anos
<b>02</b>	3,0x1,0	6,60
	3,0x1,5	7,22
	3,0x2,0	7,35
<b>Média</b>		<b>7,06</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±0,33</b>
<b>04</b>	3,0x1,0	8,68
	3,0x1,5	7,83
	3,0x2,0	7,21
<b>Média</b>		<b>7,91</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±0,60</b>
<b>05</b>	3,0x1,0	8,69
	3,0x1,5	8,34
	3,0x2,0	8,14
<b>Média</b>		<b>8,39</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±0,23</b>
<b>07</b>	3,0x1,0	9,63
	3,0x1,5	8,78
	3,0x2,0	7,57
<b>Média</b>		<b>8,66</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±0,85</b>
<b>24</b>	3,0x1,0	7,00
	3,0x1,5	5,86
	3,0x2,0	5,45
<b>Média</b>		<b>6,10</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±0,66</b>

A densidade básica do lenho (DBL) variou de 444 a 520 kg m<sup>3</sup>, com valores médios de 481 kg m<sup>3</sup>. O clone 07 apresentou as maiores densidades básicas do lenho em todos os espaçamentos, sendo que no maior espaçamento (3,0x2,0 m) obteve a maior densidade básica (Tabela 9).

O PCS do tronco variou de 4.428 kcal kg<sup>-1</sup> a 4.638 kcal kg<sup>-1</sup> com valores médios de 4.558,87 kcal kg<sup>-1</sup> (Tabela 9).

O clone 05 apresentou PCS inferior a média encontrada e o clone 07, valores superiores a média (Tabela 9) isto ocorreu para todos os espaçamentos avaliados para ambos os clones. O maior poder calorífico foi verificado para o clone 04 nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m.

No entanto, ao analisar o PCS por hectare (Tabela 10), em cada espaçamento, esse cenário muda. No espaçamento 3,0x1,0 m o clone 07 foi o que apresentou o maior PCS (kcal ha<sup>-1</sup>), assim como no espaçamento 3,0x1,5 m. No espaçamento 3,0x2,0 m o clone 05 foi o que teve maior PCS. Analisando o espaçamento, verifica-se que houve aumento do PCS com o aumento da densidade de plantio. Para avaliar o efeito do espaçamento, para potencial energético teórico visando a geração de energia elétrica por hectare, foram realizados cálculos, obtendo os resultados apresentados na Tabela 11. Houve uma tendência de aumento de energia por hectare com a redução do espaçamento. O espaçamento 3,0x1,0 m foi o que apresentou maior potencial energético teórico, seguido do 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m; sendo que a diferença entre o menor e o maior espaçamento, ocorreu um aumento de 12,4% na quantidade de energia estocada por hectare.

A média para os teores de cinza (CZ) foi de 0,45%; com variação de 0,15 a 0,90% (Tabela 9). De maneira geral, essa variável se diferenciou mais entre os clones do que entre os espaçamentos. O clone 02 apresentou os menores valores de teor de cinzas; 0,15; 0,19 e 0,21; nos espaçamentos 3,0x1,5; 3,0x1,0 e 3,0x2,0 m; respectivamente. Já o clone 04 apresentou os maiores teores: 0,65; 0,87 e 0,90; nos espaçamentos 3,0x2,0; 3,0x1,5 e 3,0x1,0 m; respectivamente. Aparentemente não houve nenhum padrão com relação ao espaçamento e essa variável. O clone 07 apresentou a mesma porcentagem (0,50%) em todos os espaçamentos avaliados.

O teor de extrativos variou de 2,41% a 6,32%, com média de 4,38%. Os maiores teores foram observados para o clone 02 e os menores para o clone 24, em todos os espaçamentos avaliados. O teor de lignina variou 21,42% a 27,90%, com média de 24,82%. O clone 04 nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m foi o que apresentou maiores teores.

A massa seca do tronco (lenho e casca) para os clones variou de 73,18 Mg ha<sup>-1</sup> a 128,73 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 9). Os clones 04, 05 e 07 foram os que apresentaram maiores valores de massa seca, esses foram acima da média entre todos os clones e espaçamentos avaliados. Esses resultados expõem que a massa seca é intrínseca ao genótipo.

Ao analisar a média da massa seca do tronco para todos os clones para cada espaçamento avaliado, observa-se que a diferença foi de 5,64% entre os espaçamentos 3,0x1,0 e 3,0x1,5 m e também para 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m. O clone 05 teve variação de 5,57% entre os espaçamentos 3,0x1,0 e 3,0x2,0 m, já o clone 07 teve variação de 20,78% entre o maior e o menor espaçamento, esse resultado mostra que para o clone 07 o espaçamento tem mais efeito na produção de massa seca por hectare, do que para o clone 05

A massa seca de casca variou entre 3,01 Mg ha<sup>-1</sup> a 5,89 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 9). Essa característica teve relação direta com os espaçamentos, observou-se maior média de massa seca de casca nos menores espaçamentos (5,32 Mg ha<sup>-1</sup>) e menor média no espaçamento 3,0x2,0 m (3,81 Mg ha<sup>-1</sup>).

Tabela 9: Médias da densidade básica do tronco (lenho e casca) (DBT), do lenho (DBL) e da casca(DBC);poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU); teor de cinzas (CZ),teor de extrativos totais (ET),teor de lignina (TL),massa seca média de madeira (Wsc),massa seca média de casca (Wc) e massa seca média com casca (Wcc); para os clones 02; 04; 05; 07 e 24; aos 6,0 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

Resultados	02			04			05			07			24		
	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0
<b>DBT</b>	426,89	464,75	466,92	426,47	435,73	439,13	458,58	453,17	441,13	484,00	471,40	487,33	454,08	460,17	452,53
<b>DBL</b>	443,89	487,00	491,42	454,00	466,60	463,87	481,00	474,56	461,40	516,58	499,00	520,00	482,83	492,33	485,33
<b>DBC</b>	374,56	402,75	381,50	314,93	340,53	340,33	389,00	367,11	362,93	362,58	349,67	336,58	330,75	317,00	329,60
<b>PCS</b>	4.579	4.428	4.566	4.485	4.638	4.635	4.540	4.537	4.451	4.597	4.618	4.611	4.612	4.573	4.513
<b>PCI</b>	4.275	4.124	4.262	4.181	4.334	4.331	4.236	4.233	4.147	4.293	4.314	4.307	4.308	4.269	4.209
<b>PCU</b>	2.815	2.707	2.803	2.747	2.854	2.852	2.785	2.783	2.723	2.825	2.840	2.835	2.836	2.808	2.766
<b>CZ</b>	0,19	0,15	0,21	0,90	0,87	0,65	0,24	0,24	0,31	0,50	0,50	0,50	0,51	0,49	0,50
<b>ET</b>	5,40	6,32	6,27	4,14	4,94	4,09	4,11	3,49	3,42	5,60	4,39	4,85	2,44	3,80	2,41
<b>TL</b>	25,97	25,03	24,10	25,72	26,12	27,93	25,53	25,13	25,21	24,70	21,42	21,81	25,06	23,25	25,20
<b>Wsc</b>	81,51	90,80	93,42	110,48	100,89	92,14	109,15	105,21	103,07	122,84	111,70	97,31	88,30	74,78	70,17
<b>Wc</b>	5,14	4,76	4,13	5,16	4,50	3,74	5,84	4,85	4,41	5,89	4,86	3,76	4,59	3,35	3,01
<b>Wcc</b>	86,65	95,56	97,55	115,64	105,39	95,88	114,99	110,05	107,48	128,73	116,56	101,06	92,89	78,13	73,18

DBT, DBL e DBC, em kg m<sup>-3</sup>; PCS, PCI e PCU, em kcal kg<sup>-1</sup>; CZ, ET e TL, em %;Wsc, Wc e Wcc, em Mg ha<sup>-1</sup>



Tabela 10: Estimativa de Poder Calorífico Superior (kcal ha<sup>-1</sup>), para os clones 02; 04; 05; 07 e 24; aos 6,0 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

Clones	Espaçamento (m)		
	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0
<b>02</b>	3,73x 10 <sup>8</sup>	4,02x 10 <sup>8</sup>	4,27x 10 <sup>8</sup>
<b>04</b>	4,96x 10 <sup>8</sup>	4,68x 10 <sup>8</sup>	4,27x 10 <sup>8</sup>
<b>05</b>	4,96x 10 <sup>8</sup>	4,77x 10 <sup>8</sup>	4,59x 10 <sup>8</sup>
<b>07</b>	5,65x 10 <sup>8</sup>	5,16x 10 <sup>8</sup>	4,49x 10 <sup>8</sup>
<b>24</b>	4,07x 10 <sup>8</sup>	3,42x 10 <sup>8</sup>	3,17x 10 <sup>8</sup>
<b>Média</b>	4,67x 10 <sup>8</sup>	4,41x 10 <sup>8</sup>	4,16x 10 <sup>8</sup>

Tabela 11: Estimativa do potencial energético teórico para a geração de energia elétrica, em MW h ha<sup>-1</sup>, para os clones 02; 04; 05; 07 e 24, aos 6,0 anos de idade, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

Clones	Espaçamento (m)		
	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0
<b>02</b>	19,89	21,37	22,73
<b>04</b>	26,37	24,96	22,78
<b>05</b>	26,39	25,42	24,40
<b>07</b>	30,10	27,50	23,92
<b>24</b>	21,71	18,22	16,86
<b>Média</b>	24,89	23,50	22,14

## 5. DISCUSSÃO

Em povoamentos florestais, o número de árvores por hectare, definido pelo espaçamento, determina vários fatores com implicações econômicas, tecnológicas e silviculturais. O espaçamento influencia a taxa de crescimento das plantas e a idade técnica de corte (Balloni e Simões, 1980). Com base nos resultados deste estudo, tanto o crescimento em altura, quanto em diâmetro, foram positivamente correlacionados com a densidade inicial. Segundo Woodruff et al. (2002), essa correlação ocorre para os primeiros anos após o plantio, invertendo essa tendência nos anos posteriores. Essa inversão de tendência foi confirmada por Paulino (2012), que observou baixas taxas de crescimento em altura em idades mais avançadas em povoamentos clonais de eucalipto, em todos os espaçamentos estudados e aumento nos valores de altura em espaçamentos maiores; semelhante ao observado na Figura 2. Correlação positiva também foi observada por Coelho et al. (1970), os quais reportam que uma maior área por planta, resulta em uma altura média mais elevada. No entanto, Balloni e Simões (1980) citam que existem algumas contradições na relação espaçamento e crescimento em altura das árvores.

A competição entre árvores por radiação solar é mais evidente e intensa nos plantios mais densos, em virtude da necessidade de assimilação pelas plantas, elas ampliam ao máximo sua superfície foliar, estimulando assim, o crescimento em altura (Silva, 1990). No entanto, uma redução na altura média do povoamento, com plantios mais densos foi observada por Balloni e Simões (1980). Esses autores explicaram que com a redução do espaçamento, dentro de certos limites, pode ocorrer um aumento de árvores dominadas, esse aumento pode ser significativo ao ponto de reduzir a altura média do povoamento.

Ferreira et al. (2014), estudando crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos, também constataram que para a variável altura, as árvores no espaçamento 3,0x1,0 m foram as que apresentaram o menor valor médio, e as dos demais espaçamentos (3,0x1,5; 3,0x2,0 e 3,0x2,5 m), os valores tenderam a ser superiores e próximos.

Já Assis et al. (1999), estudando o comportamento de *Eucalyptus urophylla* em diferentes espaçamentos, encontraram maiores alturas aos 49 meses de idade para as árvores plantadas em espaçamentos considerados mais reduzidos (3,0x2,0 m), concluindo que nesses espaçamentos haveria uma maior competição entre plantas e uma consequente busca por luz.

Ao considerar o diâmetro à altura do peito, no presente estudo, a curva de crescimento das árvores no espaçamento mais reduzido apresentou menor inclinação com relação às outras curvas, isso indica que as árvores no espaçamento 3,0x1,0 podem entrar no processo de estagnação do crescimento em diâmetro mais cedo que as demais. Esse resultado foi o mesmo encontrado por Paulino (2012), que obteve maiores valores de diâmetro nos maiores espaçamentos em todas as idades analisadas; ele ainda acrescenta que em povoamentos mais velhos, a diferença entre os diâmetros nos espaçamentos estudados aumenta. Couto (1977) encontrou também variação direta do diâmetro quadrático médio em função do espaçamento e da idade; assim como Coelho et al. (1970) também obteve resultados com ação positiva entre essas duas variáveis.

Há uma série de trabalhos que discute a influência do espaçamento no crescimento do povoamento, muitos deles ratificam os dados aqui encontrados (LEITE et al., 1997, GOMES et al., 1997, ASSIS et al., 1999, LELES et al., 2001, MULLER, 2005, MARCOLINO, 2010, PAULINO, 2012, BENIN et al., 2014, SCHNEIDER et al., 2015). Esses trabalhos apresentam em comum resultados claros de uma tendência de aumento do *dap* com a redução de densidade de plantas por hectare, ou seja, maior espaçamento entre as plantas.

Os trabalhos mencionados mostram que árvores plantadas em espaçamentos mais amplos conseguem crescer melhor e mais rapidamente. No entanto, em determinada idade, as árvores começam a entrar em competição por recursos, fazendo com que esse crescimento se desacelere. Além da disponibilidade de recursos, o que determina que essa fase de baixo crescimento chegue mais cedo ou mais tardiamente, é o menor espaçamento.

Muitas empresas florestais utilizam um diâmetro mínimo comercial de 5 cm. Em certos casos esse limite de diâmetro pode ser bem maior.

No espaçamento 3,0x1,0 m a maior parte dos indivíduos apresentaram diâmetro inferior a 10 cm, compreendendo, em média, 53,33% do povoamento. Esses resultados foram semelhantes ao encontrados por Ferreira et al. (2014), que avaliaram um clone em diferentes espaçamentos ao longo de três anos. Esses autores constataram que os espaçamentos 3,0x1,0 e 3,0x1,5 m, foram os que apresentaram os menores diâmetros aos 6 anos de idade, e concluíram que, considerando um *dap* mínimo de 10 cm e dependendo da finalidade de uso da madeira, o espaçamento 3,0x1,0 m, se a colheita fosse realizada nessa idade, cerca de 40% das árvores seriam descartadas. No caso do presente trabalho, no espaçamento 3,0x1,0 m, para o clone 24 seriam descartados mais de 64% das árvores do povoamento (42,67% do volume total com casca), em diâmetros menores que 10 cm e mais de 43% das árvores no espaçamento 3,0x 1,5 m (25,17% do volume total com casca). Para o clone 02, no espaçamento 3,0x1,0 m, seriam descartadas, aproximadamente, 58% das árvores (38,60% do volume total com casca); para os clones 04 e 05, sob o mesmo espaçamento seriam descartadas 47% das árvores (16,0% e 17,0% do volume total com casca), respectivamente. Oliveira Neto et al. (2010) encontraram comportamentos semelhantes a esse trabalho ao avaliarem percentuais de distribuição diamétrica de eucalipto em função do espaçamento e nível de adubação.

Essa avaliação é muito importante para o planejamento da produção florestal, principalmente quando envolve colheita e transporte da matéria prima, uma vez que maior *dap* reduz os custos dessas atividades. Além disso, os investimentos de implantação e formação das florestas não serão recuperados caso os indivíduos não alcancem o diâmetro mínimo comercial. Conforme Monte (2012), o custo de colheita mecanizada decresce exponencialmente com o *dap*. Portanto, no caso do *dap* maior ou igual a 10 cm e no espaçamento 3,0x1,0m, haverá um maior custo com plantio, manutenção e colheita, para obter um maior volume não aproveitável.

Gomide (2016) concluiu ao considerar um diâmetro mínimo comercial de 7,0 cm e toras com 6,0 m de comprimento, árvores com *dap* menor ou igual a 9,0 cm, no momento do corte, não resultam em madeira para produção de celulose. Além disso, recomendou a inclusão da projeção de *dap* em modelos de planejamento florestal, para poder identificar se no momento da colheita as toras terão o diâmetro mínimo

comercial. Concluiu ainda que os modelos testados são eficientes para definir em um primeiro inventário, árvores que não irão gerar madeira para produção de celulose.

Nesses estudos, a variável área basal apresentou um desempenho antagônico ao diâmetro quadrático médio e altura, com relação aos tratamentos. De modo geral, os valores elevados de área basal foram encontrados nos espaçamentos mais reduzidos. Resultados similares foram encontrados por Muller (2005) em estudo com clone híbrido de eucalipto em diferentes espaçamentos. O fator determinante no resultado, maiores valores de área basal em espaçamento reduzido, é o número de árvores por hectare ser mais alto, uma vez que o diâmetro médio nesses espaçamentos é menor. Esse resultado foi comum para a maioria dos clones, no entanto o 02 apresentou menor área basal no espaçamento mais reduzido. Esse comportamento pode estar intrínseco ao clone 02. Certas espécies e variedades de plantas em espaçamentos reduzidos entram em competição muito jovens e as vezes levam a morte das plantas. Espaçamentos reduzidos foram associados com menor porcentagem de sobrevivência de plantas (SILVA, 1990).

Berger (2000) verificou em seu estudo com clone de *Eucalyptus saligna* Smith em diferentes espaçamentos, que além da mortalidade natural atribuída a fatores aleatórios, houve também mortalidade por competição entre as árvores, no espaçamento reduzido testado; e isso foi verificado quando as plantas alcançaram a área total disponível para crescimento. Neste mesmo sentido, Couto (1977) e Balloni e Simões (1980) também obtiveram maiores porcentagens de mortalidade em plantios mais densos. Esses últimos autores ainda observaram uma redução na altura média do povoamento, com a utilização de plantios mais densos, o que condiz com a Figura 2, na qual o clone 02 apresentou menores valores para a altura média no espaçamento 3,0x1,0 m.

O volume médio sem casca teve o mesmo padrão com o volume com casca (Figura 5 e 6). Os clones 04, 07 e 05 foram os que apresentaram maiores volumes nos espaçamentos menores. O mesmo resultado foi encontrado nos trabalhos de Marcolino (2010) e Paulino (2012). Esse último autor ainda cita que o volume por hectare mais elevado está relacionado com o maior número de plantas por unidade de área, mesmo elas sendo de fustes mais finos.

O espaçamento não influenciou na produção de madeira para o clone 02. Do ponto de vista econômico, esse resultado é muito importante, uma vez que com um bom planejamento de plantio, poderá reduzir a princípio, custos de implantação, pois no espaçamento 3,0x1,0 m seriam necessárias 3.333 mudas e no espaçamento 3,0x2,0 m seriam necessário somente 1.667 mudas, para obter o mesmo volume. Além disso, os custos também seriam reduzidos na colheita e transporte.

Embora tenha maior produção volumétrica no espaçamento no espaçamento 3,0x1,0 m, em consequência da quantidade de árvores, é necessário considerar o diâmetro mínimo utilizável. Por exemplo, para um corte em uma idade de rotação regulatória de 6 anos, em média tem-se: 232 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x1,0 m), 217 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x1,5 m) e 201 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x2,0 m) de volume com casca estimado; no entanto o volume aproveitável é 162 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x1,0 m), 183 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x1,5 m) e 184 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (3,0x2,0 m). Nesse caso, a produção volumétrica com casca total ao passar de 3,0x1,0 para 3,0x1,5 m é de 15%, entretanto ao considerar o *dap* ≥ 10, resultaria em um volume 21% menor. Essa diferença é menor entre os espaçamentos 3,0x1,5 para 3,0x2,0 m (-1%), no entanto o espaçamento 3,0x2,0 m é mais vantajoso, devido ao menor número de plantas por hectare e consequente redução dos custos com operações florestais.

A idade técnica de corte pode ser determinada pela maximização da produtividade média anual (IMA). O IMA máximo nos espaçamentos reduzidos ocorre em idades inferiores. Nos espaçamento 3,0x1,0 m, para o clone 02 a idade técnica de corte foi de 3,61 anos; para o clone 04 foi 4,35 anos; 05 foi 3,47 anos; 07 foi 4,65 anos e 24 foi 4,55 anos de idade; sendo que o clone de maior IMA foi o 05, com 45,90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No presente trabalho, não foi avaliada a rotação do ponto de vista econômico, no entanto, Paulino (2012) concluiu em seu trabalho que em espaçamentos reduzidos, ocorreram maiores custos de implantação, devido a maior demanda de mudas no plantio e replantio.

Devido a menor produção volumétrica nos espaçamentos mais amplos, a produção de massa seca por hectare também foi relativamente baixa, principalmente para os clones 04, 07 e 24. Esse resultado é coerente com o encontrado por Muller (2005), que afirma que massa seca e volume possuem relação direta com a densidade de plantio.

Com relação à estocagem de carbono, o espaçamento mais fechado, apresentou maior estoque de carbono. Entre as medições 3,5 anos a 6 anos de idade, houve um ganho na estocagem de carbono; isso se deve ao processo de assimilação de carbono pelas plantas no processo de fotossíntese ao longo de sua vida. Brianezi (2015) obteve a mesma conclusão em estudo de plantio de eucalipto em diferentes espaçamentos, e ainda afirmou que a produção de massa seca, por árvore, é maior em espaçamentos menos densos devido ao maior crescimento em diâmetro, e nos espaçamentos mais densos a maior produção de massa seca e conseqüente estocagem de carbono, por hectare, é mais elevada devido ao maior número de plantas.

De modo geral, aos 6 anos de idade, o IMA de carbono foi maior nos menores espaçamentos, no entanto essa diferença foi muito pequena, de acordo com os desvios padrões encontrados. Brianezi (2015) avaliando estoque de carbono em plantios de eucaliptos na zona rural de Lamim-MG, verificou que o IMA de carbono em espaçamentos mais adensados, em idades mais jovens, é muito maior com relação aos espaçamentos mais abertos. Já na segunda avaliação aos 32 meses, houve uma tendência dos espaçamentos menos adensados se igualarem ou ultrapassarem os espaçamentos mais fechados. Dessa forma, o autor recomenda para projetos de carbono, que ocorrem geralmente em longo prazo, seja utilizado plantio em maiores espaçamentos.

A densidade básica da madeira é uma característica importante para a seleção de genótipos para produção de energia. A densidade é a relação entre a massa absolutamente seca de madeira e o seu volume saturado. Essa propriedade é importante, pois fornece várias informações sobre as características da madeira, e, de maneira geral, afeta as outras propriedades, sendo muito útil para qualificar a madeira quanto ao seu uso. Por isso não se pode avaliá-la de forma independente das outras características tecnológicas, uma vez que as propriedades físicas, sua constituição química e sua anatomia estão interligadas (VITAL et al., 2013).

A densidade básica da madeira possui variação interespecífica e intraespecífica. As variações dentro da mesma espécie podem ser de acordo com a idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, tratos culturais, entre outros. Os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente (VITAL, 1986).

Rocha (2011) em estudos de influência de espaçamento e idade em propriedades da madeira de híbridos de eucalipto, não encontrou diferença significativa nas idades de 48, 61 e 77 meses, independente do espaçamento utilizado; esses resultados foram semelhantes aos aqui encontrados. Essa autora, no entanto, encontrou diferença significativa nos espaçamentos mais adensados, na maior idade avaliada, essa densidade foi inferior às demais; no qual associou esse resultado à competição entre árvores por água e nutrientes, com possível estagnação do crescimento.

Quando se compara a densidade básica da madeira nas duas idades (3,5 e 6 anos) observa-se aumento desses valores com a idade, principalmente nos espaçamentos mais amplos. Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Rocha (2011), que também observou maiores densidades em idades mais avançadas nos espaçamentos mais amplos. A densidade possui uma tendência positiva com a idade (VITAL et al., 1984), como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição do diâmetro das células. Madeira com fibras mais longas e parede celular mais espessa possui maior valor de densidade básica (TRUGILHO et al., 2003).

Avaliando clones de *Eucalyptus grandis* e clones de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade, em espaçamento 3,0x2,0 m, Trugilho et al. (2001) observaram que a densidade básica da madeira está correlacionada com os teores de carbono fixo e materiais voláteis, ainda afirmaram que características de crescimento precisam ser estudadas de maneira simultânea para uma avaliação da qualidade energética da madeira.

Madeiras menos densas, possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de massa, mas menor poder calorífico, por unidade de volume. O poder calorífico é a quantidade de energia térmica desprendida, por unidade de massa ou de volume, durante a combustão completa de um material combustível. O poder calorífico se divide em superior e inferior. O poder calorífico superior é a quantidade de energia liberada quando o material entra em combustão, a volume constante, e os gases gerados são resfriados de modo que o vapor de água nele contido seja condensado e o calor gerado dessa condensação é recuperado (VITAL et al., 2013).

O poder calorífico inferior é a quantidade de energia liberada quando o material entra em combustão e os gases de descarga são resfriados até o ponto de



ebulição da água, não permitindo a condensação da água contida na combustão, ou seja, é a energia de fato disponível por unidade de massa do combustível, depois de extrair as possíveis perdas pela evaporação da água (JARA, 1989). De maneira geral o poder calorífico da madeira é expresso em  $\text{kcal kg}^{-1}$  ou  $\text{kcal m}^{-3}$ .

No poder calorífico útil ou líquido, a energia necessária para evaporar a água referente à umidade da madeira é descontada, ou seja, é a quantidade de energia liberada pela queima, de maneira que a água proveniente esteja em estado gasoso (volume variável) (VITAL et al., 2013).

O poder calorífico superior (PCS), o poder calorífico inferior (PCI) e o poder calorífico útil (PCU) se correlacionam de maneira proporcional, no entanto para estudos energéticos da madeira é mais usual a utilização dos valores de PCS nas discussões.

O PCS variou  $4.428 \text{ kcal kg}^{-1}$  a  $4.638 \text{ kcal kg}^{-1}$  apresentando valores médios  $4.558,87 \text{ kcal kg}^{-1}$ . Esses valores ficaram próximos aos apresentados por Quirino et al. (2005), onde PCS de espécies de eucalipto varia entre  $4.217 \text{ kcal kg}^{-1}$  e  $5.023 \text{ kcal kg}^{-1}$ , apresentando média de  $4.695 \text{ kcal kg}^{-1}$ .

Com relação aos clones, de maneira geral, o clone 05 apresentou PCS inferior à média geral encontrada e o clone 07 apresentou valor de PCS superior à média (Tabela 9), isso ocorreu para todos os espaçamentos avaliados, para ambos os clones. O maior poder calorífico foi verificado para o clone 04 nos espaçamentos  $3,0 \times 1,5$  e  $3,0 \times 2,0$  m. Os valores de poder calorífico da madeira, avaliados isoladamente, não apresentam tendência lógica com relação aos espaçamentos; fato também observado por Muller (2005) em estudo de diferentes densidades de plantio de híbrido de eucalipto, aos 24 meses de idade.

Com esses resultados pode-se observar diferença entre clones. Em primeira abordagem (Tabela 9) observa-se que o clone 05 apresenta PCS inferior a média encontrada, isso ocorre para todos os espaçamentos avaliados, no entanto quando se analisa a quantidade de energia por hectare, os clones 02 e 24 têm o pior desempenho nos espaçamentos testados. Essa diferença se deve ao fato desses clones possuírem a menor produção volumétrica entre os clones avaliados, com isso a massa seca por hectare foi baixa, levando alta redução na quantidade de energia por hectare  $\text{ano}^{-1}$ . Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Rocha (2011), que estudou a

influência do espaçamento e da idade nas propriedades da madeira de um híbrido de eucalipto; essa autora também concluiu um aumento de energia estocada à medida que o espaçamento entre as árvores foi reduzido. E explicou que isso ocorre devido aos altos valores obtidos de massa seca nos menores espaçamentos, e também, por causa do efeito não significativo do espaçamento sobre o PCS da madeira.

O clone 07 possui o maior potencial energético teórico para a geração de energia elétrica ( $\text{MW h ha}^{-1}$ ) nos espaçamentos avaliados. Para o espaçamento 3,0x1,0 m essa diferença foi de 17% maior que a média. Couto et al. (2005) observaram tendência evidente de aumento do poder calorífico com a redução dos espaçamentos. Essa tendência também foi observada no presente trabalho, com média de 24,89  $\text{MW h ha}^{-1}$  no espaçamento 3,0x1,0 m; 23,5  $\text{MW h ha}^{-1}$  no 3,0x1,5 m e 22,14  $\text{MW h ha}^{-1}$  no 3,0x2,0 m.

O teor de cinzas (CZ) tem influência no poder calorífico, no entanto, afeta de forma negativa, pois não contribui para a geração de calor. As cinzas são os resíduos formados após a combustão completa da biomassa; o teor de cinzas da biomassa florestal pode ser proveniente dos minerais absorvidos ao longo do ciclo de vida da árvore, ou ainda, por contaminação durante processo de colheita e transporte (VITAL et al., 2013).

O CZ está relacionado a compostos inorgânicos presentes na madeira, normalmente associados a compostos orgânicos com função fisiológica. Os mais comuns são o cálcio, potássio, magnésio, fósforo, dentre outros. Em geral o teor de cinzas é inferior a 1% da massa seca. Os minerais presentes na madeira diminuem seu poder calorífico, aumentam a produção de cinzas e, quando a madeira ou o carvão são utilizados em fornalhas ou caldeiras, durante a combustão, podem formar incrustações nos equipamentos. Os teores desses minerais se relacionam com a idade da árvore, com a fertilidade do solo e com a adubação (VITAL et al., 2013). Protásio et al. (2014) observaram redução do teor de cinzas na madeira com o avanço da idade, independente dos clones estudados; esses autores associaram esses resultados com a menor exigência de minerais nessas idades, devido a diminuição da atividade fisiológica da árvore.

A média dos teores de cinzas encontrada foi de 0,45%. Os clones 02 e 05 foram os que apresentaram os menores valores, independente do espaçamento avaliado,

variando de 0,15 a 0,31%. Comumente são encontrados baixos teores na madeira de eucalipto; valores encontrados por Brito e Barrichelo (1978) para espécies do gênero *Eucalyptus*, aos 4,0 anos de idade, variaram entre 0,31 a 0,53 % e, Protásio et al. (2011) encontraram média de 0,25% em maravalhas de *Eucalyptus urophylla* com 6 anos de idade, valores semelhantes aos encontrados na mesma idade avaliada no presente trabalho.

O teor de cinzas pode ser considerado um índice de desempenho energético (PROTÁSIO et al. 2011), uma vez que os minerais não participam do processo de combustão, esses acabam sendo indesejáveis; contribuem para a redução do poder calorífico da madeira, quando encontrados em altos teores (BRAND, 2010).

O CZ variou muito entre os clones avaliados, indo da média 0,18% para o clone 02 até média de 0,81% para o clone 04. Neves et al. (2011) em estudo com clones de *Eucalyptus* aos 68 meses em diferentes locais, concluíram que existe diferença significativa nos teores de cinza para clones nos mesmos locais avaliados. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Protásio et al. (2014), que ainda afirmam que esses valores são baixos e não afetam a utilização dessa madeira para produção de carvão ou como fonte direta de energia.

O poder calorífico superior da madeira é muito influenciado pela sua constituição química, principalmente a lignina e extrativos (JARA, 1989). Extrativo é uma palavra utilizada para descrever vários compostos químicos contidos na madeira, no entanto, não são componentes estruturais essenciais. Nesse grupo de compostos estão os polifenóis, óleos, gorduras, gomas, resinas, ceras, amido, entre outros (SANTOS, 2010).

Os valores médios observados para as características extrativos totais e teor de lignina da madeira nos diferentes espaçamentos foram de 4,38% e 24,82%, respectivamente. Rocha (2011) avaliou as propriedades energéticas da madeira em clones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), em diferentes espaçamentos, aos 85 meses de idade, no município de Itamarandiba-MG e encontrou 2,47% para extrativos totais e 31,56% para o teor de lignina total. Para as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 7,0 anos de idade, Trugilho et al. (2003) encontraram valor médio de extrativos na ordem de 6,71% e lignina 31,77%.

De acordo com Vital et al. (1984), o teor de lignina tende a diminuir com o avanço da idade, uma vez que árvores mais jovens, de modo geral, possuem uma maior proporção de madeira juvenil, que é mais rica em lignina do que a madeira madura. No entanto, os teores de lignina aqui encontrados foram muito inferiores (aos 6 anos de idade), quando comparadas com a literatura citada (aos 7,0 anos de idade), deduzindo que a idade não foi o que interferiu nesse comportamento. Isso ocorreu provavelmente em função da variação de locais de coleta e pela influência do material genético avaliado em cada trabalho. Trugilho et al. (1996) e Moraes (2008) também observaram uma tendência de redução no teor de lignina com o aumento da idade da árvore. Esses primeiros autores ainda, encontraram essa mesma relação, para teor de extrativos e afirmam que em certa idade esses valores se estabilizam tanto para os teores de extrativos totais, quanto para os teores de lignina.

Neves et al. (2013) não encontraram diferença para efeito de interação clone  $\times$  idade para os teores de lignina total, extrativos totais e cinzas. Com esse resultado, eles concluíram que para essas três características da madeira, a avaliação e a seleção de clones com maior potencial energético, principalmente para a produção de carvão vegetal, podem ser feitas independentemente das idades avaliadas. Trugilho et al. (2001), avaliando dez clones de *Eucalyptus* (*E. grandis* e *E. saligna*), aos 7 anos de idade em espaçamento 3,0x2,0 m, não encontraram correlação significativa para o teor de lignina total na madeira com as demais variáveis e afirmou que apesar da importância dessa característica, ela não pode ser utilizada isoladamente como parâmetro de classificação da madeira para fins energéticos, além disso, concluíram que características de crescimento devem, ser incluídas em estudos futuros de avaliação de qualidade da madeira.

Em pesquisa com espécies tropicais, Doat e Petroff (1975) relacionaram o poder calorífico superior à composição química da madeira, e mostraram que madeiras ricas em lignina e em extrativos tem elevado poder calorífico. O clone 04, nos espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m, foi o que teve maior teor de lignina e também apresentou o maior poder calorífico superior.

Vários autores apontam que a lignina é o composto essencial quando o objetivo é a produção de carvão vegetal, uma vez que o rendimento gravimétrico do processo de

carbonização e a qualidade do carvão produzido estão relacionados diretamente aos teores de lignina presentes na madeira, devido a sua alta resistência à degradação térmica e também sua contribuição para maiores teores de carbono fixo (presença de altas porcentagens de carbono elementar). Outro componente que possui relação direta com o rendimento em carbono fixo é o teor de extrativos, contribuindo para o aumento do rendimento em carvão vegetal (SANTOS, 2010).

Quando leva-se em conta o material estudado visando a produção de carvão vegetal, concluí-se que os valores médios para teor de lignina aqui encontrados não estão adequados, sendo esse aproximadamente 6% menor aos encontrados na literatura. De acordo com Trugilho et al. (2001), esses clones se classificariam como intermediários à inferiores considerando seus teores de lignina. No entanto, esses autores ainda afirmam que além dos teores de lignina, estimativas de massa seca são indispensáveis quando a madeira é destinada para a produção de bioenergia.

A massa seca do tronco (lenho e casca) variou de 73,18 Mg ha<sup>-1</sup> a 128,73 Mg ha<sup>-1</sup>, esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Santana et al. (1999) que avaliaram plantios de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes sítios florestais no estado de São Paulo aos 6,5 anos de idade, em espaçamento 3,0x1,8 m. Os valores encontrados por esses autores variaram entre 80 t ha<sup>-1</sup> (1 t ha<sup>-1</sup> equivale a 1 Mg ha<sup>-1</sup>) a 214 t ha<sup>-1</sup>, essa diferença se deve a ampla variação de sítios florestais e de espécies; além da idade que foi avaliado e o espaçamento.

A massa seca do lenho variou de 70,17 Mg ha<sup>-1</sup> a 122,84 Mg ha<sup>-1</sup>. Benatti (2013), estudando a compartimentalização de biomassa e nutrientes em eucalipto em diferentes sítios, encontrou médias de 96,35 t ha<sup>-1</sup> e 143,34 t ha<sup>-1</sup> nos sítios avaliados. A média geral obtida no presente estudo, de 96,78 Mg ha<sup>-1</sup> de lenho, foi inferior à encontrada por Benatti (2013), de aproximadamente 119,84 t ha<sup>-1</sup>, em eucalipto aos 6,5 anos de idade em espaçamento 3,5x2,5 m; e superior à encontrada por Santana et al. (1999) nos municípios de Angatuba (87 t ha<sup>-1</sup>) e São José dos Campos (85 t ha<sup>-1</sup>).

A massa de casca variou entre 3,01 Mg ha<sup>-1</sup> a 5,89 Mg ha<sup>-1</sup>; esses valores foram inferiores aos observados por Santana et al. (1999) e semelhantes ao encontrado por Benatti (2013), de 4,32 t ha<sup>-1</sup>. Estudos mostram variações no acúmulo de casca em

eucalipto, de 8 a 26 t ha<sup>-1</sup>, acompanhando a produção de lenho, esses valores podem chegar, aproximadamente, 13% do volume total do tronco (SANTANA et al., 2008).

Por acompanhar o crescimento do lenho, a massa de casca está diretamente relacionada com o diâmetro; característica dendrométrica influenciada pelo espaçamento. No menor espaçamento obteve menores médias de *dap* (Tabela 4) e foram os que apresentaram maiores valores de massa seca por hectare, para todos os clones avaliados (Tabela 9), com média de 5,32 Mg ha<sup>-1</sup>. Já no espaçamento 3,0x2,0 m, essa média caiu para 3,81 Mg ha<sup>-1</sup>, uma vez que nos espaçamentos mais amplos ocorre uma menor porcentagem de casca.

A casca é o segundo maior compartimento de nutrientes, ficando atrás somente das folhas (Freitas et al., 2004; Verão et al., 2016).

A maneira e a intensidade da colheita florestal adotada irá determinar a quantidade de nutrientes que serão exportados do sítio. A exploração completa da árvore extrai uma maior quantidade de nutrientes, essa retirada pode causar um déficit e ser um fator crítico para as próximas rotações (POGGIANI et al., 1983; SANTANA et al., 1999).

Os nutrientes que se acumulam em maior proporção na casca são o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) e no lenho são o nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) (FREITAS et al., 2004; SANTANA et al., 2008; BENATTI, 2013; CARVALHO, 2014; VERÃO et al., 2016).

Santana et al. (2008), estimaram o conteúdo de nutrientes em árvores de eucalipto, em diferentes regiões do Brasil, levando em conta características climáticas de cada região. Encontraram massa do tronco variando de 63 a 187 t ha<sup>-1</sup> e massa do lenho de 55 a 162 t ha<sup>-1</sup>, aos 6,5 anos de idade; a diferença entre a massa do tronco e massa do lenho, obtém-se a massa da casca. Com relação ao conteúdo de nutrientes na casca; esses autores encontraram uma amplitude de variação, em kg ha<sup>-1</sup>, de 70 a 405 para o Ca, de 12 a 46 para o Mg, de 5 a 10 para o P, de 30 a 83 para o K e de 33 a 74 para o N; para a idade de 6,5 anos. Como o presente estudo as medições foram realizadas aos 6 anos, os conteúdos de nutrientes na casca dos clones avaliados podem estar bastante semelhantes aos encontrados por Santana et al. (2008). Levando em conta que a quantidade de casca no espaçamento 3,0x1,0 m é superior à verificada no

espaçamento 3,0x2,0 m, a exportação de nutriente no espaçamento reduzido será superior ao espaçamento mais amplo, caso seja realizada a colheita completa do tronco.

Benatti (2013) concluiu que considerando todos os nutrientes, este compartimento apresentou acúmulo de 31,3%; sendo que o Ca, por ser o nutriente mais abundante na casca, estipulou que seu acúmulo é 60,6% do total da planta, seguido do B (45,7%), Mg (35,0%), K (19,5%), S (18,8%), Zn (15,7%), P (13,5%) e N (12,1%).

Ao realizar a colheita, a retirada do lenho deixando os resíduos e cascas no campo é uma alternativa ambientalmente correta, principalmente sobre condições tropicais, uma vez que nessas regiões os solos são altamente intemperizados. Quanto mais escassos são os nutrientes no solo, mais importante se torna a permanência da casca no campo (SANTANA et al., 2008).

Como apresentado, o espaçamento realizado no plantio pode afetar a formação das florestas equiâneas, seus tratos culturais, a qualidade da madeira, sua colheita e transporte e conseqüentemente os custos totais da produção.

## 6. CONCLUSÕES

- Com raras exceções, aos 6 anos, para uma mesma distância entre linhas (3,0 m), quanto maior a distância entre plantas, maior a altura das árvores, maior o diâmetro quadrático médio, menor a área basal, menor o volume total, com e sem casca, e para um diâmetro mínimo comercial de 10 cm, maior o volume a ser utilizado.

- Aos 6 anos, o crescimento em volume (com e sem casca), por hectare; em massa seca (com e sem casca, e de casca), por hectare; e estoque de carbono por hectare; apresenta relação direta com a densidade de plantio, para os clones 04, 07 e 24, sendo que para o clone 05 os espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m não há diferença significativa e o clone 02 o espaçamento não influencia nenhuma dessas variáveis.

- A idade técnica de corte, de maneira geral, ocorre mais cedo nos espaçamentos reduzidos.

- A densidade básica da madeira tende a aumentar com o espaçamento e com a idade das árvores.

- O teor de lignina para todos os clones estudados são baixos, considerando essa matéria-prima para a produção de carvão vegetal.

- A energia estocada ( $\text{kW h ha}^{-1}$ ) tende a elevar-se com a redução do espaçamento de plantio.

- Os clones 07, 04 e 05 são os mais indicados para produção de madeira para energia, desde que leve em conta o espaçamento indicado.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 8633**: Carvão vegetal – determinação do poder calorífico – método de ensaio. Brasília, 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM. Standard method for chemical analyses of wood charcoal**. Philadelphia: 1977. 1042p.

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J.; FERNANDES, L.A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, 1999, p.151-156.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp> Acesso em: 08 jan. 2017.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF- Série Técnica**, Piracicaba, v.1, n.3, p. 1-16, set. 1980.

BARROS, V. A. **Estimação de variáveis dendrométricas em povoamentos adensados de eucalipto utilizando redes neurais artificiais**. 2014. 30 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG.

BENIN, C. C.; WIONZEK, F. B.; WATZLAWICK, L. F. Initial assessments on the plantation of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage deployed in different spacing. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.7, n.1, p.55-61, jan/apr 2014.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000, 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRIANEZI, D. **Balço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: métodos e aplicações**. 2015. 152p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2015.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, v.16, p.63-78, 1978.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 2008, 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus sp.* em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em um solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. 2014. 80 p Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- RS.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP**. 2009, 85p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.M. Comportamento de espécies de eucaliptos face o espaçamento. **IPEF**, n.1, p.29-55, 1970.

CORDER, S. E. **Wood and bark as fuel**. Corvallis: School of Forestry, 1973. 28 p.

COUTO, L.; MÜLLER, M.D.; DIAS, A. N. TSUKAMOTO FILHO, A.A. T.; FONSECA, E.M.B.; CORRÊA, M. R. **Espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento para dendroenergia**. Belo Horizonte, MG: Companhia Energética de Minas Gerais, 2002. 66 p.

COUTO, L; MÜLLER, M. D. Florestas energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para energia**. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1, p. 93-108, 2008.

COUTO, L. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais**. 1977, 45p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

COUTO, L.; MÜLLER, M.D.; TSUKAMOTO, A. A.; BARCELLOS, D. C.; FONSECA, E.M.B.; CORRÊA, M. R. Avaliação de reflorestamento para produção de biomassa. **Revista da Madeira**. Edição nº88, Março, 2005.

DOAT, J.; PETROFF, G. La carbonization des bois tropicaux. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v. 159, p. 55-72, jan./fév. 1975.

EISFELD, R. EISFELD, C.L., FERREIRA, J.M., PIMENTEL, A., RODRIGUES, F., ALMEIDA, A. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a partir de variáveis dendrométricas e da massa específica do disco. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E. **Quantificação e caracterização da biomassa florestal em plantios de curta rotação**. 2013, 89p Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura e Ambiente) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

FERREIRA, D.H.A.A., LELES, P.S.S., MACHADO, E.C., ABREU, A.H.M., ABÍLIO, F.M. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophyllax* E. *grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 431-440, 2014.

FERREIRA, G. W.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, p.41-63, 1997.

FREITAS, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa e Energia**, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

GOLDSCHMIDT, O. Ultraviolet spectra lignin: occurrence, formation, structure and reactions. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Eds.). New York :**Wiley interscience**, 1971. p.241-266.

GOMES, F. G.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, p.101-126, 1997.

GOMIDE, C. R. **Determinação do número de toras comerciais, destinadas à produção de celulose, aplicando um modelo de distribuição diamétrica e equação de taper**. Viçosa, UFV, 2016. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.

GORGULHO, E. P.; RAMALHO, M. P.; SOARES, A. R. Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* L. Johnson & Blaxel, em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Árvore**, v.15, n.3, p. 207-216, 1991.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsugamenziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v.258, p.18–25, 2009.

HARRISON, R. B., REIS, G.G. REIS, M.D.G.F., BERNARDO, A.L., FIRME, D.J. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n.133, p. 167-177, 2000.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBA. Brasília, 2016. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)> Acesso em: 10 jan. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Cidades, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=500710&idtema=160&search=mato-grosso-do-sul|ribas-do-rio-pardo|extracao-vegetal-e-silvicultura-2015>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

IPCC - International Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006, v.4.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KER, J.; SMITH, J. Sampling for height-diameter relationships. **Journal of Forestry**, v.55, n.3, p.205-207, 1957.

LADERIA, B. C. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma sequência de idades**. 1999, 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.; FABRES, A.S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v.21, n.3, 1997, p.313-321.

LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; PAULA JUNIOR, G. G. Emprego de programação dinâmica para conversão de troncos em multiprodutos da madeira. **Revista Árvore**, v. 19, n. 4, p. 447-465, 1995.

LELES, P.P.S.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E.camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n.59, p.77-87, 2001.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. (Organizadores). **As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. Piracicaba: RiMa Editora, 2006. 226p.

MARCOLINO, L. **Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo**. 2010. 36p. Monografia- Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Soropédica-RJ.

MATTOS, B. D. GATTO, D.A, STANGERLIN, D.M., CALEGARI, L., MELO, R.R., SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011

MELLO, H. A; RENSI COELHO, A. S.; CIERO NETTO, A.; SIMÕES, J. W.; BERGER, R.; COUTO, H. T. Z.. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção da madeira industrial. **IPEF**, v.2, n.3, p.13-14, 1971.

MONTE, M. A. **Inclusão de critérios sociais na modelagem matemática do planejamento florestal**. 2012. 74p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil** (Eucalyptcultivation in Brazil). São Paulo: SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MULLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba; MG**. 2005. 109p Tese (doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out./dez. 2011

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L.C.; VIEIRA, C. M. M. Wood quality from clones of *Eucalyptus* at different ages for bioenergy production. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**.v. 56, n. 2, p. 139-148, apr./jun. 2013.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba- PR, v. 40, n. 4, p. 755-762, out./dez. 2010.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênes de *Eucalyptus saligna* sua interação com o espaçamento**. 1986, 192p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PAULINO, E. J. **Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantio de eucalipto**. 2012, 59p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; CORRADINI, L.; FAZZUO, E. C. M. Exploração de biomassa e nutrientes através da exportação dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 25, n. 25, p. 37-39, 1983.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, mar. 2014.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, A. R.; OLIVEIRA, A. D. Espaçamento ótimo para produção de madeira. **Revista Árvore**, v.7, n.1, p.30-43, 1983.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 86p Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em

alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2008, vol.32, n.spe, pp.2723-2733. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700016>. Acesso em: 05 mar. 2017.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCARPINELLA, G. D. A., **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002, 182p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.S.P., FLEIG, F.D.; CUNHA, T. A. Influência do espaçamento no autodesbaste de povoamentos monoclonal de *Eucalyptus saligna* Smih. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 119-126, jan.-mar., 2015 .

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

SCHÜRHAUS, P. Produtos e propriedades energéticas da madeira. **Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV**. Engenharia industrial da madeira. 2007. Disponível em: <http://engmadeira.yolasite.com/resources/Energia%20da%20madeira.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. FAEPE, 1997. 433p.

SILVA, J.F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos**. 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74p. (Série divulgação PNUD/FAO/IBDF/BRA - 45, 6).

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in Northeastern**. Fort Collins: Post Doctoral Repost. Colorado University, 2002. 225p.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, G. M. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations, **Forest Ecology and Management**, n.255, p. 920-930, 2008

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 om-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CARNEIRO, A. C. O.; TORRES, C. M. M. E. Estimativas da produção e propriedades da madeira de eucalipto em Sistemas Agroflorestais. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p.137-148, março 2016.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94- 111, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras-MG, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.7, n.2, p. 104-114, 2001.

VERÃO, D. S.; BLEICH, M. E.; MARTINS, N. P.; BASSOTTO, J. M.; MORTAT, A. F.; SANTOS, A. F. A. Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. **Biodiversidade**, v. 15, n. 3, p. 35-44, 2016.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Eds). **Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e espécies florestais**. Viçosa, MG: 2013. p. 321-354.

VITAL, B. R. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. de. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais. Brasília: **IBDF**, 1984. p. 41-52.



WOODRUFF, D.R.; BOND, B.J.; RITCHIE, G.A.; SCOTT, W. Effects of stand density on the growth of young Douglas-fir trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v.32, n.3, p.420-427, 2002.

## APÊNDICE

Tabela 12 - Equações ajustadas para estimar a altura ( $H$ ) em função da idade de 2 a 7 anos, para os clones 02, 04, 05 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m  
 $H = e^{\beta_0 + \beta_1 I^{-1}}$

Espaçamento (m)	Clone	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
3,0x1,0	02	$\beta_0$	3,1777	0,0127	250,3335	0,00	3,1525	3,2029	
		$\beta_1$	-1,8762	0,0560	-33,5065	0,00	-1,9873	-1,7650	
	04	$\beta_0$	3,3512	0,0116	289,4432	0,00	3,3282	3,3742	
		$\beta_1$	-2,4986	0,0517	-48,3285	0,00	-2,6012	-2,3959	
	05	$\beta_0$	3,1502	0,0137	230,0481	0,00	3,1230	3,1774	
		$\beta_1$	-1,4779	0,0599	-24,6571	0,00	-1,5968	-1,3589	
	07	$\beta_0$	3,3007	0,0173	191,2887	0,00	3,2664	3,3349	
		$\beta_1$	-2,1983	0,0766	-28,7011	0,00	-2,3503	-2,0463	
	24	$\beta_0$	3,1707	0,0106	298,6773	0,00	3,1496	3,1918	
		$\beta_1$	-2,3572	0,0473	-49,8652	0,00	-2,4510	-2,2634	
	3,0x1,5	02	$\beta_0$	3,3589	0,0117	286,1057	0,00	3,3356	3,3822
			$\beta_1$	-2,3260	0,0522	-44,5201	0,00	-2,4297	-2,2223
04		$\beta_0$	3,3868	0,0129	262,4759	0,00	3,3612	3,4124	
		$\beta_1$	-2,4611	0,0576	-42,7455	0,00	-2,5753	-2,3468	
05		$\beta_0$	3,4420	0,0151	227,3373	0,00	3,4120	3,4721	
		$\beta_1$	-2,4014	0,0675	-35,5870	0,00	-2,5353	-2,2674	
07		$\beta_0$	3,4878	0,0163	214,2148	0,00	3,4554	3,5201	
		$\beta_1$	-2,9251	0,0733	-39,8969	0,00	-3,0706	-2,7796	
24		$\beta_0$	3,2122	0,0078	411,8214	0,00	3,1967	3,2277	
		$\beta_1$	-2,4414	0,0348	-70,1758	0,00	-2,5105	-2,3724	
3,0x2,0		02	$\beta_0$	3,4115	0,0162	211,1238	0,00	3,3795	3,4436
			$\beta_1$	-2,2661	0,0722	-31,4017	0,00	-2,4094	-2,1228
	04	$\beta_0$	3,3982	0,0157	216,8164	0,00	3,3671	3,4293	
		$\beta_1$	-2,4548	0,0699	-35,1071	0,00	-2,5936	-2,3161	
	05	$\beta_0$	3,4780	0,0182	190,8024	0,00	3,4418	3,5141	
		$\beta_1$	-2,3825	0,0812	-29,3386	0,00	-2,5437	-2,2214	
	07	$\beta_0$	3,5097	0,0127	275,5806	0,00	3,4845	3,5350	
		$\beta_1$	-2,9602	0,0574	-51,5813	0,00	-3,0741	-2,8463	
	24	$\beta_0$	3,3513	0,0132	253,3481	0,00	3,3250	3,3776	
		$\beta_1$	-2,9250	0,0578	-50,6384	0,00	-3,0398	-2,8102	

Tabela 13 - Equações para estimar o diâmetro quadrático médio ( $q$ ) função da idade de 2 a 7 anos, para os clones 02, 04, 05 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m  $q = e^{\beta_0 + \beta_1 q^{-1}}$

Espaçamento (m)	Clone	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
3,0x1,0	02	$\beta_0$	2,4539	0,0210	116,9165	0,00	2,4122	2,4955	
		$\beta_1$	-1,2141	0,0914	-13,2841	0,00	-1,3955	-1,0327	
	04	$\beta_0$	2,4994	0,0278	90,0424	0,00	2,4443	2,5545	
		$\beta_1$	-1,0161	0,1204	-8,4382	0,00	-1,2551	-0,7771	
	05	$\beta_0$	2,4988	0,0206	121,1324	0,00	2,4579	2,5397	
		$\beta_1$	-1,0068	0,0895	-11,2521	0,00	-1,1844	-0,8292	
	07	$\beta_0$	2,5151	0,0255	98,7434	0,00	2,4646	2,5657	
		$\beta_1$	-1,3058	0,1111	-11,7520	0,00	-1,5264	-1,0853	
	24	$\beta_0$	2,3949	0,0296	80,9704	0,00	2,3362	2,4536	
		$\beta_1$	-1,0667	0,1284	-8,3055	0,00	-1,3216	-0,8118	
	3,0x1,5	02	$\beta_0$	2,6372	0,0205	128,8638	0,00	2,5966	2,6778
			$\beta_1$	-1,3648	0,0894	-15,2694	0,00	-1,5421	-1,1874
04		$\beta_0$	2,6214	0,0302	86,8928	0,00	2,5616	2,6813	
		$\beta_1$	-1,0740	0,1310	-8,1975	0,00	-1,3341	-0,8140	
05		$\beta_0$	2,6831	0,0206	130,4116	0,00	2,6423	2,7240	
		$\beta_1$	-1,3038	0,0897	-14,5267	0,00	-1,4819	-1,1256	
07		$\beta_0$	2,6591	0,0296	89,7403	0,00	2,6003	2,7179	
		$\beta_1$	-1,4290	0,1296	-11,0285	0,00	-1,6861	-1,1718	
24		$\beta_0$	2,5005	0,0186	134,7103	0,00	2,4636	2,5373	
		$\beta_1$	-1,1381	0,0807	-14,1000	0,00	-1,2983	-0,9779	
3,0x2,0		02	$\beta_0$	2,7362	0,0271	101,1446	0,00	2,6825	2,7899
			$\beta_1$	-1,3328	0,1186	-11,2356	0,00	-1,5684	-1,0973
	04	$\beta_0$	2,7667	0,0216	128,1257	0,00	2,7239	2,8096	
		$\beta_1$	-1,3562	0,0943	-14,3832	0,00	-1,5434	-1,1691	
	05	$\beta_0$	2,7895	0,0263	106,0336	0,00	2,7373	2,8417	
		$\beta_1$	-1,3204	0,1148	-11,5019	0,00	-1,5482	-1,0926	
	07	$\beta_0$	2,7337	0,0233	117,2191	0,00	2,6874	2,7800	
		$\beta_1$	-1,5270	0,1022	-14,9453	0,00	-1,7298	-1,3242	
	24	$\beta_0$	2,6217	0,0231	113,4620	0,00	2,5758	2,6676	
		$\beta_1$	-1,2597	0,0980	-12,8540	0,00	-1,4545	-1,0650	

Tabela 14 - Equações para estimar a área basal ( $B$ ) em função da idade de 2 a 7 anos, para os clones 02, 04, 05 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m  
 $B = e^{\beta_0 + \beta_1 B^{-1}}$

Espaçamento (m)	Clone	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
3,0x1,0	02	$\beta_0$	3,4087	0,0543	62,7522	0,00	3,3009	3,5165	
		$\beta_1$	-2,3042	0,2416	-9,5360	0,00	-2,7838	-1,8246	
	04	$\beta_0$	3,4932	0,0419	83,3993	0,00	3,4101	3,5763	
		$\beta_1$	-2,0047	0,1852	-10,8233	0,00	-2,3724	-1,6371	
	05	$\beta_0$	3,3855	0,0426	79,4348	0,00	3,3009	3,4701	
		$\beta_1$	-1,8028	0,1877	-9,6030	0,00	-2,1754	-1,4302	
	07	$\beta_0$	3,4917	0,0508	68,7122	0,00	3,3908	3,5925	
		$\beta_1$	-2,3415	0,2262	-10,3511	0,00	-2,7905	-1,8926	
	24	$\beta_0$	3,3823	0,0484	69,9416	0,00	3,2863	3,4783	
		$\beta_1$	-2,1975	0,2147	-10,2370	0,00	-2,6236	-1,7715	
	3,0x1,5	02	$\beta_0$	3,3767	0,0512	65,9356	0,00	3,2750	3,4783
			$\beta_1$	-2,6515	0,2294	-11,5600	0,00	-3,1067	-2,1962
04		$\beta_0$	3,3504	0,0515	65,0110	0,00	3,2481	3,4526	
		$\beta_1$	-2,0830	0,2282	-9,1260	0,00	-2,5360	-1,6300	
05		$\beta_0$	3,4181	0,0553	61,8485	0,00	3,3084	3,5278	
		$\beta_1$	-2,2961	0,2458	-9,3412	0,00	-2,7839	-1,8082	
07		$\beta_0$	3,5125	0,0735	47,8164	0,00	3,3667	3,6583	
		$\beta_1$	-2,9646	0,3310	-8,9553	0,00	-3,6216	-2,3076	
24		$\beta_0$	3,1794	0,0394	80,7026	0,00	3,1012	3,2575	
		$\beta_1$	-2,2480	0,1751	-12,8422	0,00	-2,5955	-1,9006	
3,0x2,0		02	$\beta_0$	3,2282	0,0716	45,1007	0,00	3,0861	3,3703
			$\beta_1$	-2,1330	0,3188	-6,6902	0,00	-2,7660	-1,5000
	04	$\beta_0$	3,2815	0,0617	53,2069	0,00	3,1591	3,4039	
		$\beta_1$	-2,3262	0,2745	-8,4754	0,00	-2,8709	-1,7814	
	05	$\beta_0$	3,3822	0,0634	53,3178	0,00	3,2563	3,5081	
		$\beta_1$	-2,3724	0,2826	-8,3963	0,00	-2,9332	-1,8116	
	07	$\beta_0$	3,3249	0,0626	53,0862	0,00	3,2006	3,4493	
		$\beta_1$	-2,8311	0,2815	-10,0566	0,00	-3,3898	-2,2724	
	24	$\beta_0$	3,1334	0,0512	61,1850	0,00	3,0316	3,2351	
		$\beta_1$	-2,6305	0,2225	-11,8250	0,00	-3,0726	-2,1885	

Tabela 15 - Equações para estimar o volume com casca em função da idade de 2 a 7 anos, para os clones 02, 04, 05 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m  
 $V_{CC} = e^{\beta_0 + \beta_1 V_{CC}^{-1}}$

Espaçamento (m)	Clone	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
3,0x1,0	02	$\beta_0$	5,9226	0,0594	99,7468	0,00	5,8048	6,0405	
		$\beta_1$	-3,6132	0,2710	-13,3309	0,00	-4,1511	-3,0752	
	04	$\beta_0$	6,2951	0,0484	129,9715	0,00	6,1990	6,3912	
		$\beta_1$	-4,3505	0,2243	-19,3937	0,00	-4,7957	-3,9052	
	05	$\beta_0$	6,0720	0,0476	127,5460	0,00	5,9775	6,1665	
		$\beta_1$	-3,4737	0,2167	-16,0291	0,00	-3,9038	-3,0436	
	07	$\beta_0$	6,3060	0,0596	105,8039	0,00	6,1877	6,4243	
		$\beta_1$	-4,6485	0,2777	-16,7419	0,00	-5,1995	-4,0974	
	24	$\beta_0$	6,0433	0,0572	105,7299	0,00	5,9298	6,1567	
		$\beta_1$	-4,5532	0,2658	-17,1318	0,00	-5,0807	-4,0257	
	3,0x1,5	02	$\beta_0$	6,0512	0,0580	104,4126	0,00	5,9362	6,1663
			$\beta_1$	-4,3390	0,2684	-16,1689	0,00	-4,8716	-3,8064
04		$\beta_0$	6,1469	0,0565	108,8031	0,00	6,0348	6,2591	
		$\beta_1$	-4,2634	0,2612	-16,3217	0,00	-4,7819	-3,7450	
05		$\beta_0$	6,2199	0,0599	103,9222	0,00	6,1012	6,3387	
		$\beta_1$	-4,2590	0,2767	-15,3917	0,00	-4,8082	-3,7098	
07		$\beta_0$	6,4142	0,0828	77,4460	0,00	6,2499	6,5786	
		$\beta_1$	-5,6157	0,3931	-14,2852	0,00	-6,3959	-4,8355	
24		$\beta_0$	5,8438	0,0429	136,3140	0,00	5,7588	5,9289	
		$\beta_1$	-4,5603	0,1994	-22,8738	0,00	-4,9560	-4,1646	
3,0x2,0		02	$\beta_0$	5,9259	0,0772	76,7720	0,00	5,7726	6,0791
			$\beta_1$	-3,6330	0,3542	-10,2583	0,00	-4,3362	-2,9298
	04	$\beta_0$	6,0848	0,0673	90,4713	0,00	5,9513	6,2183	
		$\beta_1$	-4,5162	0,3125	-14,4513	0,00	-5,1364	-3,8959	
	05	$\beta_0$	6,1495	0,0702	87,6534	0,00	6,0102	6,2887	
		$\beta_1$	-4,0394	0,3229	-12,5079	0,00	-4,6803	-3,3984	
	07	$\beta_0$	6,2164	0,0685	90,7892	0,00	6,0805	6,3523	
		$\beta_1$	-5,4412	0,3239	-16,7987	0,00	-6,0841	-4,7984	
	24	$\beta_0$	5,8994	0,0538	109,6136	0,00	5,7924	6,0063	
		$\beta_1$	-5,2443	0,2451	-21,3995	0,00	-5,7313	-4,7573	

Tabela 16 - Equações para estimar volume sem casca em função da idade de 2 a 7 anos, para os clones 02, 04, 05 07 e 24, nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m

$$V_{sc} = e^{\beta_0 + \beta_1 V_{sc}^{-1}}$$

Espaçamento (m)	Clone	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p-valor	Lim. Inf.	Lim. Sup.	
3,0x1,0	02	$\beta_0$	5,8661	0,0601	97,5298	0,00	5,7468	5,9855	
		$\beta_1$	-3,7067	0,2751	-13,4758	0,00	-4,2526	-3,1608	
	04	$\beta_0$	6,2436	0,0499	125,1844	0,00	6,1446	6,3426	
		$\beta_1$	-4,4316	0,2314	-19,1543	0,00	-4,8908	-3,9724	
	05	$\beta_0$	6,0235	0,0485	124,2593	0,00	5,9273	6,1197	
		$\beta_1$	-3,5659	0,2211	-16,1303	0,00	-4,0046	-3,1271	
	07	$\beta_0$	6,2597	0,0611	102,4342	0,00	6,1384	6,3810	
		$\beta_1$	-4,7675	0,2853	-16,7078	0,00	-5,3339	-4,2012	
	24	$\beta_0$	5,9883	0,0594	100,8922	0,00	5,8705	6,1062	
		$\beta_1$	-4,6624	0,2766	-16,8581	0,00	-5,2113	-4,1135	
	3,0x1,5	02	$\beta_0$	6,0045	0,0588	102,1633	0,00	5,8879	6,1212
			$\beta_1$	-4,4272	0,2726	-16,2396	0,00	-4,9683	-3,8861
04		$\beta_0$	6,0995	0,0577	105,7535	0,00	5,9851	6,2140	
		$\beta_1$	-4,3331	0,2670	-16,2267	0,00	-4,8631	-3,8031	
05		$\beta_0$	6,1762	0,0606	101,9505	0,00	6,0560	6,2964	
		$\beta_1$	-4,3425	0,2805	-15,4793	0,00	-4,8992	-3,7857	
07		$\beta_0$	6,3705	0,0845	75,3972	0,00	6,2028	6,5382	
		$\beta_1$	-5,7133	0,4018	-14,2197	0,00	-6,5108	-4,9159	
24		$\beta_0$	5,7924	0,0439	132,0264	0,00	5,7053	5,8795	
		$\beta_1$	-4,6574	0,2044	-22,7832	0,00	-5,0631	-4,2517	
3,0x2,0		02	$\beta_0$	5,8825	0,0782	75,2714	0,00	5,7273	6,0377
			$\beta_1$	-3,7046	0,3591	-10,3170	0,00	-4,4176	-2,9917
	04	$\beta_0$	6,0446	0,0681	88,7857	0,00	5,9095	6,1797	
		$\beta_1$	-4,5976	0,3168	-14,5106	0,00	-5,2264	-3,9687	
	05	$\beta_0$	6,1076	0,0711	85,9331	0,00	5,9665	6,2487	
		$\beta_1$	-4,1040	0,3276	-12,5281	0,00	-4,7542	-3,4539	
	07	$\beta_0$	6,1750	0,0696	88,7157	0,00	6,0368	6,3131	
		$\beta_1$	-5,5385	0,3299	-16,7894	0,00	-6,1932	-4,8838	
	24	$\beta_0$	5,8526	0,0546	107,2869	0,00	5,7442	5,9610	
		$\beta_1$	-5,3312	0,2488	-21,4288	0,00	-5,8256	-4,8368	

Tabela 17- Tabela de produção para os genótipos 02, 04, 05, 07 e 24; nos espaçamentos 3,0x1,0; 3,0x1,5 e 3,0x2,0 m; nas idades de 2 a 7 anos de idade

<b>Genótipo</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>V<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>casca</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	
<b>02</b>	<b>3,0x1,0</b>	2	61,32	55,30	9,81	30,66	27,65	
		3	111,97	102,57	8,39	37,32	34,19	
		4	151,31	139,70	7,68	37,83	34,92	
		5	181,28	168,14	7,24	36,26	33,63	
		6	204,48	190,25	6,96	34,08	31,71	
		7	222,85	207,81	6,75	31,84	29,69	
		<b>3,0x1,5</b>	2	48,51	44,30	8,68	24,25	22,15
	3		99,97	92,65	7,33	33,32	30,88	
	4		143,52	133,98	6,65	35,88	33,50	
	5		178,30	167,18	6,23	35,66	33,44	
	6		206,04	193,77	5,96	34,34	32,29	
	7		228,47	215,31	5,76	32,64	30,76	
	<b>3,0x2,0</b>		2	60,91	56,27	7,61	30,45	28,14
		3	111,59	104,34	6,50	37,20	34,78	
		4	151,05	142,08	5,94	37,76	35,52	
		5	181,14	170,99	5,60	36,23	34,20	
		6	204,46	193,46	5,38	34,08	32,24	
		7	222,93	211,30	5,22	31,85	30,19	
		<b>04</b>	<b>3,0x1,0</b>	2	61,55	56,14	8,80	30,78
	3			127,10	117,49	7,56	42,37	39,16
	4			182,64	169,98	6,93	45,66	42,49
5	227,02			212,14	6,55	45,40	42,43	
6	262,44			245,91	6,30	43,74	40,99	
7	291,08			273,28	6,12	41,58	39,04	

Continua...

Tabela 17- Continuação...

Genótipo	Espaçamento (m)	Idade (anos)	V <sub>cc</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	V <sub>sc</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	V <sub>casca</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA <sub>cc</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	IMA <sub>sc</sub> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	
04	3,0x1,5	2	55,44	51,06	7,90	27,72	25,53	
		3	112,82	105,13	6,82	37,61	35,04	
		4	160,95	150,84	6,28	40,24	37,71	
		5	199,19	187,34	5,95	39,84	37,47	
		6	229,61	216,45	5,73	38,27	36,07	
		7	254,14	239,97	5,58	36,31	34,28	
		3,0x2,0	2	45,91	42,34	7,77	22,96	21,17
	3		97,46	91,11	6,51	32,49	30,37	
	4		141,99	133,65	5,88	35,50	33,41	
	5		177,96	168,19	5,49	35,59	33,64	
	6		206,87	196,04	5,24	34,48	32,67	
	7		230,36	218,72	5,05	32,91	31,25	
	05		3,0x1,0	2	76,34	69,44	9,03	38,17
		3		136,20	125,82	7,62	45,40	41,94
4		181,92		169,36	6,91	45,48	42,34	
5		216,43		202,41	6,48	43,29	40,48	
6		243,00		227,96	6,19	40,50	37,99	
7		263,95		248,16	5,98	37,71	35,45	
3,0x1,5		2		59,77	54,87	8,19	29,88	27,44
		3	121,55	113,15	6,91	40,52	37,72	
		4	173,33	162,49	6,26	43,33	40,62	
		5	214,47	201,89	5,86	42,89	40,38	
		6	247,18	233,33	5,60	41,20	38,89	
		7	273,56	258,75	5,41	39,08	36,96	

Continua...



Tabela 17- Continuação...

<b>Genótipo</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>V<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>casca</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>05</b>	<b>3,0x2,0</b>	2	62,16	57,72	7,15	31,08	28,86
		3	121,88	114,39	6,14	40,63	38,13
		4	170,65	161,03	5,64	42,66	40,26
		5	208,84	197,71	5,33	41,77	39,54
		6	238,94	226,70	5,13	39,82	37,78
		7	263,07	249,97	4,98	37,58	35,71
		<b>07</b>	<b>3,0x1,0</b>	2	53,61	48,23	10,04
3	116,34			106,76	8,24	38,78	35,59
4	171,38			158,83	7,32	42,84	39,71
5	216,22			201,59	6,77	43,24	40,32
6	252,45			236,31	6,40	42,08	39,38
7	282,00			264,71	6,13	40,29	37,82
<b>3,0x1,5</b>	2			36,83	33,58	8,84	18,42
	3		93,91	87,02	7,34	31,30	29,01
	4		149,95	140,08	6,58	37,49	35,02
	5		198,56	186,40	6,13	39,71	37,28
	6		239,44	225,50	5,82	39,91	37,58
	7		273,69	258,36	5,60	39,10	36,91
	<b>3,0x2,0</b>		2	32,98	30,14	8,61	16,49
3			81,67	75,85	7,12	27,22	25,28
4		128,52	120,34	6,36	32,13	30,09	
5		168,70	158,74	5,91	33,74	31,75	
6		202,25	190,92	5,60	33,71	31,82	
7		230,22	217,84	5,38	32,89	31,12	

Continua...

Tabela 17- Continuação...

<b>Genótipo</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>V<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>V<sub>casca</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>cc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA<sub>sc</sub> (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>24</b>	<b>3,0x1,0</b>	2	43,24	38,75	10,37	21,62	19,38
		3	92,34	84,29	8,73	30,78	28,10
		4	134,96	124,31	7,89	33,74	31,08
		5	169,46	156,94	7,39	33,89	31,39
		6	197,23	183,33	7,05	32,87	30,55
		7	219,82	204,85	6,81	31,40	29,26
		<b>3,0x1,5</b>	2	35,29	31,94	9,51	17,65
	3		75,47	69,41	8,04	25,16	23,14
	4		110,36	102,32	7,29	27,59	25,58
	5		138,63	129,15	6,84	27,73	25,83
	6		161,38	150,84	6,54	26,90	25,14
	7		179,89	168,52	6,32	25,70	24,07
	<b>3,0x2,0</b>		2	26,50	24,22	8,63	13,25
		3	63,51	58,88	7,29	21,17	19,63
		4	98,33	91,82	6,62	24,58	22,95
		5	127,81	119,86	6,21	25,56	23,97
		6	152,22	143,17	5,94	25,37	23,86
		7	172,46	162,55	5,75	24,64	23,22