

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E  
MUCURI – UFVJM

PAULO HENRIQUE RODRIGUES DOS SANTOS

**BENCHMARK: FERTILIZAÇÃO DE PLANTIOS DE EUCALIPTO EM MINAS  
GERAIS**

DIAMANTINA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2014

**PAULO HENRIQUE RODRIGUES DOS SANTOS**

**BENCHMARK: FERTILIZAÇÃO DE PLANTIOS DE EUCALIPTO EM MINAS  
GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Dr. Reynaldo Campos Santana**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira**

**DIAMANTINA**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

**2014**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecária Nathália Machado Laponez Maia – CRB6/3002

S237b Santos, Paulo Henrique Rodrigues dos.  
2014 Benchmark : fertilização de plantios de eucalipto em Minas Gerais / Paulo Henrique Rodrigues dos Santos. – 2014.  
80 p. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Reynaldo Campos Santana  
Coorientador: Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2014.

1. Adubação. 2. Nutrientes. 3. Crescimento. 4. Espaçamento.  
5. Avaliação econômica. I. Santana, Reynaldo Campos. II. Oliveira, Marcio Leles Romarco. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. IV. Título.

**CDD 631.8**

**BENCHMARK: FERTILIZAÇÃO DE PLANTIOS DE EUCALIPTO  
EM MINAS GERAIS**

**PAULO HENRIQUE RODRIGUES DOS SANTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

APROVADO EM 20 / 02 / 2014

Prof. Dra. Glauciana da Mata Ataíde - IFSEMG

Prof. Dra. Miranda Titon - UFVJM

Prof. Dr. Sidney Araujo Cordeiro - UFVJM

Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira - UFVJM  
Presidente

**DIAMANTINA**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

**2014**

À Deus, sobretudo pelo dom da vida. À minha família, especialmente aos meus pais José e Rita, pelo amor, apoio e ensinamentos para a realização dos meus sonhos. À minha irmã Tauana pela sua presença nos momentos mais importantes durante minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde e determinação na realização deste trabalho, e por guiar-me durante toda a vida.

À minha família, José (pai), Rita (mãe), Tauana (irmã) e a Miguel (afilhado), por todo amor e apoio, fundamentais na estruturação da minha vida. Amo vocês.

Ao professor Reynaldo Campos Santana, pela dedicação na orientação deste trabalho, pela amizade e, acima de tudo, pela grande influência e referência pessoal e profissional.

Ao professor Marcio pela amizade, pelos valiosos questionamentos e pelas grandes contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

A Estlanguela que me acompanhou por todos esses anos de vida acadêmica. Muito obrigado.

Aos meus colegas pelos laços de amizade e por todos os momentos de harmonia e dedicação, que nos tornaram uma grande família.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri por toda assistência e paciência.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

À Gerdau pelo apoio a pesquisa.

Ao Francisco Sérgio Gomes e toda a equipe responsável pela instalação do experimento, propiciando o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial, ficam meus agradecimentos a Luiz David e Luiz Felipe, pelo importante auxílio na elaboração deste trabalho.

Ao Grupo de Estudos em Mensuração e Manejo Florestal – GEMMF e a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

À bela Diamantina, por me acolher tão bem durante todos esses anos, meus sinceros agradecimentos.

## **BIOGRAFIA**

PAULO HENRIQUE RODRIGUES DOS SANTOS, filho de José Rodrigues dos Santos Filho e Rita Maria Meira, nasceu em 26 de maio de 1988, em Diamantina – MG.

Em 2006, concluiu o curso de Técnico em Agropecuária concomitante ao ensino médio na Universidade Federal de Viçosa – Campus de Florestal.

Em agosto de 2007, iniciou o curso de graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, o qual concluiu em janeiro de 2012.

Em março de 2012, ingressou no Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Em fevereiro de 2014, defendeu a dissertação de mestrado.

“O homem trabalhando em harmonia com a natureza, ela responderá amistosamente, lhe assegurará o sustento, o crédito à vida e a garantia da prole.”

**José Rodrigues dos Santos Filho**

## RESUMO

SANTOS, P. H. R. **Benchmark: fertilização de plantios de eucalipto em Minas Gerais.** 2014. 85 p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2014.

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da fertilização, do arranjo no espaçamento e da idade na produção de biomassa, na qualidade silvicultural e avaliação econômica de um povoamento clonal de eucalipto. Foi instalado um experimento em áreas do grupo Gerdau, no município de Três Marias – MG, utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso com esquema em faixas. Os tratamentos estudados, parcelas convencionais, consistiram de 15 fertilizações comerciais adotadas operacionalmente por empresas florestais, instaladas no estado de Minas Gerais. Nas subparcelas foram testados dois arranjos, 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m. As medições ocorreram aos 12, 24, 27, 36 e 48 meses. A partir das informações coletadas em campo, foram estimados para cada tratamento a biomassa por hectare, índice de área foliar, serrapilheira, além de outras variáveis dendrométricas e de povoamento. Foi realizado o monitoramento da qualidade silvicultural na fase inicial de desenvolvimento da floresta por meio da variável dendrométrica de interesse das 50% menores árvores plantadas (Pvar50%). Realizou-se a avaliação econômica com base na variação no custo da fertilização de cada empresa e venda da madeira aos 48 meses. Verificou-se interação significativa nos valores de altura total e biomassa de tronco aos 12, 24, 36 e 48 meses, para diâmetro médio e área basal aos 12, 24 e 48 meses e biomassa de folha e galho aos 12 e 24 meses. Aos 27 meses apenas diâmetro de copa e teor de clorofila obtiveram interação significativa e aos 36 meses altura total, altura de fuste, diâmetro de copa e teor de clorofila foram significativos à interação entre fertilização e arranjo. À medida que ocorre o desenvolvimento da floresta, o efeito da fertilização vai se tornando menos pronunciado em relação à produção de biomassa. Portanto, além da quantidade aplicada deve-se atentar para a proporção entre os nutrientes aplicados. O crescimento em biomassa de tronco por hectare apresentou relação direta com os teores de clorofila e índices de área foliar. De forma geral, os tratamentos não influenciaram a uniformidade e o Pvar50 se mostrou adequado. O tratamento 1 (2000kg de agrosilício, 400kg de fosfato reativo, 130kg de 04:26:16+0,5%Cu+0,5%Zn e 150kg de KCl+1%B por hectare) no arranjo 3,0 x 3,0 m mostrou-se como a opção mais atrativa segundo os critérios econômicos avaliados, mesmo que ainda não esteja no ciclo final de corte da floresta.

**Palavras chave:** Adubação, Nutrientes, Crescimento, Espaçamento, Avaliação Econômica, Silvicultura.

## ABSTRACT

SANTOS, P. H. R. **Benchmark: fertilization of eucalyptus plantations in Minas Gerais.** 2014. 85 p. (Dissertation – Masters in Forest Science) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2014.

The aim of this work was to study the fertilization effects, the arrangement on the spacing and the age on biomass production in silvicultural quality and economic evaluation of a clonal eucalyptus plantation. The experiment was conducted in Gerdau Group's area, in Três Marias - MG, using the experimental design randomised complete block with strip scheme. The treatments, which were studied, conventional commercial fertilization adopted operationally by 15 forestry companies, located in the Minas Gerais state. In the subplots two arrangements were tested, 3.0 x 3.0 m and 6.0 x 1.5 m. The measurements were performed at 12, 24, 27, 36 and 48 months. From the information collected in the field, were estimated for each treatment per hectare biomass, leaf area index, litterfall, and other variables dendrometric and stand. The monitoring of silvicultural quality was performed at the initial stage of forest development through dendrometric variable interest 50 % smallest trees planted (Pvar50 %). The economic evaluation was conducted based on the variation from fertilization cost of each company and the timber sale at 48 months. Was verified a significant interaction in the values of total height and truck biomass at 12, 24, 36 and 48 months, average diameter and basal area at 12, 24, and 48 months, leaf biomass and branches at 12 and 24 months. On the 27th months only canopy diameter and chlorophyll content had significant interaction and at 36 months total height, bole height, crown diameter and chlorophyll content had significant interaction between fertilization and arrangement. As forest development occurs, the fertilizing effect becomes less pronounced in relation to biomass production. So, besides the amount applied should pay attention to the proportion of the applied nutrients. The increase in truck biomass per hectare showed a direct relationship with the chlorophyll content and leaf area index. In general, the treatments did not affect the uniformity and Pvar50 was adequate. Treatment 1 (agrosilício of 2000kg, 400kg of reactive phosphate, 04:26:16 130kg of Cu +0.5 % +0.5 % Zn and 150 kg KCl +1 % B per hectare) 3.0 x 3.0 meters arrangement proved to be the most attractive option according to economic evaluation criteria, even if it is not already in the final cycle of forest cutting.

**Keywords:** Fertilizer, Nutrients, Growth, Spacing, Economic Evaluation, Forestry.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
2.1. Caracterização da área experimental .....	14
2.2. Histórico de uso da área experimental.....	15
2.3. Delineamento experimental e tratamentos .....	15
2.4. Caracterização do material genético estudado.....	18
2.5. Descrição das práticas silviculturais .....	19
2.6. Mensuração e equações .....	19
2.7. Variáveis de crescimento e ecofisiológicas .....	20
2.8. Análises estatísticas .....	21
2.8.1. Índice de uniformidade (Pvar 50%) e padronização do Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU).....	21
2.9. Análise econômica.....	22
2.9.1. Custos e receitas envolvidos.....	22
2.9.2. Critérios econômicos de avaliação .....	25
2.9.3. Taxa de juros e análise de sensibilidade .....	28
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
3.1. Estimativa da produção de biomassa.....	29
3.2. Efeito da fertilização e do arranjo sobre variáveis do povoamento.....	41
3.3. Índice de Uniformidade (Pvar 50%) e determinação do Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU).....	49
3.4. Análise econômica.....	52
3.4.1. Análise de sensibilidade .....	55
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas o setor florestal brasileiro desenvolveu técnicas inovadoras no que diz respeito ao aumento da produtividade de florestas plantadas, associadas à qualidade, colocando o país como um dos maiores detentores de tecnologia aplicada ao setor. Os ganhos de produtividade em povoamentos florestais são dependentes de adequado manejo silvicultural, para que o material genético possa expressar o seu potencial de crescimento nas condições edafoclimáticas locais. Esse manejo compreende uma série de práticas ou de técnicas, que visam, direta ou indiretamente, aumentar a disponibilidade e/ou a eficiência de uso dos recursos água e nutrientes para as plantas, de modo a alcançar a capacidade produtiva do sítio florestal.

A sustentabilidade técnica e econômica da produção florestal é uma preocupação constante das empresas florestais. Desde a década de 70 as empresas se organizam em programas cooperativos e realizam investimentos conjuntos com universidades e centros de pesquisas para obter respostas sobre quanto é possível produzir utilizando um determinado sistema de manejo.

Por apresentar maior parte de sua área na região dos trópicos, temperatura e radiação não são limitantes ao crescimento florestal no Brasil. Portanto, os fatores que determinam a produtividade são, sobretudo, água e nutrientes (BARROS e COMERFORD, 2002). Ainda sendo considerada uma essência florestal eficiente quanto ao uso da água e de nutrientes, especialmente em solos de baixa fertilidade natural, como os de cerrado, elevados ganhos de produtividade de *Eucalyptus* têm sido obtidos pelo emprego de fertilizantes (BARROS e NOVAIS, 1996; BARROS et al., 2005). Contudo, em alguns casos foi verificado que a aplicação de doses elevadas de nutrientes não resultam em aumento no crescimento dos eucaliptos, visto que fatores ambientais, tais como a menor disponibilidade de água no solo, devido à competição entre as árvores do povoamento, tornam-se um fator limitante ao crescimento (STAPE et al., 2008).

O emprego de fertilizantes modifica o crescimento das árvores, a ciclagem e os estoques dos nutrientes na biomassa arbórea, no sub-bosque e no solo (MELLO et al., 1970; ANDRADE et al., 1994; GUEDES e POGGIANI, 2003; SANTANA, 2008). A magnitude da resposta ao se aplicar fertilizantes varia em função da qualidade do sítio, material genético, tipo e época de preparo do solo, competição com plantas não desejáveis, histórico de uso da

área, aspectos relacionados à técnica de adubação, espaçamento, controle de pragas, entre outros.

Nas duas últimas décadas, muitas informações foram geradas sobre a avaliação do estado nutricional e sobre recomendações de nutrientes e potencial produtivo para plantios de eucalipto em diferentes regiões do país (BARROS e NOVAIS, 1990; RIBEIRO et al., 1999; GONÇALVES e BENEDETTI, 2000; CANTARUTTI et al., 2007). Entretanto, muitas dúvidas ainda existem sobre quantidades, fontes, épocas e modos de aplicação dos fertilizantes para maximizar a absorção dos mesmos pelas plantas. Por esta razão, é comum observar trabalhos na literatura onde grandes empreendedores utilizam diferentes recomendações de fertilização em áreas semelhantes, apesar de nem sempre ocorrerem compatíveis ganhos de produtividade onde se aplicam maiores quantidades de nutrientes (STAPE et al., 2008 e 2010).

Para melhor compreender o potencial de resposta à fertilização, deve-se compreender o crescimento florestal, que é influenciado pelas operações desde o pré-plantio até a colheita. Depois de plantada, a muda inicia um processo de adaptação e crescimento e é essencial que se assegure o adequado suprimento de água e nutrientes de forma satisfatória. Na fase inicial o elemento que se deve dar especial atenção é o fósforo (P), pois ele é um dos nutrientes mais limitantes do crescimento vegetal (NOVAIS et al., 1990). Além do fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre e zinco podem ser recomendados para se obter adequada produtividade nos plantios de eucalipto.

Apesar de ter literaturas que recomendam fertilizações para o eucalipto (BARROS e NOVAIS, 1990; GONÇALVES, 1995; NOVAIS e SMYTH, 1999; RIBEIRO et al., 1999; GONÇALVES, 2000; CANTARUTTI et al., 2007; FONSECA et al., 2007) não existe consenso nas recomendações realizadas por grandes empresas florestais e nem pelos técnicos. Além de alterar a produção, é essencial que as fertilizações aplicadas possuam adequada viabilidade econômica. Ao analisar as recomendações técnicas utilizadas por empresas florestais que utilizam as melhores tecnologias disponíveis para fertilização, grandes variações são observadas nas quantidades, produtos, época de aplicação e localização do fertilizante e/ou corretivo aplicado. Tais discrepâncias implicam em custos por hectare que variam em mais de 100% para uma floresta conduzida por sete anos visando uma produção de 280 m<sup>3</sup> de madeira. Estas diferenças são marcantes, como podem ser observadas nos trabalhos de Alves (2011), Ferreira e Stape (2013) e Silva et al (2013).

Diante do significativo incremento em crescimento com a utilização de fertilizantes, diversos autores têm demonstrado que, considerando os materiais genéticos atuais, ainda há espaço para ganho de produtividade por meio de melhorias nas técnicas silviculturais empregadas. Dessa forma, um sistema de monitoramento que permita identificar a qualidade das recomendações e do desempenho das operações silviculturais no tempo mostra-se essencial para que o atual patamar de produtividade do *Eucalyptus* seja mantido ou elevado. Esta qualidade pode ser analisada por meio de diferentes índices (HAKAMADA, 2012), entre eles a porcentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse das 50% menores árvores plantadas (Pvar50%) proposto por Stape, Rocha e Donatti (2006).

O espaçamento entre plantas ou o arranjo espacial em que essas se encontram é o fator que pode limitar a quantidade de recursos que estarão disponíveis por planta, em uma sequência espacial e temporal. Assim sendo, o espaçamento ou o arranjo espacial tem uma série de implicações silviculturais, tecnológicas e econômicas na elaboração de projetos florestais (COUTO et al., 2002).

As técnicas de manejo empregadas em um povoamento florestal, em função dos objetivos de produção, são consideradas um dos maiores desafios enfrentados por um profissional da gestão de povoamentos florestais. Assim, a aplicação de técnicas de análise econômica se torna de fundamental importância para subsidiar as decisões dos melhores projetos, bem como as alternativas de manejo a serem tomadas.

A fertilização como uma alternativa de manejo de suma importância, deve ainda ser realizada visando à produtividade máxima do sítio na idade de corte, com o mínimo de investimento e sem causar impactos negativos ao meio ambiente. Como os custos de fertilizantes implicam em grandes variações nos preços por hectare, as produtividades por hectare também serão diferentes, provocando retornos econômicos distintos. A análise econômica é um passo importante na definição da estratégia mais adequada em relação à fertilização a ser adotada em determinado projeto florestal. Dessa forma, a análise econômica representa uma das principais ferramentas de decisão em planos de manejo florestal.

Com o intuito de avaliar projetos florestais, Rezende e Oliveira (2008), recomendam utilizar critérios econômicos que considerem a variação do capital no tempo, como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Razão Benefício/Custo (B/C) e Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE). Como cada critério fornece informações específicas, deve-se realizar uma análise multicritério para se obter uma melhor avaliação dos

projetos (SILVA e FONTES, 2005). O uso de um ou mais destes critérios é amplamente utilizado na avaliação de projetos florestais como observado nos trabalhos de Oliveira et al. (1998), Silva et al. (2005), Resende e Oliveira (2008), Vitale e Miranda (2010), Castro et al. (2011), Melido (2012) e Souza et al. (2012).

Assim, o benchmark consiste em avaliar produtos, serviços e/ou práticas empresariais, e é um importante instrumento de gestão das empresas, podendo ser realizado por meio de pesquisas para comparar as ações de cada organização. No caso específico deste estudo, pauta-se na avaliação do efeito de fertilizações comerciais utilizadas por empresas que atuam no estado de Minas Gerais sobre a produção do eucalipto e sua viabilidade econômica.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar os efeitos da fertilização, do arranjo no espaçamento e da idade na produção de biomassa, na qualidade silvicultural e na avaliação econômica de um povoamento clonal de eucalipto.

Os objetivos específicos foram: a) estimar a biomassa seca dos diferentes componentes das árvores por hectare em função da fertilização, do arranjo no espaçamento e da idade; b) avaliar o efeito da fertilização, do arranjo no espaçamento e da idade sobre as variáveis dendrométricas e ecofisiológicas do povoamento; c) avaliar o efeito de um índice de uniformidade (Pvar50%) na qualidade silvicultural do povoamento; d) realizar análise econômica para cada fertilização utilizada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental

O estudo foi implantado em julho de 2009, na fazenda Cabana Santa Bárbara (latitude 18°15'37" sul e longitude 45°04'57" oeste), grupo Gerdau em Três Marias - MG. O clima predominante na região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos), com temperatura média anual entre 19,8 e 25,3 °C e precipitação média anual variando de 1.200 a 1.500 mm (QUEIROZ et al.,1980). A precipitação durante o período de crescimento do povoamento em estudo de 2008 a 2013 é apresentada na figura 1.

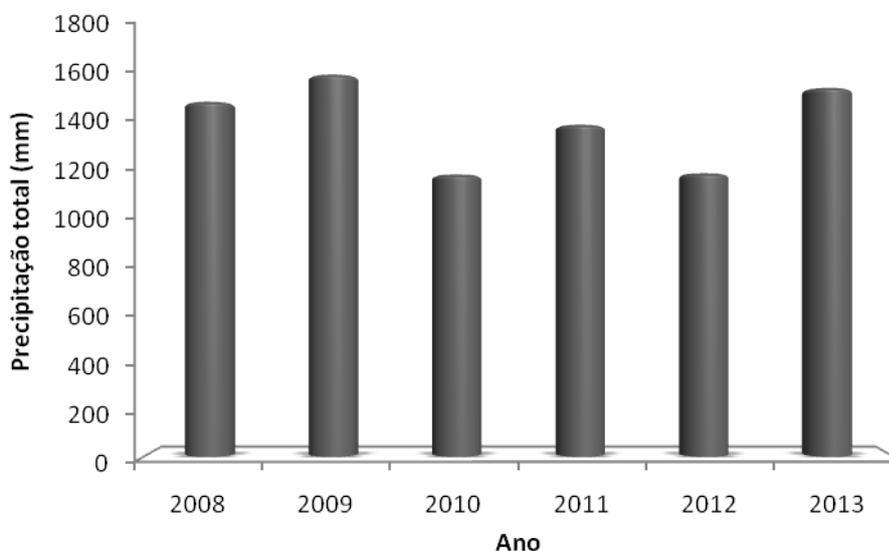


Figura 1 - Precipitação anual na área do experimento entre 2008 e 2013.

Fonte: Gerdau, 2013.

Efetuuou-se a análise química e física do solo, antes da implantação dos tratamentos, em junho de 2009 (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados das análises química e física do solo antes da implantação do experimento

Prof. (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	A	S	Arg
		mg.dm <sup>-3</sup>			cmolc.dm <sup>-3</sup>			%			
0-20	4,68	0,87	16,15	0,18	0,09	0,50	3,30	1,53	77,8	10,2	12,0
20-40	4,62	0,53	11,19	0,09	0,05	0,47	3,14	1,20	80,0	4,0	16,0

0-20, 20-40: profundidade das amostras em centímetros.

M.O: Matéria orgânica; A: Areia; S: Silte; Arg: Argila

Extratores: M.O.: Oxi-Red.; pH em água – Relação 1:2,5; P, K: Mehlich I; Al, Ca, Mg: KCl; H+Al: Tampão SMP.

## 2.2. Histórico de uso da área experimental

O experimento foi instalado em uma área cuja vegetação natural era de cerrado sobre latossolo vermelho amarelo de textura média com relevo suave. Em 1995 foi realizada a limpeza de área e implantado *Eucalyptus urophylla* sob cultivo mínimo. Aplicou-se 475 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato Araxá, 244 kg.ha<sup>-1</sup> de gesso, 98 kg.ha<sup>-1</sup> de Magnesita em pré-plantio e no plantio foi utilizado 120 kg.ha<sup>-1</sup> de 05-26-05 + 0,5% B + 0,5% Zn e em cobertura 360 kg.ha<sup>-1</sup> de 14-00-28 + 0,5% B + 0,5% Zn. Após duas rotações com *Eucalyptus urophylla*, em 2008 foi realizada a colheita.

## 2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi implantado em delineamento em blocos ao acaso. Foram instalados quatro blocos, adotando o esquema em faixas. Estas possuíam dimensões de 36,0 x 84,0 m. Os tratamentos estudados, parcelas convencionais, consistiram de 15 fertilizações comerciais (Tabela 2) adotadas operacionalmente por empresas florestais de grande porte, instaladas no estado de Minas Gerais, que produzem carvão ou celulose. Nas subparcelas foram testados dois arranjos de espaçamento, 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m. As subparcelas possuíam uma área de 1512 m<sup>2</sup> (36,0 x 42,0 m). Oitenta árvores centrais foram mensuradas por tratamento, considerando uma bordadura de seis metros entre subparcelas (Figura 2). Além dos 15 tratamentos, uma parcela controle sem aplicação de qualquer fertilizante no espaçamento de 3,0 x 3,0 m foi instalada em uma área limítrofe ao experimento, portanto, não fazendo parte das faixas experimentais. Não foi instalada uma parcela controle no espaçamento 6,0 x 1,5 m, pelo fato deste não ser um tratamento operacional adotado pela empresa.

Tabela 2 - Fertilização comercial adotada por tratamento, época de aplicação (E.A) e quantidade por hectare do produto utilizado

Produto	E.A	kg.ha <sup>-1</sup> .Tratamento <sup>-1</sup>														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Agrossilício	1	2000	-	-	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcário Agrimag	1	-	1500	1500	-	-	-	-	-	-	-	2000	500	-	2000	1500
Calcário Rima	1	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	-	-	-	-	1500	-	-
Pré Cal	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	420	-	-	-	-	-
Gesso	1	-	1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	-
Pó de Balão	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20000	-	-	-	-	-
-----																
Fosfato Reativo	2	400	-	300	400	450	-	-	-	-	-	-	400	-	-	610
SPS+0,5%B+0,5%Cu+0,5%Zn	2	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Basifós	2	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Araxá	2	-	-	-	-	-	-	650	-	-	-	-	-	-	-	-
03:19/30:01+0,3%B+0,25%Zn+0,25%Cu+6,6%S	2	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-
03:19/30:00+0,3%B+0,25%Zn+0,25%Cu+6,6%S+1%Mg	2	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-
04:18/30:04+0,2%Zn+0,25%B+0,2%Cu	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	390	-	-	-	-
Super Fosfato Triplo	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	170	-	-
Super Fosfato Simples	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-
-----																
04:26:16+0,5%Cu+0,5%Zn	3	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:30:06+0,5%B+0,5%Zn	3	-	150	-	-	100	-	100	-	-	100	-	-	-	-	-
06:30:12	3	-	-	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:30:06+0,5%B+0,5%Zn+0,5%Cu	3	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:30:06+1%B+1%Zn+1%Cu	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140	-	-	-
04:28:10	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-
06:30:06+0,2%B+1%Zn+1%Cu	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-
10:28:06+1%B	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150

Continua...

Tabela 2 - Continuação...

Produto	E.A	kg.ha <sup>-1</sup> .Tratamento <sup>-1</sup>														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
KCl+1%B	4	150	-	-	-	150	150	150	150	-	175	-	-	-	-	-
20:05:20	4	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-
08:00:32+0,7%B	4	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KCl+1,2%B+1%Zn+0,5%Cu	4	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:00:38+16%Mg+0,7%B	4	-	-	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-	-	-	-
15:00:30	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	170	-	-	-	-
KCl	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-
15:00:15+0,5%B	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-
20:00:20+2%B	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
-----																
KCl+1%B	5	-	-	-	-	150	150	150	150	-	-	220	-	-	-	-
KCl	5	-	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-
KCl+1,2%B+1%Zn+0,5%Cu	5	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:05:20	5	-	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:00:38+16%Mg+0,7%B	5	-	-	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-	-	-	-
18:00:18	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350
-----																
Boro (forma líquida)	6	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Borax	6	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre e Borogran	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 e 24	-	-	-	-	-
Borogran	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	25	-	30
15:00:30	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400

E.A 1: 0,5 mês antes do plantio; 2: 0,25 mês antes do plantio; 3: plantio; 4: 4 meses após o plantio; 5: 16 meses após o plantio e 6: 28 meses após o plantio.

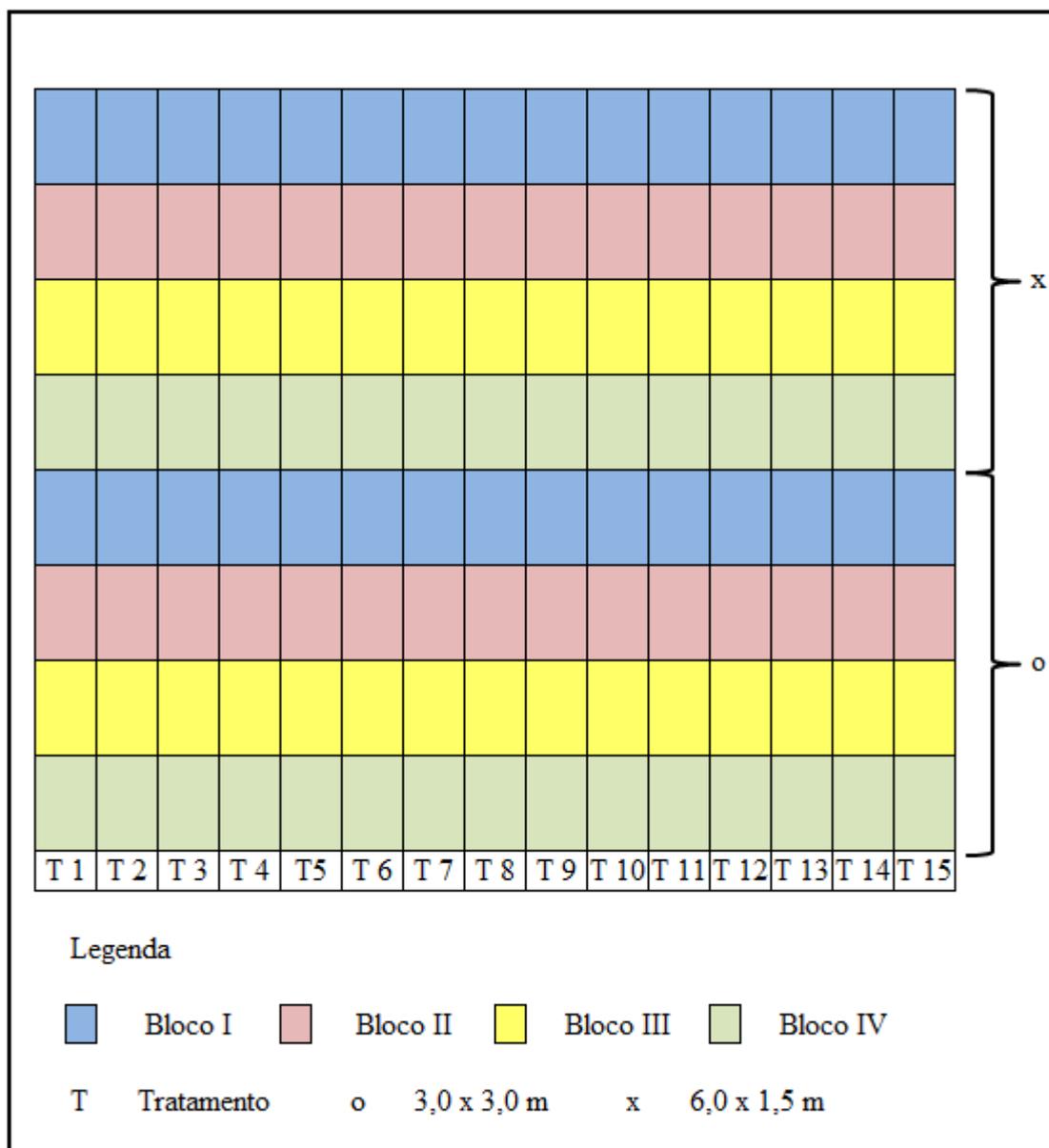


Figura 2 - Distribuição das parcelas na área experimental.

#### 2.4. Caracterização do material genético estudado

No estudo foi utilizado o clone 100, amplamente plantado no estado de Minas Gerais devido à boa adaptação do mesmo às diferentes condições edafoclimáticas.

O clone foi obtido por seleção massal em plantios feitos na região de Três Marias - MG, com sementes oriundas de uma APS (Área de Produção de Sementes) de *E. urophylla*, situada na região de Itamarandiba - MG, adquiridas da Aperam (ex Acesita). O clone é, portanto, um híbrido espontâneo entre as espécies *E. urophylla* e *E. grandis*. Nos plantios realizados pela empresa Gerdau foram identificados indivíduos com expressiva superioridade em crescimento, os quais foram clonados e estabelecidos em testes clonais pela empresa. A

partir dos testes o clone foi estabelecido e plantado comercialmente nas áreas da empresa. Em seguida, esse clone foi difundido para outras regiões do país, devido à sua plasticidade e boa resistência à seca (MELIDO, 2012). Os dados silviculturais e de qualidade da madeira do clone 100 são apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Dados silviculturais disponíveis do clone 100

Clone	Idade (meses)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/ano)	Resistência	
			Fatores abióticos	Fatores bióticos
100	84	42	seca	Ceratocystis

Fonte: adaptado de Melido (2012).

Tabela 4 - Dados da qualidade da madeira do clone 100

Clone	Idade (meses)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	IMA Peso (Mg/ha/ano)
100	84	510	21,4

Fonte: adaptado de Melido (2012).

## 2.5. Descrição das práticas silviculturais

As práticas silviculturais realizadas na instalação do experimento foram: controle às formigas cortadeiras, aplicação da adubação de pré-plantio segundo a época de aplicação um (Tabela 2), em faixa, de forma manual para maior controle da aplicação; preparo do solo realizado com subsolador (até 40 cm de profundidade) junto com a adubação (fosfatagem) pré-plantio segundo a época de aplicação dois; plantio das mudas juntamente com a adubação de plantio (época de aplicação três); demarcação das parcelas experimentais e controle da matocompetição conforme necessidade. Em seguida foi realizada a aplicação das adubações pós-plantio (épocas de aplicação quatro, cinco e seis), (Tabela 2).

A aplicação da adubação de plantio foi realizada de forma manual a 20 cm da muda a uma profundidade de 10 cm, dividida em duas partes e distribuída a cada lado diametralmente oposta. As adubações após o plantio foram realizadas de maneira manual na projeção da copa em filete contínuo e em superfície.

## 2.6. Mensuração e equações

Em cada unidade experimental mediu-se, aos 12, 24, 36 e 48 meses, o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (*Dap*, em cm com suta) e a altura total (*Ht*, em m com clinômetro), de todas as árvores.

A biomassa de tronco, folha e galho das árvores foi estimada aos 12, 24, 36 e 48 meses, utilizando equações pré-estabelecidas pela Gerda, específicas para o material genético e local de estudo, com idades similares à do povoamento estudado. A saber:

$$Biomassa_{tronco} = 0,000002 * Dap^{1,994157} * Ht^{1,692833}, \text{ com } r = 0,98; \quad (\text{Equação 1.})$$

$$Biomassa_{folha} = 0,000896 * Dap^{1,491727} * Ht^{-0,755296}, \text{ com } r = 0,91; \quad (\text{Equação 2.})$$

$$Biomassa_{galho} = 0,000771 * Dap^{1,267791} * Ht^{-0,504673}, \text{ com } r = 0,91, \quad (\text{Equação 3.})$$

em que:

*Biomassa* = biomassa do componente arbóreo, em megagrama.árvore<sup>-1</sup> (Mg.árv<sup>-1</sup>).

*Dap* = diâmetro a 1,3 metros de altura do solo, em centímetros;

*Ht* = altura total, em metros;

## 2.7. Variáveis de crescimento e ecofisiológicas

Na idade de 27 e 36 meses foram selecionadas oito árvores amostra por tratamento por meio do diâmetro médio quadrático (CURTIS e MARSHALL, 2000) fornecido pelo inventário, sendo quatro árvores em cada subparcela. Nessas árvores foram mensurados o diâmetro a 1,30 metros de altura em centímetros (*Dap*), altura total em metros (*Ht*), espessura de casca em milímetros (*E*), média do diâmetro de copa (linha e entre linha de plantio) em metros (*D*), a altura do solo até a primeira inserção de galhos em metros (*Hf*) e coletado folhas para o cálculo do índice de área foliar (*IAF*).

A área foliar foi mensurada com o medidor de área foliar (CI-203 CID Inc.) em 10 folhas coletadas no terço médio da copa das árvores amostra, somando 10 unidades por copa. Realizou-se a coleta das folhas a partir da quinta inserção nos galhos, os quais se encontravam no centro do terço. As folhas foram secas a 65 °C até peso constante, em estufa com circulação forçada de ar. O cálculo da área foliar específica (*AFE*) foi realizado empregando a seguinte fórmula:

$$AFE = IAF . MS^{-1} \quad (\text{Equação 4.})$$

em que:

$AFE$  = Área foliar específica, em  $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ;

$IAF$  = índice de área foliar, em  $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ ;

$MS$  = massa seca.

O  $IAF$  em cada tratamento foi estimado em função da biomassa fornecida por meio da equação dois.

Aos 27 e 36 meses foi medido o teor de clorofila com um clorofilômetro (ClorofiLOG® CFL 1030) em quatro folhas de cada árvore amostra, sendo as medições realizadas na base e no ápice de cada folha.

As amostras de serrapilheira acumuladas sobre o solo foram coletadas aos 36 meses, em oito pontos de cada tratamento (em cada extremidade e no centro da parcela), sendo quatro amostras em cada subparcela, em uma área de  $0,25 \text{ m}^2$ , delimitada por um gabarito de  $0,50 \times 0,50 \text{ m}$ .

## **2.8. Análises estatísticas**

Com o intuito de verificar a existência de diferenças estatísticas entre os tratamentos foram feitas análises de variância. Quando constatado diferenças significativas entre tratamentos, empregou-se o teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade. Para o tratamento adicional no arranjo  $3,0 \times 3,0 \text{ m}$ , foi aplicado o teste de Dunnett a 95% de probabilidade, com o intuito de avaliar a biomassa de tronco deste tratamento em relação aos demais.

O processamento dos dados foi realizado com uso dos softwares Sisvar (FERREIRA, 2011) e Statistica 10.0 (STATSOFT, 2007).

### **2.8.1 Índice de uniformidade (Pvar 50%) e padronização do Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU)**

A Porcentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse das 50% menores árvores plantadas ( $Pvar50\%$ ) foi avaliado seguindo a metodologia proposta por Hakamada (2012), ordenando o diâmetro, altura total e a biomassa de tronco das árvores das parcelas aos 12 meses de idade e calculada de acordo com a equação:

$$P \text{ var } 50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} X_{ij}}{\sum_{k=1}^n X_{ij}} \quad (\text{Equação 5.})$$

em que:

$P \text{ var } 50$  = Porcentagem acumulada da variável dendrométrica de interesse das 50% menores árvores plantadas;

$X$ : variável dendrométrica de interesse da parcela  $i$  na idade  $j$ ;

$n$  = número de árvores plantadas ordenadas (do menor para o maior valor)

O índice foi empregado nas parcelas utilizando a estimativa de biomassa de tronco obtida por meio da Equação 1.

Com o intuito de verificar a uniformidade do povoamento, foi utilizado o Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU) para diâmetro, altura total e biomassa das árvores. O cálculo do IOU é expresso pela equação:

$$IOU_{ij} > \overline{x_{ij}} - 1 * s_{ij} \quad (\text{Equação 6.})$$

em que:

$IOU$ : Intervalo Ótimo de Uniformidade da parcela  $i$  na idade  $j$ ;

$\overline{x_{ij}}$  : média da variável dendrométrica da parcela  $i$  na idade  $j$ ;

$s_{ij}$  : desvio padrão da média da variável dendrométrica da parcela  $i$  na idade  $j$ ;

## 2.9. Análise econômica

Cada opção de adubação foi considerada, para fins de análise, como sendo um tratamento. A realização do estudo econômico considerou os custos por hectare de implantação e manutenção até 48 meses.

### 2.9.1. Custos e receitas envolvidos

Os dados de custos e receitas foram avaliados como valores correntes (valores reais no momento de ocorrência dos gastos) e valores corrigidos (valores corrigidos para o momento zero do horizonte de planejamento, de acordo com a taxa de juros adotada).

Os custos de implantação ocorreram todos no ano zero, e os custos de manutenção ocorreram do ano zero até a última coleta de dados, aos 48 meses (Tabela 5). Os custos com fertilizantes e aplicação por tratamento incidiram todos como ocorrendo no ano zero (Tabela 6).

O custo anual da terra não foi considerado neste estudo, haja vista que a finalidade principal do estudo foi a comparação da produção influenciada pelas fertilizações operacionais adotadas por grandes empresas em dois arranjos distintos. Os custos de implantação e manutenção foram extraídos e adaptados de Melido (2012).

Tabela 5 - Custos de implantação e manutenção por hectare da atividade florestal

Ano	Atividade	3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
		Valor (R\$/ha)	
0	Planejamento/Projeto Florestal	7,9	7,9
0	Serviços topográficos/Plantas	7,9	7,9
0	Licenciamentos	5,7	5,7
0	Suporte Técnico	111,1	111,1
0	1° Combate a formigas	61,7	61,7
0	Abertura de estradas e aceiros	31,2	31,2
0	Acabamento de estradas/aceiros	31,2	31,2
0	Encascalhamento carreador (25%)	88,8	88,8
0	2° Combate a formigas	29,2	29,2
0	3° Combate a formigas	22,2	22,2
0	1° aplicação de herbicida (pré-emergente)	352,7	176,3
0	Plantio com plantadeira manual	453,8	453,8
0	Irrigação (4 em 100% da área)	491,1	122,8
0	Abastecimento água p/ irrigação	81,7	81,7
0	4° Combate a formigas	6,2	6,2
0	Replântio (1x)	23,2	23,2
0	2° Aplicação herbicida (pré-emergente)	101,6	50,8
0	Abastecimento água p/herbicida (2x)	12,8	6,4
SubTotal Ano 0		1920,1	1318,2

Continua...

Tabela 5 – Continuação...

Ano	Atividade	3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
		Valor (R\$/ha)	
1	Suporte Técnico	111,1	111,1
1	Capina química manual na linha 2x	250,4	250,4
1	Capina química mec. na entre linha	115,9	-
1	Capina química mec. na entre linha 2x	-	231,8
1	Conservação de aceiros	31,2	31,2
1	Combate a formigas	16,2	16,2
SubTotal Ano 1		524,9	640,8
2	Suporte Técnico	47,6	47,6
2	Conservação de aceiros	31,2	31,2
2	Combate a formigas	16,2	16,2
2	Capina química manual na linha	130,5	130,5
2	Capina química mec. na entre linha	-	115,9
2	Inventário - Avaliação de Crescimento	55,6	55,6
SubTotal Ano 2		281,2	397,1
3	Suporte Técnico	47,6	47,6
3	Conservação de aceiros	31,2	31,2
3	Combate a formigas	16,2	16,2
3	Capina química mec. na entre linha	-	115,9
3	Inventário - Avaliação de Crescimento	55,6	55,6
SubTotal Ano 3		150,7	266,6
4	Suporte Técnico	47,6	47,6
4	Conservação de aceiros	31,2	31,2
4	Combate a formigas	16,2	16,2
4	Capina química mec. na entre linha	-	115,9
4	Inventário - Avaliação de Crescimento	55,6	55,6
SubTotal Ano 4		150,7	266,6

Fonte: adaptado de Melido (2012).

Tabela 6 – Custos com fertilizante e aplicação por tratamento (T)

T	Custo Fertilizante (R\$/ha)	Arranjo	
		3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
		Custo Aplicação (R\$/ha)	
1	950,2	246,9	211,3
2	965,2	349,7	299,3
3	1044,0	390,7	334,4
4	1158,9	349,7	299,3
5	1159,3	328,7	281,4
6	1138,5	287,8	246,3
7	992,2	328,7	281,4
8	979,5	287,8	246,3
9	1181,5	287,8	246,3
10	522,8	453,6	453,6
11	1168,7	287,8	246,3
12	1170,8	308,8	264,3
13	573,3	308,8	264,3
14	1429,7	353,1	302,2
15	1045,7	308,8	264,3

Simulou-se as receitas da venda da madeira aos 48 meses em cada tratamento considerando o valor de R\$ 89,0.Mg<sup>-1</sup> (SOUZA et al., 2012), tomando como base a venda da madeira em pé, sem contemplar, portanto, os custos de colheita.

### 2.9.2 Critérios econômicos de avaliação

Os projetos foram avaliados de acordo com os seguintes critérios de avaliação econômica, com as respectivas considerações de Silva et al. (2005):

Valor Presente Líquido – *VPL*:

O projeto que apresenta *VPL* maior que zero é considerado economicamente viável, e na comparação de projetos é considerado melhor aquele que apresentar o maior *VPL*:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \quad (\text{Equação 7.})$$

em que:

*VPL* = Valor Presente Líquido;

$R_j$  = receita no período  $j$ ;

$C_j$  = custo no período  $j$ ;

$i$  = taxa de juros;

$j$  = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ...  $n$ )

$n$  = número máximo de períodos de duração do projeto.

Taxa Interna de Retorno – *TIR*:

A avaliação com base na *TIR* considera viável o projeto em que ela for maior que a taxa de juros utilizados nos cálculos, e na comparação entre projetos será considerado melhor aquele que apresentar à maior *TIR*. Também pode ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido.

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^{-j} \quad (\text{Equação 8.})$$

em que:

*TIR* = Taxa Interna de Retorno;

$R_j$  = receita no período  $j$ ;

$C_j$  = custo no período  $j$ ;

$i$  = taxa de juros;

$j$  = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ...  $n$ )

$n$  = número máximo de períodos de duração do projeto.

Razão Benefício/Custo - *B/C*:

O projeto será economicamente viável se apresentar razão  $B/C > 1$ . Na comparação de projetos, aquele que apresentar a maior relação será considerado o melhor. O valor calculado *B/C* representa a rentabilidade proporcionada pelo investimento, ou seja, representa o número de unidades monetárias retornadas para cada unidade monetária investida, já corrigida pela taxa de juros:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}} \quad (\text{Equação 9.})$$

em que:

$B/C$  = Razão Benefício-Custo à taxa  $i$ ;

$R_j$  = receita no período  $j$ ;

$C_j$  = custo no período  $j$ ;

$i$  = taxa de juros;

$j$  = período de ocorrência da receita ou do custo (0 ...  $n$ )

$n$  = número máximo de períodos de duração do projeto.

Benefício (Custo) Periódico Equivalente -  $B(C)PE$ :

Partindo-se do pressuposto que o  $VPL$  representa o valor atual do projeto, o  $B(C)PE$  transforma esse valor único em um fluxo de valores periódicos (custos ou receitas) constantes, distribuídos de forma homogênea ao longo do horizonte de planejamento do projeto.

O projeto será considerado economicamente viável se apresentar  $B(C)PE$  positivo, e na comparação de projetos será considerado melhor aquele que apresentar maior  $B(C)PE$ :

$$B(C)PE = \frac{VPL * [(1+i)^t - 1]}{[1 - (1+i)^{-nt}]} \quad (\text{Equação 10.})$$

em que:

$B(C)PE$  = Benefício (Custo) Periódico Equivalente;

$VPL$  = Valor Presente Líquido;

$i$  = taxa de juros;

$t$  = número de períodos de capitalização;

$n$  = duração do projeto em anos.

### **2.9.3. Taxa de juros e análise de sensibilidade**

Em estudos no setor florestal são empregadas taxas de juros que variam de 6,0 a 12% ao ano (OLIVEIRA et al., 1998; CASTRO et al., 2011). A taxa de juros considerada foi de 8,75% ao ano. Esta se refere à taxa empregada pelo Programa de Plantio Comercial de Florestas (PROPFLORA) para produtores rurais (pessoas físicas ou jurídicas), associações e cooperativas que têm como finalidades a implantação e manutenção de reflorestamento destinado ao uso comercial, industrial e energético.

Realizou-se a análise da sensibilidade do *VPL* em função da variação da taxa de juros e do preço pago a madeira. A análise de sensibilidade foi realizada tomando como base as taxas de 5, 10, 15 e 20% ao ano e preço da madeira de 70, 80, 100 e R\$110.Mg<sup>-1</sup>, mantendo-se as demais variáveis fixas. Com os resultados foram gerados gráficos e tabelas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estimativa da produção de biomassa

Os valores médios das variáveis avaliadas, obtidas por meio da totalização das parcelas convencionais (fertilizações comerciais) e subparcelas (arranjo), aos 12, 24, 36 e 48 meses são apresentados nas tabelas 7 e 8. Os resultados das análises de variância são sumariados de forma resumida no apêndice A (Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A, 5A e 6A).

O crescimento em biomassa de tronco variou entre as fertilizações comerciais adotadas em todos os meses avaliados, e entre arranjos apenas aos 48 meses ( $p \leq 0,05$ ). Foi verificado efeito significativo para a interação fertilização comercial x arranjo ( $p \leq 0,05$ ) aos 12, 24, 36 e 48 meses, evidenciando que os fatores fertilização e arranjo são dependentes na produção de biomassa de tronco, ou seja, o comportamento da fertilização adotada depende da variação no arranjo.

Por meio dos dados apresentados na tabela 7 é possível verificar que existe uma variação nos resultados de  $q$  e  $Ht$ . Em destaque, T1 e T14, com diâmetro médio de 13,7 e 13,4 cm, nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m, apresentaram maior variação em relação a T8, T10 e T12 com diâmetro de 12,5 cm no arranjo 3,0 x 3,0 m e a T5, T7, T12 e T13 com diâmetro médio de 12,6 cm no arranjo 6,0 x 1,5 m, aos 48 meses. Também para a variável  $Ht$  aos 48 meses, T1 e T2 apresentaram os maiores valores, de 23,1 e 21,9 m, nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m, respectivamente. O tratamento 10 em ambos os arranjos com médias de 19,6 m no 3,0 x 3,0 m e 20,4 m no 6,0 x 1,5 m apresentou os menores valores para  $Ht$ . O tratamento adicional por sua vez, foi 35% (8,4 cm) menor para o diâmetro médio em relação à média no arranjo de 3,0 x 3,0 m e 38% (13m) inferior a média da altura total nesse arranjo.

A biomassa aérea total dos tratamentos aos 48 meses, no arranjo 3,0 x 3,0 m, foi estimada em 93,8 (T1); 85,1 (T2); 82,5 (T3); 81,0 (T4); 78,5 (T5); 76,6 (T6); 75,9 (T7); 63,1 (T8); 70,3 (T9); 62,1 (T10); 71,8 (T11); 63,9 (T12); 67,5 (T13); 76,7 (T14) e 65,5 (T15)  $Mg \cdot ha^{-1}$ . No arranjo 6,0 x 1,5 m a biomassa aérea total dos tratamentos aos 48 meses, foi estimada em 78,9 (T1); 80,1 (T2); 73,2 (T3); 73,9 (T4); 67,8 (T5); 72,0 (T6); 68,7 (T7); 69,1 (T8); 73,0 (T9); 67,2 (T10); 69,0 (T11); 66,9 (T12); 68,3 (T13); 76,6 (T14) e 72,3 (T15)  $Mg \cdot ha^{-1}$  (Tabela 8). O tratamento adicional obteve média de 19,7  $Mg \cdot ha^{-1}$  de biomassa total

aos 48 meses. Em média, a biomassa aérea total estimada foi de 74,3 e 71,8 Mg.ha<sup>-1</sup> nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m, respectivamente, aos 48 meses.

A partir dos 24 meses o compartimento tronco apresentou a maior quantidade de biomassa média. Aos 48 meses nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m com médias de 65,1 e 62,6 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a biomassa de tronco representou 87,6 e 87,2% do total da parte aérea, seguido dos galhos e folhas.

A distribuição percentual média de biomassa dos componentes da parte aérea apresentou a seguinte ordem: 87,6 (tronco), 6,3 (galho) e 6,1 (folha) no arranjo 3,0 x 3,0 m e 87,2 (tronco), 6,5 (galho) e 6,3 (folha) no arranjo 6,0 x 1,5 m, aos 48 meses.

O tratamento 14 no arranjo 6,0 x 1,5 m foi o que apresentou maior biomassa de tronco (3,4 Mg.ha<sup>-1</sup>) aos 12 meses. O T1 (3,0 x 3,0 m) foi o que proporcionou maior biomassa de tronco com 22,4; 53,3; 84,4 Mg.ha<sup>-1</sup> respectivamente, aos 24, 36 e 48 meses. Os tratamentos que tiveram o menor valor médio de biomassa para essas idades foram 7, 15, 13 e 10, respectivamente, com médias de 1,5; 14,7; 34,8 e 52,9 Mg.ha<sup>-1</sup>, nos arranjos 6,0 x 1,5 m; 3,0 x 3,0 m; 6,0 x 1,5 m e 3,0 x 3,0 m.

De maneira geral, foi observado que o arranjo no formato quadrangular (3,0 x 3,0 m) se destacou em relação ao retangular (6,0 x 1,5 m) ao avaliar a produção de biomassa de tronco ao longo do tempo.

Ao considerar a produção de biomassa de tronco aos 48 meses, T1 foi aproximadamente 1,60 vezes superior ao T10, o menos produtivo, para o mesmo arranjo. O segundo (T2) mais produtivo em biomassa foi aproximadamente 10% inferior em relação ao T1, no mesmo arranjo (3,0 x 3,0 m). No tratamento em que aplicou maior quantidade de nutrientes (T14), a produção em biomassa nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m foi de 66,8 Mg.ha<sup>-1</sup> para ambos, sendo o décimo e décimo primeiro em produção de tronco, respectivamente. Como pode ser observado, à medida que ocorre o desenvolvimento da floresta, o efeito da fertilização vai se tornando menos pronunciado em relação à produção de tronco. Portanto, além da quantidade aplicada deve-se atentar para a proporção entre os nutrientes aplicados.

Tabela 7 – Valores médios por tratamento (T) e arranjo (A) do diâmetro médio ( $q$ ), média da altura total ( $Ht$ ) e área basal ( $B$ ) aos 12, 24, 36 e 48 meses de idade

T	A	12 meses			24 meses			36 meses			48 meses		
		$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$B$ (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$B$ (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$B$ (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$B$ (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )
1	3 x 3	5,9	7,6	3,0	10,3	14,7	9,3	12,4	19,9	13,3	13,7	23,1	16,4
	6 x 1,5	5,7	7,4	2,9	10,1	14,6	8,8	12,1	18,8	12,7	13,1	21,6	15,1
2	3 x 3	5,6	7,4	2,8	10,2	14,6	9,1	12,1	19,0	12,7	13,3	22,5	15,5
	6 x 1,5	6,1	7,6	3,2	10,3	14,2	9,2	12,2	18,5	13,0	13,1	21,9	15,0
3	3 x 3	6,2	8,1	3,4	10,0	14,4	8,8	11,9	18,9	12,4	13,1	22,4	15,1
	6 x 1,5	5,9	7,6	3,1	9,9	13,8	8,5	11,7	18,2	12,0	12,8	21,3	14,3
4	3 x 3	6,0	7,7	3,1	10,2	14,0	9,0	12,1	18,6	12,7	13,2	22,1	15,1
	6 x 1,5	5,9	7,3	3,0	9,9	14,0	8,6	11,8	18,4	12,2	12,9	21,2	14,5
5	3 x 3	5,4	6,9	2,5	9,6	13,6	8,1	11,5	18,5	11,6	12,9	22,3	14,4
	6 x 1,5	5,4	7,0	2,5	9,6	13,7	8,0	11,5	18,0	11,5	12,6	20,5	13,8
6	3 x 3	5,8	7,4	2,9	9,9	13,6	8,6	11,8	17,9	12,2	13,0	21,6	14,7
	6 x 1,5	5,9	7,6	3,0	9,8	14,5	8,4	11,7	17,9	12,0	12,7	21,1	14,1
7	3 x 3	5,4	7,1	2,5	9,5	13,9	7,9	11,3	17,5	11,2	12,7	22,2	14,1
	6 x 1,5	5,1	6,7	2,3	9,6	13,3	8,0	11,5	17,6	11,4	12,6	20,6	13,9
8	3 x 3	5,5	7,3	2,6	9,5	14,1	7,8	11,4	17,9	11,3	12,5	19,7	13,7
	6 x 1,5	6,0	7,7	3,1	10,0	14,5	8,6	11,7	18,3	11,9	12,8	20,5	14,2
9	3 x 3	5,5	7,2	2,7	9,8	14,3	8,4	11,8	18,5	12,2	13,0	20,2	14,8
	6 x 1,5	6,0	7,7	3,1	10,1	14,4	8,9	11,9	18,4	12,3	12,9	20,9	14,5
10	3 x 3	5,5	7,4	2,7	9,8	13,4	8,5	11,5	18,4	11,5	12,5	19,6	13,6
	6 x 1,5	5,6	7,3	2,7	9,8	13,8	8,4	11,5	18,0	11,5	12,6	20,4	13,9
11	3 x 3	5,6	7,1	2,7	9,8	13,4	8,3	11,6	18,1	11,7	13,0	20,6	14,7
	6 x 1,5	5,9	7,6	3,0	9,7	14,0	8,2	11,4	17,9	11,4	12,7	20,6	14,1

Continua...

Tabela 7 – Continuação ...

T	A	12 meses			24 meses			36 meses			48 meses		
		<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>B</i> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>B</i> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>B</i> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>B</i> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )
12	3 x 3	5,7	7,6	2,8	9,9	13,7	8,5	11,5	17,7	11,5	12,5	19,9	13,7
	6 x 1,5	5,9	7,6	3,0	9,9	14,2	8,5	11,5	17,6	11,6	12,6	20,5	13,8
13	3 x 3	5,8	7,5	2,9	9,7	13,1	8,1	11,3	17,7	11,1	12,7	20,4	14,1
	6 x 1,5	5,7	7,4	2,9	9,5	13,5	7,8	11,2	17,3	11,0	12,6	20,8	13,8
14	3 x 3	6,5	8,1	3,7	10,4	13,8	9,5	12,2	17,4	13,1	13,5	20,6	15,8
	6 x 1,5	6,6	8,1	3,8	10,4	13,8	9,4	12,3	17,5	13,1	13,4	20,7	15,6
15	3 x 3	5,8	7,2	2,9	9,5	12,7	7,9	11,3	17,5	11,1	12,6	20,1	14,0
	6 x 1,5	6,0	7,6	3,1	9,9	13,1	8,6	11,7	17,4	11,9	13,0	20,6	14,8
A	3 x 3	1,7	2,8	0,2	5,5	8,1	2,6	7,4	11,3	4,8	8,4	13,0	6,2
Média	3 x 3	5,7	7,4	2,9	9,9	13,8	8,5	11,7	18,2	12,0	12,9	21,1	14,6
	6 x 1,5	5,8	7,5	3,0	9,9	14,0	8,5	11,7	18,0	12,0	12,8	20,9	14,4

A: tratamento adicional.

Tabela 8 – Biomassa de componentes da parte aérea por tratamento (T) e arranjo (A) em Mg.ha<sup>-1</sup> aos 12, 24, 36 e 48 meses

T	A	12 meses				24 meses				36 meses				48 meses			
		Tronco	Folha	Galho	Total												
1	3 x 3	2,4	3,0	2,9	8,3	22,4	4,2	4,2	30,8	53,3	4,4	4,6	62,3	84,4	4,6	4,8	93,8
	6 x 1,5	2,2	3,0	2,8	8,0	20,8	4,1	4,1	29,0	45,9	4,4	4,6	54,9	69,7	4,5	4,7	78,9
2	3 x 3	2,1	2,9	2,8	7,8	21,3	4,2	4,2	29,7	46,9	4,4	4,5	55,8	75,9	4,5	4,7	85,1
	6 x 1,5	2,5	3,1	3,0	8,6	21,0	4,3	4,3	29,6	46,0	4,6	4,7	55,3	70,9	4,5	4,7	80,1
3	3 x 3	3,0	3,1	3,0	9,1	20,5	4,1	4,1	28,7	45,2	4,3	4,5	54,0	73,4	4,4	4,7	82,5
	6 x 1,5	2,4	3,1	2,9	8,4	18,3	4,1	4,1	26,5	41,2	4,4	4,5	50,1	64,2	4,4	4,6	73,2
4	3 x 3	2,5	3,0	2,9	8,4	19,9	4,3	4,3	28,5	45,1	4,5	4,6	54,2	71,8	4,5	4,7	81,0
	6 x 1,5	2,2	3,1	2,9	8,2	18,8	4,1	4,1	27,0	42,5	4,4	4,5	51,4	64,7	4,5	4,7	73,9
5	3 x 3	1,7	2,8	2,7	7,2	16,8	4,1	4,0	24,9	40,7	4,2	4,4	49,3	69,7	4,3	4,5	78,5
	6 x 1,5	1,8	2,8	2,7	7,3	17,1	4,0	4,0	25,1	39,1	4,3	4,4	47,8	58,8	4,4	4,6	67,8
6	3 x 3	2,2	3,0	2,9	8,1	18,0	4,2	4,2	26,4	40,7	4,5	4,5	49,7	67,4	4,5	4,7	76,6
	6 x 1,5	2,4	3,0	2,9	8,3	19,8	4,0	4,0	27,8	40,2	4,4	4,5	49,1	63,0	4,4	4,6	72,0
7	3 x 3	1,8	2,8	2,7	7,3	17,1	3,9	3,9	24,9	35,8	4,3	4,4	44,5	67,2	4,2	4,5	75,9
	6 x 1,5	1,5	2,7	2,6	6,8	16,4	4,1	4,1	24,6	37,4	4,3	4,4	46,1	59,7	4,4	4,6	68,7
8	3 x 3	1,9	2,8	2,7	7,4	17,7	3,8	3,9	25,4	37,7	4,2	4,3	46,2	53,9	4,5	4,7	63,1
	6 x 1,5	2,5	3,1	2,9	8,5	20,3	4,1	4,1	28,5	41,4	4,3	4,4	50,1	59,9	4,5	4,7	69,1
9	3 x 3	1,9	2,9	2,7	7,5	19,4	4,0	4,0	27,4	43,0	4,4	4,5	51,9	60,7	4,7	4,9	70,3
	6 x 1,5	2,6	3,0	2,9	8,5	20,6	4,1	4,2	28,9	43,3	4,4	4,5	52,2	63,8	4,5	4,7	73,0
10	3 x 3	2,1	2,8	2,7	7,6	17,3	4,2	4,2	25,7	40,3	4,2	4,3	48,8	52,9	4,5	4,7	62,1
	6 x 1,5	2,0	2,9	2,8	7,7	18,0	4,1	4,1	26,2	38,5	4,3	4,4	47,2	58,1	4,5	4,6	67,2
11	3 x 3	2,0	2,9	2,8	7,7	17,1	4,2	4,1	25,4	40,0	4,3	4,4	48,7	62,4	4,6	4,8	71,8
	6 x 1,5	2,4	3,0	2,9	8,3	18,1	4,0	4,0	26,1	38,2	4,2	4,4	46,8	59,9	4,5	4,6	69,0

Continua...

Tabela 8 – Continuação ...

T	A	12 meses				24 meses				36 meses				48 meses			
		Tronco	Folha	Galho	Total												
12	3 x 3	2,3	2,9	2,8	8,0	17,9	4,2	4,2	26,3	37,7	4,3	4,4	46,4	54,7	4,5	4,7	63,9
	6 x 1,5	2,4	3,0	2,9	8,3	19,1	4,1	4,1	27,3	37,6	4,4	4,5	46,5	57,9	4,4	4,6	66,9
13	3 x 3	2,3	2,9	2,8	8,0	16,1	4,2	4,1	24,4	36,4	4,2	4,3	44,9	58,3	4,5	4,7	67,5
	6 x 1,5	2,2	3,0	2,8	8,0	16,2	4,0	4,0	24,2	34,8	4,3	4,4	43,5	59,3	4,4	4,6	68,3
14	3 x 3	3,3	3,4	3,2	9,9	20,3	4,5	4,4	29,2	41,4	4,8	4,8	51,0	66,8	4,9	5,0	76,7
	6 x 1,5	3,4	3,4	3,2	10,0	20,0	4,5	4,4	28,9	42,4	4,8	4,8	52,0	66,8	4,8	5,0	76,6
15	3 x 3	2,1	3,1	2,9	8,1	14,7	4,2	4,1	23,0	35,4	4,3	4,4	44,1	56,3	4,5	4,7	65,5
	6 x 1,5	2,5	3,1	3,0	8,6	16,9	4,4	4,3	25,6	38,1	4,5	4,6	47,2	62,9	4,6	4,8	72,3
A	3 x 3	0,1	0,8	0,8	1,7	2,6	2,5	2,5	7,6	7,8	3,1	3,1	14,0	12,9	3,4	3,4	19,7
Média	3 x 3	2,2	2,9	2,8	7,9	18,4	4,2	4,1	26,7	41,3	4,4	4,5	50,2	65,1	4,5	4,7	74,3
	6 x 1,5	2,3	3,0	2,9	8,2	18,8	4,1	4,1	27,0	40,4	4,4	4,5	49,3	62,6	4,5	4,7	71,8

A: tratamento adicional.

A biomassa de tronco do tratamento adicional obteve médias de 0,1; 2,6; 7,8 e 12,9  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses, respectivamente (Tabela 9). O teste de Dunnett a 95% de probabilidade demonstrou que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) em relação à biomassa de tronco do tratamento adicional para com os demais tratamentos. Isto demonstra que a fertilização influencia positivamente na produção de biomassa deste compartimento.

Tabela 9 – Teste de Dunnett para biomassa de tronco aos 12, 24, 36 e 48 meses, no arranjo 3,0 x 3,0 m

Tratamento	Biomassa de tronco ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )			
	12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
A	0,1	2,6	7,8	12,9
1	2,4*	22,4*	53,3*	84,4*
2	2,1*	21,3*	46,9*	75,9*
3	3,0*	20,5*	45,2*	73,4*
4	2,5*	19,9*	45,1*	71,8*
5	1,7*	16,8*	40,7*	69,7*
6	2,2*	18,0*	40,7*	67,4*
7	1,8*	17,1*	35,8*	67,2*
8	1,9*	17,7*	37,7*	53,9*
9	1,9*	19,4*	43,0*	60,7*
10	2,1*	17,3*	40,3*	52,9*
11	2,0*	17,1*	40,0*	62,4*
12	2,3*	17,9*	37,7*	54,7*
13	2,3*	16,1*	36,4*	58,3*
14	3,3*	20,3*	41,4*	66,8*
15	2,1*	14,7*	35,4*	56,3*

\* significativo a 95 % de probabilidade. A: tratamento adicional.

Ao analisar o desempenho da biomassa de tronco (Figura 3) dos tratamentos no arranjo 3,0 x 3,0 m em relação ao tratamento adicional, observa-se que o tratamento 14, aos 12 meses, obteve maior biomassa ( $3,3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e, como consequência, maior ganho médio, de aproximadamente 3300% em relação ao tratamento adicional. O tratamento com menor ganho médio em relação ao tratamento adicional aos 12 meses foi o 5 ( $1,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), com aproximadamente 1700%. A partir dos 12 meses o ganho percentual médio dos tratamentos para com o tratamento adicional diminuiu exponencialmente. Aos 48 meses o tratamento 1 ( $84,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi o que obteve maior aproveitamento em biomassa de tronco em relação ao tratamento adicional, com aproximadamente 650%. O tratamento 10 ( $52,9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi o que alcançou o menor aproveitamento, em torno de 410%.

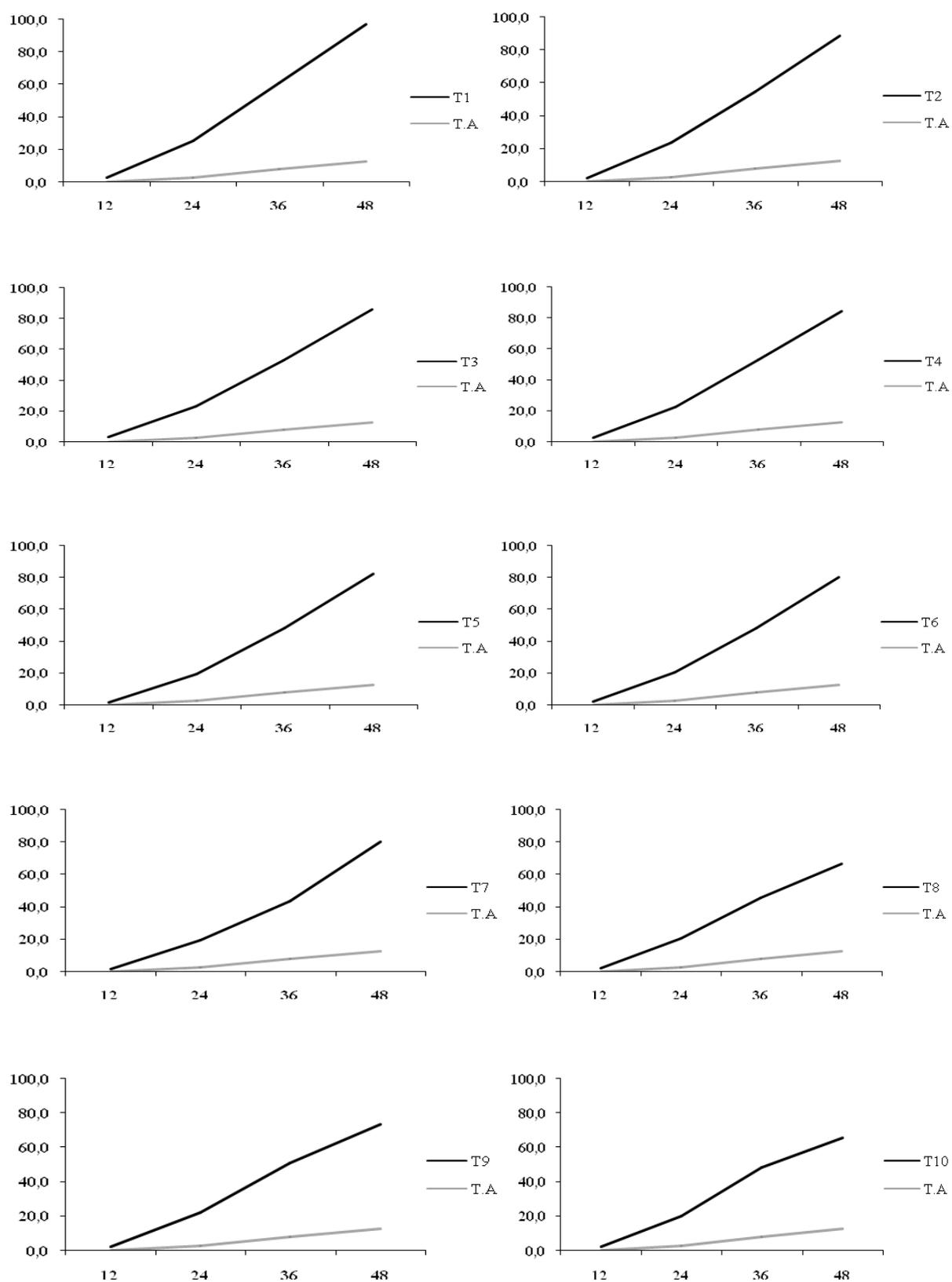


Figura 3 – continua...

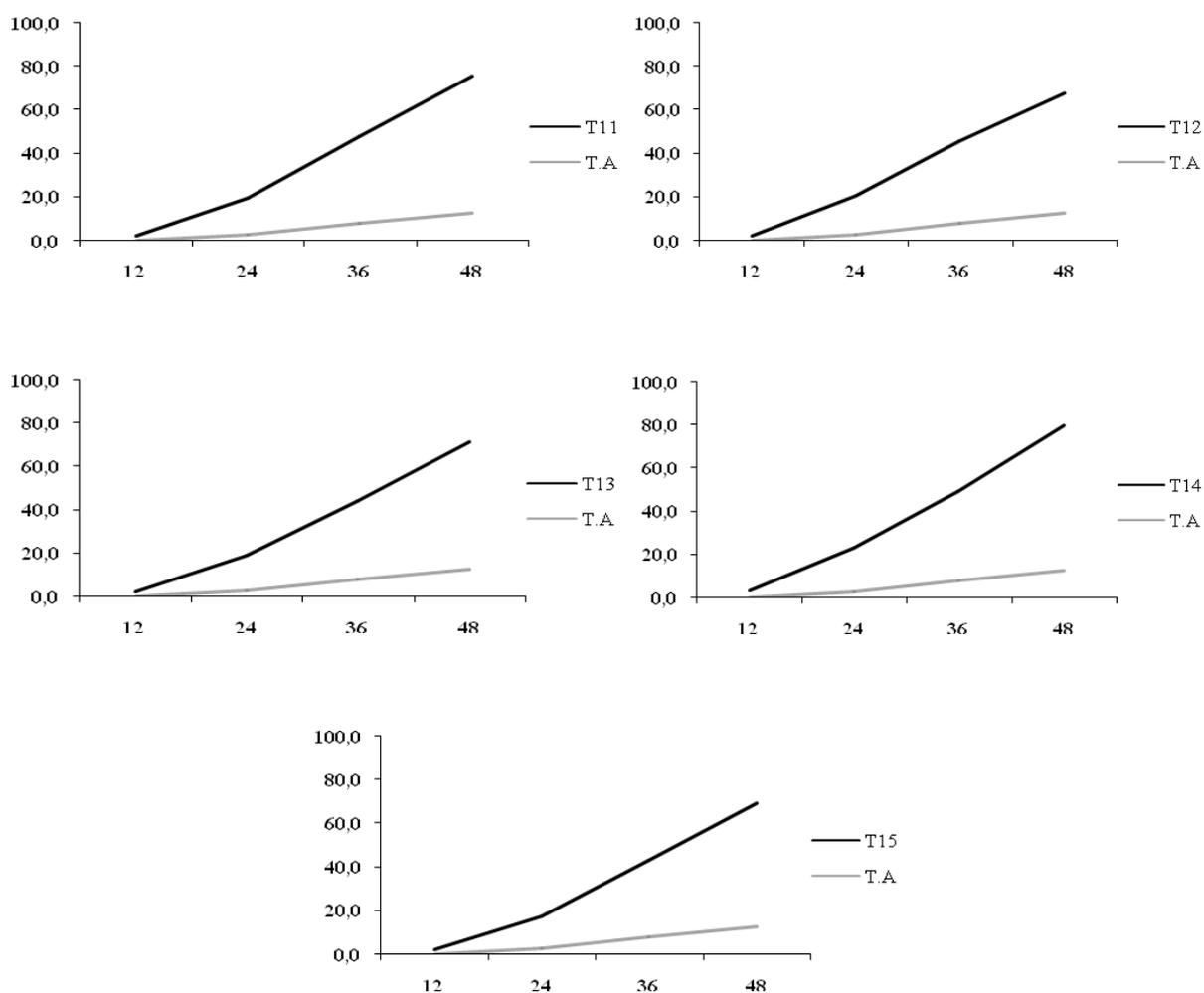


Figura 3 – Desempenho médio da biomassa de tronco dos tratamentos no arranjo 3,0 x 3,0 m em relação ao tratamento adicional (T.A). No eixo da ordenada, a biomassa de tronco em Mg.ha<sup>-1</sup> e no eixo da abscissa, a idade em meses.

Pela característica do experimento, não se pode realizar análises sobre qual foi a fertilização que promoveu melhor crescimento correlacionando a quantidade aplicada para observar tendências entre tratamentos. O processo de comparação do desempenho entre dois ou mais sistemas, *benchmark*, é a busca das melhores práticas que conduzem ao desempenho superior. Entretanto, é possível, de forma empírica, agrupar as quantidades aplicadas por nutriente em uma escala de cores (Tabela 10). A tabela 10 foi obtida convertendo-se os valores apresentados na tabela 2 em quantidades aplicadas em cada tratamento. Ressalta-se que todas as fertilizações apresentadas são utilizadas operacionalmente por grandes empresas que embasaram tais fertilizações em experimentos de campo ao longo dos anos. Portanto, a

denominação *inferior* não significa que houve limitação do nutriente para a produção de biomassa.

Para N, Mg, S e Zn, a escala de cor correspondente a *inferior* predomina para a maioria dos tratamentos (Tabela 10). Continuando a análise desta tabela, observa-se que para P, K e Ca a maioria das empresas adota aplicação de quantidades entre a escala *elevado* e *intermediário* e em cada um destes nutrientes três empresas ou mais adotam valores na escala *muito elevado*. Para o B e Cu a maioria das empresas adota aplicação de quantidades entre a escala *elevada e intermediária*, apesar de em algumas recomendações o Cu não ser aplicado (T3, T5, T7, T13, T14 e T15).

Tabela 10 - Quantidades total de nutrientes aplicados por tratamento (T), agrupados empiricamente por cores semelhantes, na coluna, em função da quantidade aplicada

T	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
	kg.ha <sup>-1</sup>								
T1	5,2	34,1	87,7	703,3	144,7	6,7	1,5	0,7	0,7
T2	69,0	44,0	57,3	643,2	126,7	223,1	4,3	1,5	2,3
T3	20,9	34,7	126,7	463,1	126,7	3,2	0,9	0,0	0,0
T4	6,6	32,9	116,9	553,2	108,6	6,1	6,9	2,1	3,6
T5	6,0	30,8	139,5	473,1	54,3	4,8	3,5	0,0	0,5
T6	9,0	23,6	144,4	405,3	54,3	3,0	3,9	0,6	0,6
T7	6,0	35,8	139,5	524,6	54,3	0,0	3,5	0,0	0,5
T8	9,0	64,2	137,0	386,6	55,6	19,8	3,9	0,8	0,8
T9	9,0	64,2	145,1	458,0	44,4	19,8	4,1	0,8	0,8
T10	6,0	34,0	169,8	393,1	126,4	240	4,7	0,8	18,5
T11	41,1	81,7	153,9	514,6	168,9	0,0	3,2	0,8	0,8
T12	8,4	34,0	156,4	231,6	42,2	4,2	3,4	1,4	1,4
T13	22,0	39,7	23,2	551,8	81,4	0,0	3,1	0,0	0,0
T14	156,0	43,2	179,3	626,8	168,9	65,0	0,8	0,0	0,8
T15	45,0	42,3	32,4	542,9	126,7	6,4	7,5	0,0	0,0
	Muito elevado	Elevado		Intermediário		Inferior		Não aplicado	

Aos 36 meses foi verificada interação significativa para biomassa de tronco. O desdobramento da interação fertilização comercial x arranjo para essa variável, resultou em efeito significativo para os tratamentos 1, 3 e 8 dentro dos arranjos (3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5m) ( $p \leq 0,05$ ). Esses tratamentos foram 16,1; 9,6 e 9,9% superior entre os arranjos, respectivamente (Tabela 11). Aos 48 meses o desdobramento resultou em efeito significativo

para diversos tratamentos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 e 15), dentro dos arranjos ( $p \leq 0,05$ ). Esses tratamentos apresentaram valor de biomassa 21,1; 7,0; 14,3; 11,1; 18,6; 7,1; 12,4; 11,3; 9,7 e 11,6% superior entre os arranjos, respectivamente (Tabela 11). Dessa forma, pode-se inferir que com o passar do tempo o efeito do arranjo no espaçamento se torna pronunciado, ou seja, para a mesma fertilização empregada o arranjo fornece estimativa de biomassa de tronco distinta.

Os arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5m proporcionaram valor de biomassa distinto entre os tratamentos em todas as idades mensuradas, ou seja, a biomassa de tronco produzida foi alterada em função do tratamento. O desdobramento da interação fertilização comercial x arranjo para a biomassa de tronco, resultou em efeito significativo nos arranjos (3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m) aos 12, 24, 36 e 48 meses, dentro dos tratamentos ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 11).

Tabela 11 – Biomassa de tronco (Mg.ha<sup>-1</sup>) em dois arranjos espaciais, aos 12, 24, 36 e 48 meses, por tratamento (T)

12 meses				24 meses			
T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m
1	2,4 c A	1	2,2 c A	1	22,4 a A	1	20,8 a A
2	2,1 d A	2	2,5 b A	2	21,3 a A	2	21,0 a A
3	3,0 b A	3	2,4 b A	3	20,5 b A	3	18,3 c A
4	2,5 c A	4	2,2 c A	4	19,9 b A	4	18,8 b A
5	1,7 e A	5	1,8 d A	5	16,8 c A	5	17,1 d A
6	2,2 d A	6	2,4 b A	6	18,0 c A	6	19,8 a A
7	1,8 e A	7	1,5 e A	7	17,1 c A	7	16,4 d A
8	1,9 e A	8	2,5 b A	8	17,7 c A	8	20,3 a A
9	1,9 e A	9	2,6 b A	9	19,4 b A	9	20,6 a A
10	2,1 e A	10	2,0 c A	10	17,3 c A	10	18,0 c A
11	2,0 e A	11	2,4 b A	11	17,1 c A	11	18,1 c A
12	2,3 d A	12	2,4 b A	12	17,9 c A	12	19,1 b A
13	2,3 d A	13	2,2 c A	13	16,1 d A	13	16,2 d A
14	3,3 a A	14	3,4 a A	14	20,3 b A	14	20,0 a A
15	2,1 d A	15	2,5 b A	15	14,7 e A	15	16,9 d A
36 meses				48 meses			
T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m
1	53,3 a A	1	45,9 a B	1	84,4 a A	1	69,7 a B
2	46,9 b A	2	46,0 a A	2	75,9 b A	2	70,9 a B
3	45,2 b A	3	41,2 b B	3	73,4 c A	3	64,2 b B
4	45,1 b A	4	42,5 b A	4	71,8 c A	4	64,7 b B
5	40,7 c A	5	39,1 c A	5	69,7 d A	5	58,8 c B
6	40,7 c A	6	40,2 c A	6	67,4 d A	6	63,0 b B
7	35,9 d A	7	37,4 c A	7	67,2 d A	7	59,7 c B
8	37,7 d B	8	41,4 b A	8	53,9 f B	8	59,9 c A
9	43,0 b A	9	43,3 b A	9	60,7 e A	9	63,8 b A
10	40,3 c A	10	38,5 c A	10	52,9 f B	10	58,1 c A
11	40,0 c A	11	38,2 c A	11	62,4 e A	11	59,9 c A
12	37,7 d A	12	37,6 c A	12	54,7 f A	12	57,9 c A
13	36,4 d A	13	34,8 c A	13	58,3 e A	13	59,3 c A
14	41,4 c A	14	42,4 b A	14	66,8 d A	14	66,8 b A
15	35,4 d A	15	38,1 c A	15	56,3 f B	15	62,9 b A

Mesmas letras minúsculas em cada coluna indicam igualdade entre as médias estimadas para cada tratamento, dentro de cada idade avaliada, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ). Mesmas letras maiúsculas em cada linha indicam igualdade entre as médias estimadas para cada arranjo, dentro de cada idade avaliada, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ).

Agrupando-se as médias de biomassa de tronco entre os tratamentos, foram observados aos 12 meses cinco grupos de médias para os arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m (Tabela 11). Em destaque o tratamento 14, formando um grupo com apenas um tratamento, sendo superior em ambos os arranjos para biomassa de tronco. A partir dos 24 meses, os tratamentos 1 e 2, em ambos os arranjos, seguiram como os que apresentaram maiores valores de biomassa de tronco, indicando que a fertilização tende a diminuir seus efeitos ao longo do tempo. Formou-se aos 24 meses, cinco e quatro grupos (Tabela 11) de médias nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m, respectivamente. Nessa idade, no arranjo 3,0 x 3,0 m o grupo formado com T1 e T2 se destacou sobre os demais e no 6,0 x 1,5 m os tratamentos 2, 1, 9, 8, 14 e 6 formou o grupo de destaque nesse arranjo. Ainda pela análise dessa tabela, aos 36 meses formaram-se quatro e três grupos para esses arranjos, se destacando o grupo formado por apenas T1 no arranjo 3,0 x 3,0 m e T2 e T1 constituindo o grupo de maior biomassa de tronco no arranjo 6,0 x 1,5 m.

Aos 48 meses, no arranjo 3,0 x 3,0 m, formaram-se seis grupos distintos (Tabela 11), sendo o tratamento 1 o que obteve melhor resposta nessa característica e formando um grupo com apenas um elemento. Analisando o que foi observado anteriormente, o T1 apresentou quantidades *muito elevadas* (Tabela 10) de apenas Ca e Mg, indicando que quantidades muito elevadas de nutrientes podem não ser tão responsivas à produção de biomassa de tronco ao longo do tempo. Quanto ao arranjo 6,0 x 1,5 m, foram formados três grupos, sendo que os tratamentos 2 e 1 constituíram o grupo de destaque, alcançando melhores índices de biomassa de tronco. Na comparação entre os arranjos para o mesmo tratamento, apenas os tratamentos 8, 9, 10, 12, 13 e 15 tiveram média superior no arranjo 6,0 x 1,5 m. Para todos os outros, o arranjo 3,0 x 3,0 m manteve superioridade.

### **3.2. Efeito da fertilização e do arranjo sobre variáveis do povoamento**

O tratamento 14 foi o que obteve maior *IAF* (3,9) no arranjo 3,0 x 3,0 m aos 27 meses, que foi o que recebeu maior quantidade de nutrientes, e o T8 o menor índice, com média de 3,2. Neste arranjo, a média geral de *IAF* foi de 3,6. O arranjo 6,0 x 1,5 m obteve média geral de *IAF* de 4,0, também com o T14 obtendo o maior índice (4,5) nessa característica e o T8 e T12 (3,7) o menor valor aos 27 meses (Tabela 12). Os resultados das análises de variância são apresentados de forma resumida no apêndice A (Tabela 7A).

Tabela 12 – Valores médios por tratamento (T) e arranjo (A) do diâmetro médio ( $q$ ), altura total ( $Ht$ ), espessura de casca ( $E$ ), altura do solo até a primeira inserção de galhos ( $Hf$ ), diâmetro de copa ( $D$ ), índice de área foliar ( $IAF$ ) e área foliar específica ( $AFE$ ) aos 27 meses de idade

T	A	$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$E$ (mm)	$Hf$ (m)	$D$ (m)	$IAF$ (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$AFE$ (cm <sup>2</sup> /g)
1	3 x 3	10,6	14,7	4,4	8,5	2,9	3,6	84,3
	6 x 1,5	10,0	14,5	3,9	9,2	1,9	3,8	92,6
2	3 x 3	10,3	14,6	4,5	8,9	2,6	3,7	89,0
	6 x 1,5	10,2	14,5	4,0	8,6	1,9	4,2	97,4
3	3 x 3	10,3	14,5	4,6	8,1	2,5	3,6	87,1
	6 x 1,5	9,9	14,4	4,5	8,8	2,0	4,1	99,9
4	3 x 3	10,2	14,5	4,3	8,5	2,6	3,8	88,7
	6 x 1,5	9,9	14,2	4,6	8,6	2,0	4,2	100,4
5	3 x 3	9,5	14,3	4,3	8,7	2,5	3,5	88,4
	6 x 1,5	9,6	14,2	4,4	8,7	2,0	3,9	97,9
6	3 x 3	10,0	14,5	4,6	8,7	2,4	3,6	85,5
	6 x 1,5	9,9	14,5	4,3	8,6	2,0	3,8	94,7
7	3 x 3	9,6	14,3	4,3	8,8	2,4	3,3	85,1
	6 x 1,5	9,5	13,8	3,9	8,4	1,9	3,8	94,1
8	3 x 3	9,4	14,0	4,0	9,0	2,4	3,2	84,4
	6 x 1,5	10,4	14,5	4,5	9,0	2,0	3,7	92,2
9	3 x 3	10,2	14,5	3,8	9,2	2,5	3,6	88,7
	6 x 1,5	9,9	14,3	4,4	8,8	2,0	4,3	105,4
10	3 x 3	10,0	14,4	3,6	9,1	2,5	3,7	87,3
	6 x 1,5	10,0	14,3	4,3	9,0	2,0	4,1	98,7
11	3 x 3	10,6	14,6	3,9	9,4	2,4	3,7	88,2
	6 x 1,5	9,7	14,4	3,9	9,3	2,1	4,0	99,5
12	3 x 3	9,8	14,3	3,9	8,9	2,1	3,8	91,3
	6 x 1,5	10,0	14,5	3,9	9,2	2,1	3,7	90,9
13	3 x 3	9,4	14,1	3,9	8,8	2,2	3,6	86,9
	6 x 1,5	9,4	14,5	3,6	9,3	2,2	3,8	96,2
14	3 x 3	10,3	14,5	4,1	9,0	2,3	3,9	86,5
	6 x 1,5	10,3	14,5	4,3	8,8	2,1	4,5	99,4
15	3 x 3	9,7	14,2	4,3	8,9	2,2	3,5	82,5
	6 x 1,5	10,0	14,2	3,9	8,7	2,1	3,9	90,7
M	3 x 3	10,0	14,4	4,2	8,8	2,4	3,6	86,9
	6 x 1,5	9,9	14,3	4,1	8,9	2,0	4,0	96,7
CV (%)		28,60	72,17	13,77	29,88	8,80	13,54	15,48

M: Média; CV: Coeficiente de Variação.

O diâmetro de copa teve diferença entre médias de 20,0% a mais entre os arranjos, com médias de 2,4 e 2,0 m para os arranjos 3,0 x 3,0 e 6,0 x 1,5 m, respectivamente. A área foliar específica nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m apresentaram médias de 86,9 e 96,6 cm<sup>2</sup>/g (Tabela 12).

Nota-se pelo teste *F* que aos 27 meses houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre parcela x subparcelas apenas para diâmetro de copa (Apêndice A, Tabela 7A). No arranjo 3,0 x 3,0 m, o tratamento 1 foi o que obteve melhor resposta para *D* e formando o grupo com apenas um elemento, para este arranjo formaram-se cinco grupos distintos. Quanto ao arranjo 6,0 x 1,5 m, foram formados dois grupos, sendo a maior diferença entre os tratamentos de apenas 0,3 m, indicando que o efeito do diâmetro de copa em espaçamentos retangulares é menor em relação ao espaçamento quadrado. Na comparação entre os arranjos para o mesmo tratamento, apenas o tratamento 12 apresentou igualdade entre médias, para todos os outros o arranjo 3,0 x 3,0 m foi superior (Tabela 13).

O efeito principal da fertilização foi significativo para altura de fuste (*Hf*), diâmetro de copa (*D*) e índice de área foliar (*IAF*), para todas as outras foi não significativo (Apêndice A, Tabela 7A). O efeito principal do arranjo foi significativo para diâmetro de copa (*D*), índice de área foliar (*IAF*) e área foliar específica (*AFE*), para todas as outras foi não significativo.

Tabela 13 – Diâmetro de copa (*D*) em metros por tratamento e arranjo aos 27 meses

Tratamento	3,0 x 3,0 m	Tratamento	6,0 x 1,5 m
1	2,9 a A	1	1,9 b B
2	2,6 b A	2	1,9 b B
3	2,5 c A	3	2,0 b B
4	2,6 b A	4	2,0 b B
5	2,5 c A	5	2,0 a B
6	2,4 d A	6	2,0 b B
7	2,4 d A	7	1,9 b B
8	2,4 d A	8	2,0 a B
9	2,5 c A	9	2,0 a B
10	2,5 c A	10	2,0 a B
11	2,4 d A	11	2,1 a B
12	2,1 e A	12	2,1 a A
13	2,2 e A	13	2,2 a A
14	2,3 d A	14	2,1 a B
15	2,2 e A	15	2,1 a B

Mesmas letras minúsculas em cada coluna indicam igualdade entre as médias estimadas para cada tratamento, pelo teste de Scott Knott, ( $p > 0,05$ ). Mesmas letras maiúsculas em cada linha indicam igualdade entre as médias estimadas para cada arranjo, pelo teste de Scott Knott, ( $p > 0,05$ ).

Aos 36 meses, T2 foi o que obteve maior *IAF* (5,9) no arranjo 3,0 x 3,0 m e o T11 (4,4) o menor índice, tendo sido constatada média geral de 5,1 nesse arranjo. O arranjo 6,0 x 1,5 m alcançou média geral de *IAF* de 4,9. Ainda nesse arranjo, o T1 proporcionou o maior índice (5,7) nessa característica, além de ser o que produziu maior biomassa de tronco nessa idade. O tratamento 11 (4,0) foi o que apresentou menor valor nessa característica (Tabela 14). De maneira geral, os tratamentos que obtiveram maior biomassa de tronco foram os que apresentaram maior *IAF*, a exemplo o arranjo 3,0 x 3,0 m, em que T2, T1 e T4 apresentaram maior *IAF* (5,9; 5,7 e 5,6) com biomassa de tronco de 47,7; 54,8 e 45,8 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 36 meses. Os resultados das análises de variância são apresentados de forma resumida no apêndice A (Tabela 8A).

Tabela 14 – Valores médios por tratamento (T) e arranjo (A) do diâmetro médio (*q*), altura total (*Ht*), espessura de casca (*E*), altura do solo até a primeira inserção de galhos (*Hf*), diâmetro de copa (*D*), índice de área foliar (*IAF*) e área foliar específica (*AFE*) aos 36 meses de idade

T	A	<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>E</i> (mm)	<i>Hf</i> (m)	<i>D</i> (m)	<i>IAF</i> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	<i>AFE</i> (cm <sup>2</sup> /g)
1	3 x 3	12,3	21,0	3,6	12,3	2,7	5,7	129,5
	6 x 1,5	11,8	18,8	3,4	11,4	2,3	5,7	130,1
2	3 x 3	11,9	18,9	3,6	11,6	2,6	5,9	132,5
	6 x 1,5	12,3	19,4	3,7	11,5	2,4	4,9	108,0
3	3 x 3	11,8	19,1	3,5	11,9	2,7	5,1	118,4
	6 x 1,5	11,7	18,6	4,1	11,1	2,6	4,6	107,2
4	3 x 3	11,6	18,8	3,5	11,4	2,4	5,6	125,0
	6 x 1,5	12,1	18,8	4,0	11,1	2,7	4,8	109,5
5	3 x 3	11,9	18,3	3,8	11,1	2,4	5,2	125,4
	6 x 1,5	11,4	18,7	4,0	10,3	2,6	5,2	122,6
6	3 x 3	11,8	18,1	3,6	10,9	2,5	5,0	112,7
	6 x 1,5	12,1	18,1	4,0	10,9	2,7	4,8	108,4
7	3 x 3	11,8	18,3	3,8	10,5	2,4	5,0	116,2
	6 x 1,5	11,9	18,2	4,0	10,4	2,5	5,1	118,9
8	3 x 3	11,7	18,8	3,8	10,6	2,5	4,8	115,4
	6 x 1,5	11,9	18,1	3,7	10,8	2,6	4,9	112,5
9	3 x 3	11,8	18,7	3,6	10,1	2,7	4,6	105,8
	6 x 1,5	11,5	18,2	3,9	10,9	2,8	5,2	119,6
10	3 x 3	11,5	18,7	3,4	9,8	2,5	5,0	121,5
	6 x 1,5	11,7	18,5	4,1	10,3	2,9	4,7	111,4

Continua...

Tabela 14 – Continuação...

T	A	<i>q</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	<i>E</i> (mm)	<i>Hf</i> (m)	<i>D</i> (m)	<i>IAF</i> (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	<i>AFE</i> (cm <sup>2</sup> /g)
11	3 x 3	11,9	18,5	4,0	9,3	2,6	4,4	103,1
	6 x 1,5	11,7	18,3	4,2	9,9	2,8	4,0	95,2
12	3 x 3	11,7	17,7	3,7	8,9	2,8	5,2	119,6
	6 x 1,5	11,4	17,5	4,5	9,6	2,7	4,5	103,3
13	3 x 3	11,2	16,7	3,7	9,1	2,5	4,5	106,8
	6 x 1,5	11,6	17,3	4,1	9,1	2,8	4,8	112,0
14	3 x 3	11,9	17,5	3,8	9,3	2,8	5,3	110,2
	6 x 1,5	12,0	18,6	3,9	10,0	3,0	5,4	112,2
15	3 x 3	11,4	17,9	4,0	9,0	2,7	4,5	106,3
	6 x 1,5	11,6	16,7	4,3	9,9	3,1	4,8	107,6
M	3 x 3	11,7	18,5	3,7	10,4	2,6	5,1	116,6
	6 x 1,5	11,8	18,2	4,0	10,5	2,7	4,9	111,9
CV (%)		45,08	22,59	14,59	11,30	14,37	11,85	12,81

M: Média; CV: Coeficiente de Variação.

O teste *F* demonstrou que aos 36 meses houve interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) para altura total (*Ht*), altura de fuste (*Hf*) e diâmetro de copa (*D*), todas as outras variáveis não foram. No arranjo 3,0 x 3,0 m, o tratamento 1 foi o que obteve melhor resposta para *Ht* e formando um grupo com apenas um elemento, para este arranjo formaram-se quatro grupos distintos. Quanto ao arranjo 6,0 x 1,5 m, foram formados dois grupos, com o tratamento 2 obtendo maior altura total. Na comparação entre os arranjos para o mesmo tratamento, os tratamentos 1, 14 e 15 apresentaram distinção entre médias (Tabela 15). Assim como para *Ht*, o tratamento 1 apresentou maior *Hf*, formando com o tratamento 3 o grupo de melhor resposta para esta característica no arranjo 3,0 x 3,0 m. Foram formados seis grupos de médias nesse arranjo. No arranjo 6,0 x 1,5 m foram formados seis grupos de médias, com os tratamentos 2, 1, 4 e 3 compondo o grupo de maiores médias. Quanto ao *D*, o arranjo 3,0 x 3,0 m apresentou apenas um grupo de médias, sendo o tratamento 12 (2,8 m) com maior média. No arranjo 6,0 x 1,5 m formou-se dois grupos com os tratamentos 15, 14, 10, 9, 13, 11 e 12 obtendo maiores diâmetros de copa.

O efeito principal da fertilização aos 36 meses foi significativo para altura total (*Ht*), espessura de casca (*E*), altura de fuste (*Hf*), diâmetro de copa (*D*), índice de área foliar (*IAF*) e área foliar específica (*AFE*), apenas para o diâmetro médio (*q*) não foi. O efeito principal do

arranjo foi significativo para diâmetro de copa ( $D$ ) e área foliar específica ( $AFE$ ), para todas as outras variáveis foi não significativo.

Aos 36 meses, alguns tratamentos mudaram de posição em relação aos valores de  $IAF$  aos 27 meses, a exemplo os tratamentos 1 e 5, que figuram no grupo daqueles de maior  $IAF$ . Destaca-se ainda, a mudança de posição do tratamento 11 ( $7^\circ$  para  $15^\circ$ ) e do tratamento 1 ( $13^\circ$  para  $1^\circ$ ). Os tratamentos 8 e 15 permaneceram no grupo de menor  $IAF$  aos 36 meses, assim como havia ocorrido aos 27 meses (Tabela 14).

Tabela 15 – Altura total ( $Ht$ ), altura de fuste ( $Hf$ ) e diâmetro de copa ( $D$ ) por tratamento e arranjo aos 36 meses

$Ht$ (m)		$Hf$ (m)				$D$ (m)					
T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m
1	21,0 a A	1	18,8 a B	1	12,3 a A	1	11,4 a B	1	2,7 a A	1	2,3 b B
2	18,9 b A	2	19,4 a A	2	11,6 b A	2	11,5 a A	2	2,6 a A	2	2,4 b A
3	19,1 b A	3	18,6 a A	3	11,9 a A	3	11,1 a B	3	2,7 a A	3	2,6 b A
4	18,8 b A	4	18,8 a A	4	11,4 b A	4	11,1 a A	4	2,4 a B	4	2,7 b A
5	18,3 b A	5	18,7 a A	5	11,1 c A	5	10,3 c B	5	2,4 a A	5	2,6 b A
6	18,1 c A	6	18,1 a A	6	10,9 c A	6	10,9 b A	6	2,5 a A	6	2,7 b A
7	18,3 b A	7	18,2 a A	7	10,5 d A	7	10,4 c A	7	2,4 a A	7	2,5 b A
8	18,8 b A	8	18,1 a A	8	10,6 d A	8	10,8 b A	8	2,5 a A	8	2,6 b A
9	18,7 b A	9	18,2 a A	9	10,1 e B	9	10,9 b A	9	2,7 a A	9	2,8 a A
10	18,7 b A	10	18,5 a A	10	9,8 e B	10	10,3 c A	10	2,5 a B	10	2,9 a A
11	18,5 b A	11	18,3 a A	11	9,3 f B	11	9,9 d A	11	2,6 a A	11	2,8 a A
12	17,7 c A	12	17,5 b A	12	8,9 f B	12	9,6 e A	12	2,8 a A	12	2,7 a A
13	16,7 d A	13	17,3 b A	13	9,1 f A	13	9,1 f A	13	2,5 a A	13	2,8 a A
14	17,5 c B	14	18,6 a A	14	9,3 f B	14	10,0 d A	14	2,8 a A	14	3,0 a A
15	17,9 c A	15	16,7 b B	15	9,0 f B	15	9,9 d A	15	2,7 a B	15	3,1 a A

Mesmas letras minúsculas em cada coluna indicam igualdade entre as médias estimadas para cada tratamento, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ). Mesmas letras maiúsculas em cada linha indicam igualdade entre as médias estimadas para cada arranjo, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ).

Aos 27 e 36 meses o teste  $F$  demonstrou interação significativa ( $p \leq 0,05$ ) para o teor de clorofila (Apêndice A, Tabela 9A). Para o componente serrapilheira não foi constatada essa significância (Tabela 16) aos 36 meses. Assim como para a produção de biomassa de tronco, os tratamentos 1 e 2 figuram entre os que possuem maiores teores clorofila, em ambos os arranjos (3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5m) e períodos avaliados (27 e 36 meses).

O efeito principal do arranjo foi significativo para serrapilheira (Apêndice A, Tabela 9A). A serrapilheira obteve médias de 9,19 e 6,17 Mg.ha<sup>-1</sup> nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m, respectivamente.

Tabela 16 – Teor de clorofila aos 27 e 36 meses e serrapilheira aos 36 meses nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m

27 meses				36 meses							
Teor de clorofila		Teor de clorofila		Serrapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> )							
T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m	T	3,0 x 3,0 m	T	6,0 x 1,5 m
1	41,8 a A	1	38,8 a A	1	41,6 a A	1	40,4 b A	1	8,9 a	1	7,8 a
2	42,7 a A	2	38,8 a B	2	38,5 b B	2	41,7 a A	2	11,4 a	2	7,9 a
3	41,5 a A	3	37,0 a B	3	39,9 b B	3	43,8 a A	3	10,1 a	3	5,9 a
4	40,8 a A	4	36,1 a B	4	40,0 b A	4	40,1 b A	4	9,7 a	4	6,8 a
5	37,5 b A	5	37,3 a A	5	40,1 b A	5	38,7 b A	5	9,3 a	5	5,4 a
6	37,4 b A	6	35,7 a A	6	42,0 a A	6	40,5 b A	6	10,5 a	6	5,8 a
7	39,8 b A	7	36,2 a B	7	40,9 a A	7	39,6 b A	7	7,9 a	7	6,6 a
8	38,4 b A	8	36,3 a A	8	40,5 b A	8	40,3 b A	8	9,1 a	8	7,3 a
9	37,9 b A	9	37,6 a A	9	39,1 b A	9	39,9 b A	9	9,6 a	9	5,2 a
10	39,1 b A	10	38,1 a A	10	42,7 a A	10	40,0 b B	10	7,1 a	10	6,3 a
11	37,8 b A	11	36,8 a A	11	42,2 a A	11	40,5 b A	11	9,2 a	11	5,4 a
12	38,0 b A	12	36,0 a A	12	40,7 a A	12	38,3 b A	12	8,3 a	12	6,3 a
13	38,7 b A	13	38,1 a A	13	39,6 b A	13	39,8 b A	13	8,9 a	13	4,5 a
14	37,7 b A	14	40,2 a A	14	38,7 b A	14	40,9 b A	14	8,8 a	14	6,0 a
15	37,3 b B	15	40,9 a A	15	41,0 a A	15	42,4 a A	15	9,1 a	15	5,4 a

Mesmas letras minúsculas em cada coluna indicam igualdade entre as médias estimadas para cada tratamento, dentro de cada idade avaliada, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ). Mesmas letras maiúsculas em cada linha indicam igualdade entre as médias estimadas para cada arranjo, dentro de cada idade avaliada, pelo teste de Scott Knott, ( $p>0,05$ ).

### **3.3. Índice de Uniformidade (Pvar 50%) e determinação do Intervalo Ótimo de Uniformidade (IOU)**

O PDap 50 do diâmetro individual aos 12 meses no arranjo 3,0 x 3,0 m nos 15 tratamentos variou de 44,5 a 47,1%. O PH 50 da altura total e o PB 50 da biomassa variaram de 46,9 a 48,3% e 35,6 a 42,4%, respectivamente, aos 12 meses no arranjo 3,0 x 3,0 m. Assim, o intervalo ótimo de uniformidade (IOU) foi estabelecido com o limite inferior de 44,9; 47,2 e 36,8%, respectivamente, para essas variáveis nesse arranjo e o limite superior de 50% (Figura 4).

O percentual de tratamentos dentro do IOU (%IOU) foi de 80% para PDap 50, PH 50 e PB50, aos 12 meses no arranjo 3,0 x 3,0m, com apenas 3 parcelas fora do IOU nessas variáveis. Assim, para todas as variáveis foi contemplado o mínimo de 68%, que corresponde à média menos 1 desvio padrão.

Os 15 tratamentos no arranjo 6,0 x 1,5 m, aos 12 meses tiveram variação no PDap 50 do diâmetro individual de 44,4 a 47,1%. O PH 50 da altura total e o PB 50 da biomassa variaram de 46,7 a 48,3% e 34,9 a 41,6%, respectivamente, aos 12 meses no arranjo 6,0 x 1,5 m. Desta forma, o intervalo ótimo de uniformidade (IOU) foi estabelecido com o limite inferior de 45,1; 47,3 e 37,5%, respectivamente, para essas variáveis nesse arranjo e o limite superior de 50% (Figura 5).

O arranjo 6,0 x 1,5 m aos 12 meses obteve médias do IOU (%IOU) para PDap 50, PH 50 e PB50, respectivamente de 87, 80 e 87%, com 2, 3 e 2 parcelas fora do padrão. Deste modo, o número de parcelas acima de 68% foi contemplado em todas as variáveis analisadas.

De forma geral, os tratamentos não influenciaram a uniformidade e o Pvar50 se mostrou adequado, pois as falhas são consideradas como parte do conceito de uniformidade do povoamento, além de possuir intervalos fixos (0% a 50%).

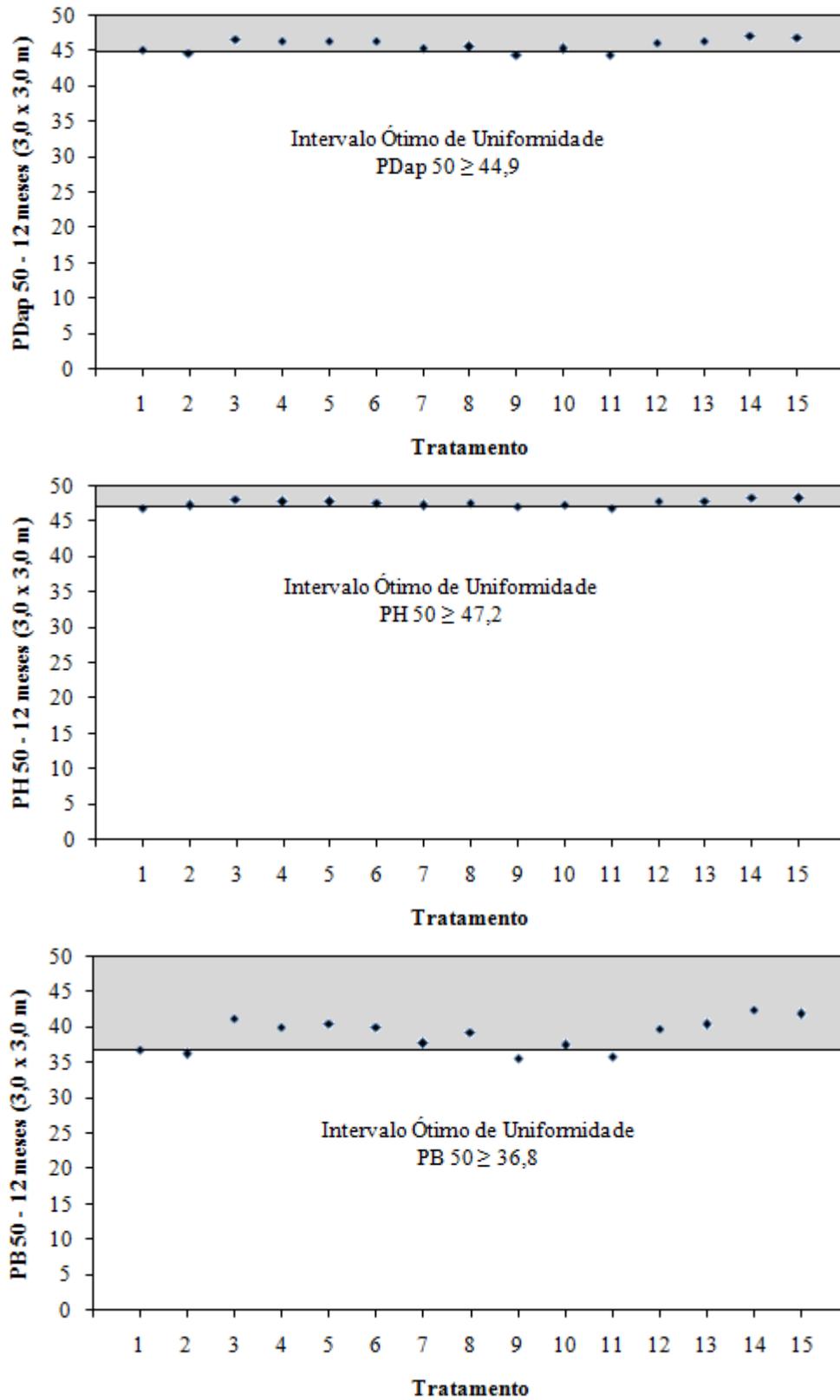


Figura 4 – PDap 50, PH 50 e PB 50 aos 12 meses dos 15 tratamentos, no arranjo 3,0 x 3,0 m. A faixa cinza delimita o intervalo ótimo de uniformidade (IOU) correspondente à média do PDap 50, PH 50 e PB 50 menos 1 desvio padrão dos 15 tratamentos.

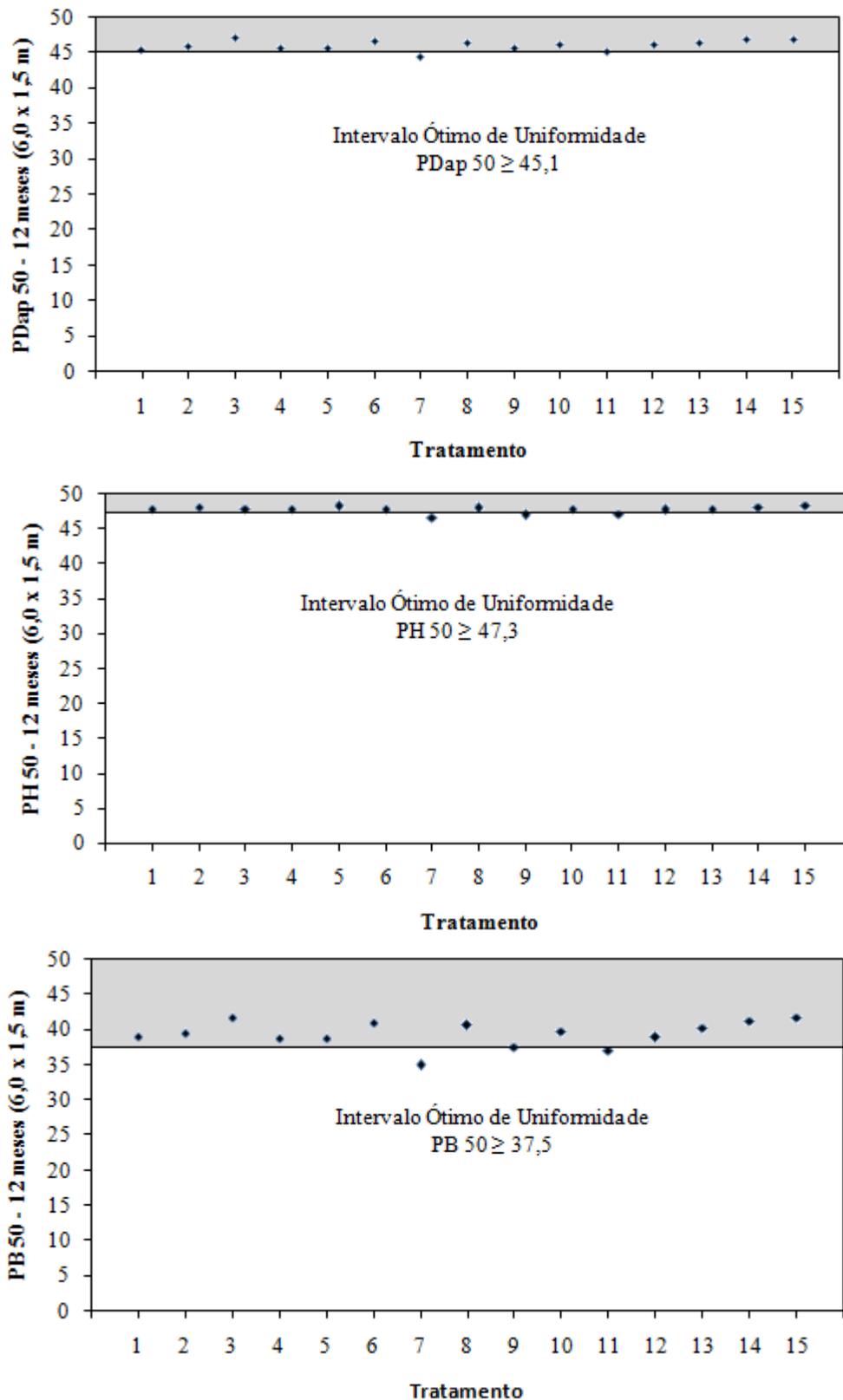


Figura 5 – PDap 50, PH 50 e PB 50 aos 12 meses dos 15 tratamentos, no arranjo 6,0 x 1,5 m. A faixa cinza delimita o intervalo ótimo de uniformidade (IOU) correspondente à média do PDap 50, PH 50 e PB 50 menos 1 desvio padrão dos 15 tratamentos.

### 3.4. Análise econômica

Ao longo do horizonte de planejamento de 4 anos, foi considerada uma única rotação para os arranjos. No arranjo 3,0 x 3,0 m os custos de implantação e manutenção foram em torno de 7,2% mais elevados em relação ao arranjo 6,0 x 1,5 m (Tabela 17). Isto se deve ao menor número de linhas a serem preparadas por hectare, diminuindo assim, o custo de subsolagem e também a atividade de irrigação, que pôde ser totalmente mecanizada, reduzindo o custo com mão-de-obra.

Os dados de custos de implantação, manutenção e receitas dos povoamentos foram corrigidos para o momento zero, como demonstra as tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Custos corrigidos de implantação e manutenção por hectare de povoamentos de eucalipto em dois arranjos (3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m)

Ano	Atividade	3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
		Valor (R\$/ha)	
0	Planejamento/Projeto Florestal	7,9	7,9
0	Serviços topográficos/Plantas	7,9	7,9
0	Licenciamentos	5,7	5,7
0	Suporte Técnico	111,1	111,1
0	1° Combate a formigas	61,7	61,7
0	Abertura de estradas e aceiros]	31,2	31,2
0	Acabamento de estradas/aceiros	31,2	31,2
0	Encascalhamento carreador (25%)	88,8	88,8
0	2° Combate a formigas	29,2	29,2
0	3° Combate a formigas	22,2	22,2
0	1° aplicação de herbicida (pré-emergente)	352,7	176,3
0	Plantio com Plantadeira Manual	453,8	453,8
0	Irrigação (4 em 100% da área)	491,1	122,8
0	Abastecimento água p/ irrigação	81,7	81,7
0	4° Combate a formigas	6,2	6,2
0	Replântio (1x)	23,2	23,2
0	2° Aplicação herbicida (pré-emergente)	101,6	50,8
0	Abastecimento água p/herbicida (2x)	12,8	6,4
SubTotal Ano 0		1920,1	1318,2
1	Suporte Técnico	102,2	102,2
1	Capina química manual na linha 2x	230,2	230,2
1	Capina química mec. Na entre linha	106,6	-
1	Capina química mec. Na entre linha 2x	-	213,2
1	Conservação de aceiros	28,7	28,7
1	Combate a formigas	14,9	14,9
SubTotal Ano 1		482,6	589,2

Continua...

Tabela 17 – Continuação...

Ano	Atividade	3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
		Valor (R\$/ha)	
2	Suporte Técnico	40,3	40,3
2	Conservação de aceiros	26,4	26,4
2	Combate a formigas	13,7	13,7
2	Capina química manual na linha	110,3	110,3
2	Capina química mec. Na entre linha	-	98,0
2	Inventário - Avaliação de Crescimento	47,1	47,1
SubTotal Ano 2		237,8	335,8
3	Suporte Técnico	37,0	37,0
3	Conservação de aceiros	24,2	24,2
3	Combate a formigas	12,6	12,6
3	Capina química mec. Na entre linha	-	90,1
3	Inventário - Avaliação de Crescimento	43,3	43,3
SubTotal Ano 3		117,2	207,3
4	Suporte Técnico	34,1	34,1
4	Conservação de aceiros	22,3	22,3
4	Combate a formigas	11,6	11,6
4	Capina química mec. Na entre linha	-	82,9
4	Inventário - Avaliação de Crescimento	39,8	39,8
SubTotal Ano 4		107,7	190,6
Total		2865,4	2641,1

Tabela 18 - Receitas corrigidas por hectare de povoamentos de eucalipto em dois arranjos

Tratamento	3,0 x 3,0 m	6,0 x 1,5 m
	Receita (R\$/ha)	
1	5363,0	4429,6
2	4825,6	4508,1
3	4664,2	4080,9
4	4565,4	4110,6
5	4429,9	3735,0
6	4285,2	4001,6
7	4268,1	3797,2
8	3422,7	3809,7
9	3854,9	4056,1
10	3363,8	3690,8
11	3965,3	3806,2
12	3476,3	3679,2
13	3704,0	3767,0
14	4246,0	4245,1
15	3579,6	3994,9

Os indicadores de viabilidade econômica *VPL*, *TIR*, *B/C*, e *B(C)PE* verificados para os tratamentos são apontados na tabela 19.

Tabela 19 - Indicadores de viabilidade econômica calculados para os tratamentos (T) avaliados e arranjos

T	3,0 x 3,0 m				6,0 x 1,5 m			
	<i>VPL</i> (R\$/ha)	<i>TIR</i> (%)	<i>B/C</i>	<i>B(C)PE</i> (RS/ha/ano)	<i>VPL</i> (R\$/ha)	<i>TIR</i> (%)	<i>B/C</i>	<i>B(C)PE</i> (RS/ha/ano)
1	1300,5	16,6	1,32	399,2	627,0	13,0	1,16	192,5
2	645,3	12,7	1,15	198,1	602,5	12,7	1,15	185,0
3	364,1	11,0	1,08	111,8	61,5	9,2	1,02	18,9
4	191,4	9,9	1,04	58,7	11,3	8,8	1,00	3,5
5	76,5	9,2	1,02	23,5	-346,7	6,4	0,92	-106,4
6	-6,5	8,7	1,00	-2,0	-24,2	8,6	0,99	-7,4
7	81,9	9,3	1,02	25,1	-117,4	7,9	0,97	-36,0
8	-709,9	3,7	0,83	-217,9	-57,2	8,3	0,99	-17,6
9	-479,8	5,6	0,89	-147,3	-12,8	8,7	1,00	-3,9
10	-478,0	5,2	0,88	-146,7	73,4	9,3	1,02	22,5
11	-356,5	6,4	0,92	-109,4	-249,9	7,0	0,94	-76,7
12	-868,7	2,9	0,80	-266,7	-397,0	6,0	0,90	-121,9
13	-43,5	8,4	0,99	-13,3	288,4	10,9	1,08	88,5
14	-402,2	6,3	0,91	-123,5	-127,8	7,9	0,97	-39,2
15	-640,3	4,4	0,85	-196,6	43,8	9,1	1,01	13,4

*VPL*: Valor Presente Líquido; *TIR*: Taxa Interna de Retorno; *B/C*: Razão Benefício/Custo; *B(C)PE*: Benefício (Custo) Periódico Equivalente.

De acordo com o critério econômico *VPL*, nem todas as opções consideradas para a venda de madeira são alternativas viáveis de investimento nas fertilizações utilizadas (Tabela 19). A análise realizada indicou que o tratamento 1 resultou em um *VPL* de R\$1300,5. ha<sup>-1</sup> no arranjo 3,0 x 3,0 m. Este resultado demonstra que o tratamento 1, nas condições avaliadas, é uma atividade economicamente viável e se mostrou o mais vantajoso em relação aos demais. No arranjo 3,0 x 3,0 m, dos 15 tratamentos analisados, nove apresentaram *VPL* negativo (T6, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15). O tratamento 12 nesse arranjo foi o menos atraente em relação às demais opções de fertilização, com *VPL* de R\$-868,7.ha<sup>-1</sup>.

A análise dos valores de *TIR* observados indicaram que, nas condições analisadas, os projetos proporcionaram retornos de 16,6% e de 2,9% ao ano, para os tratamentos 1 e 12 no arranjo 3,0 x 3,0 m, respectivamente. A *TIR*, quando maior que a taxa do projeto, indica a viabilidade econômica do empreendimento. Portanto, os valores encontrados confirmaram os

resultados dos outros critérios de avaliação utilizados, no que diz respeito à viabilidade dos projetos, mesmo sendo positivos ou negativos.

Por meio do método da Razão Benefício/Custo, os resultados indicaram uma rentabilidade de 1,32 vezes o valor investido para o tratamento 1 e 0,80 vezes para o tratamento 12 no arranjo 3,0 x 3,0 m, sendo, portanto, esses com razão *B/C* inferiores a 1 inviáveis do ponto de vista econômico na idade avaliada (48 meses).

Ao considerar o critério econômico *B(C)PE*, pode-se observar que a melhor alternativa para essas condições é o tratamento 1, com valor de R\$399,2.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> no arranjo 3,0 x 3,0 m. O tratamento em que houve menor *B(C)PE* foi o 12, com R\$-266,7.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> nesse arranjo.

No arranjo 6,0 x 1,5 m houve mudanças em vários critérios de avaliação. Dos tratamentos avaliados, oito apresentaram *VPL* negativos (T5, T6, T7, T8, T9, T11, T12 e T14), sendo o menor o T12, com R\$-397,0.ha<sup>-1</sup>. Neste arranjo, o T1 foi o que obteve maior rentabilidade (R\$627,0.ha<sup>-1</sup>), porém 51,8% inferior a este, no arranjo 3,0 x 3,0 m.

Ao se considerar a *TIR* no arranjo 6,0 x 1,5 m, o T1 foi o que obteve maior índice nessa variável (13,0%). O T12 apresentou a menor *TIR* nesse arranjo (6,0%), sendo, portanto, economicamente inviável na idade de 48 meses.

No método da Razão Benefício/Custo, os resultados indicaram que no arranjo 6,0 x 1,5 m o tratamento T1 obteve rentabilidade de 1,16 vezes o valor investido e T12 o menor resultado, com 0,90, sendo assim, inviável nesse critério de avaliação.

O *B(C)PE* no arranjo 6,0 x 1,5 m apresentou maior rendimento no T1 (R\$192,5.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e menor no T12 (R\$-121,9.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

### **3.4.1. Análise de sensibilidade**

O comportamento do *VPL* em relação à variação nas taxas de juros propostas para os arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m está apresentado na figura 6.

O tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m, submetido às taxas de juros propostas de 5, 10, 15 e 20% ao ano, apresentou *VPL*'s de R\$2108,6.ha<sup>-1</sup>, R\$1060,8.ha<sup>-1</sup>, R\$226,3.ha<sup>-1</sup> e R\$-445,1.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 6). O tratamento 12 no arranjo 3,0 x 3,0 m, que houve a menor *TIR*, por sua vez, apresentou *VPL*'s de R\$-344,8.ha<sup>-1</sup>, R\$-1024,0.ha<sup>-1</sup>, R\$-1565,0.ha<sup>-1</sup> e R\$ -2000,0.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

No arranjo 6,0 x 1,5 m o tratamento 1, que foi mais rentável nesse arranjo obteve *VPL*'s de R\$1294,5.ha<sup>-1</sup>, R\$429,1.ha<sup>-1</sup>, R\$-260,2.ha<sup>-1</sup> e R\$-814,7.ha<sup>-1</sup> para as taxas de juros consideradas. O menos rentável para as taxas de juros consideradas no arranjo 6,0 x 1,5 m foi o tratamento 12 com *VPL*'s de R\$157,5.ha<sup>-1</sup>, R\$-561,4.ha<sup>-1</sup>, R\$-1133,9.ha<sup>-1</sup> e R\$-1594,5.ha<sup>-1</sup> (Figura 6).

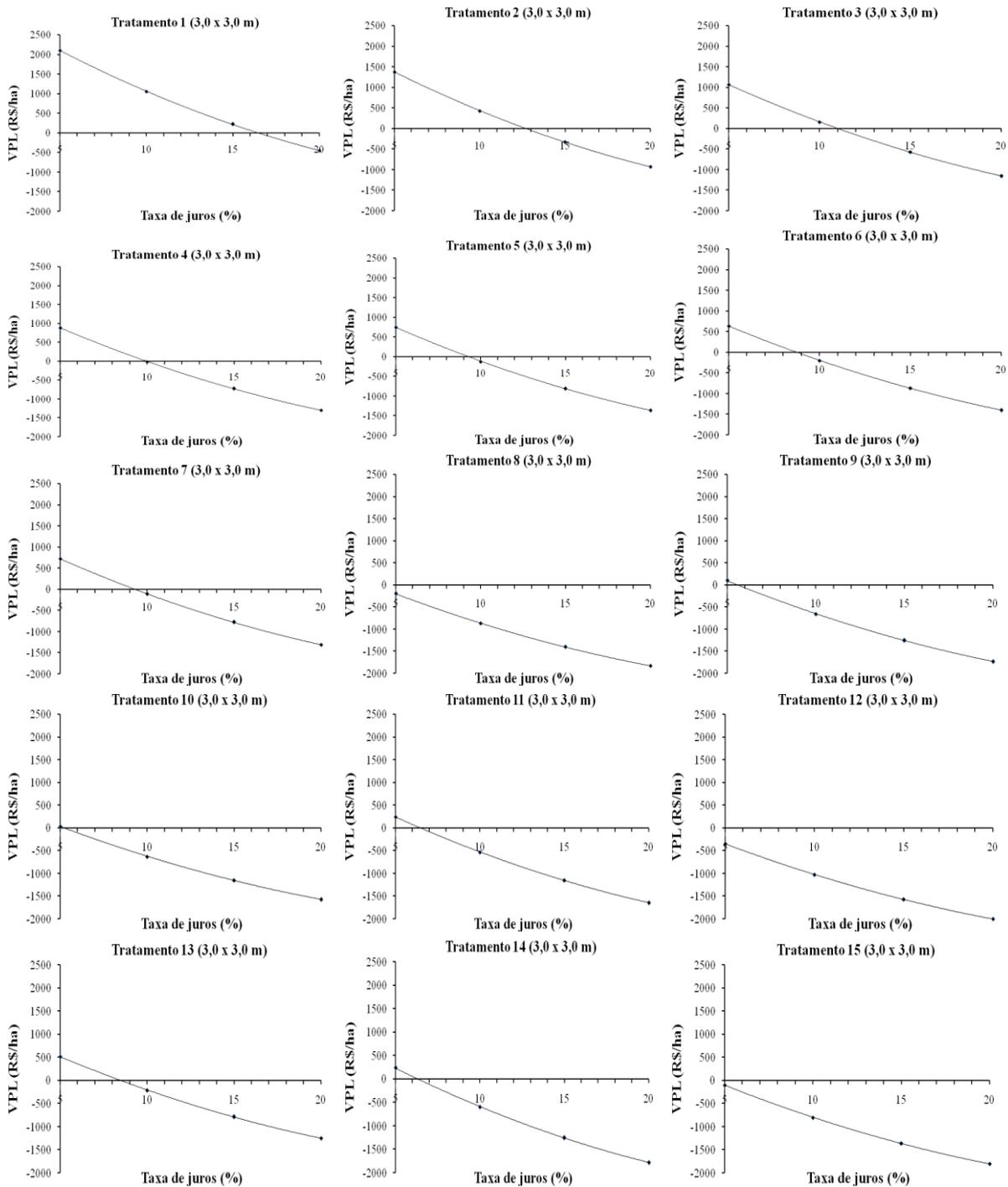


Figura 6 - continua...

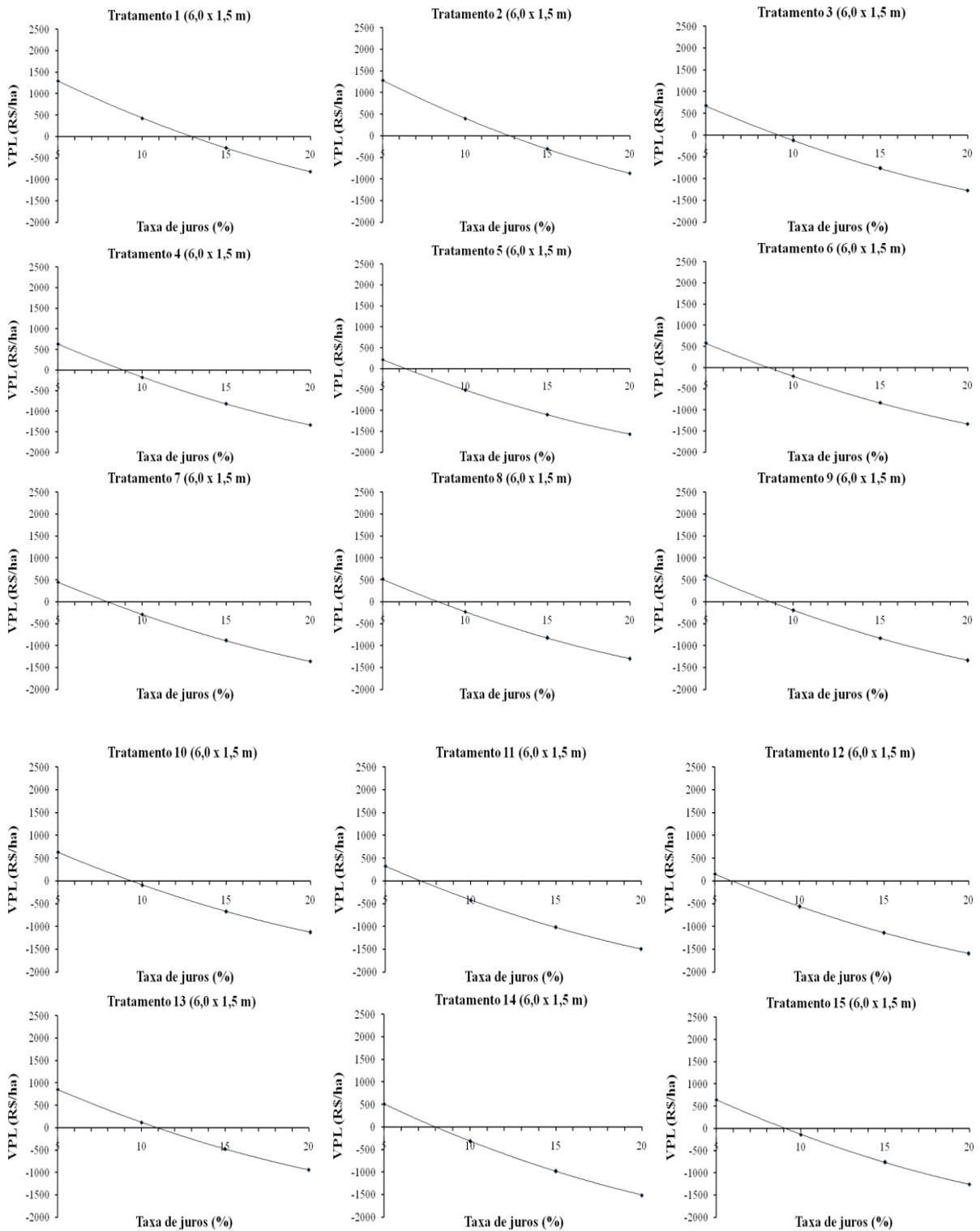


Figura 6 - Tendência do *VPL* dos tratamentos (projetos), nos dois arranjos em resposta à variação da taxa de juros.

Com a avaliação econômica, verificou-se que ocorreram importantes diferenças de resultados de acordo com a fertilização adotada. O *VPL* demonstrou que variando o preço da madeira para a taxa de juros considerada (8,75 % a.a), muitos tratamentos se tornaram inviáveis do ponto de vista econômico (Tabela 20).

Tabela 20 - Valor Presente Líquido – *VPL*<sup>1</sup> para produção de madeira, considerando 15 tratamentos em dois arranjos e diferentes preços de comercialização da madeira

Tratamento	Preço da madeira (R\$/Mg)							
	3,0 x 3,0 m				6,0 x 1,5 m			
	70,0	80,0	100,0	110,0	70,0	80,0	100,0	110,0
1	160,9	764,2	1970,9	2574,2	-314,3	184,1	1180,7	1679,1
2	-380,2	162,7	1248,5	1791,4	-355,4	151,7	1166,0	1673,2
3	-627,0	-102,3	947,2	1471,9	-805,7	-346,6	571,6	1030,7
4	-778,8	-265,2	762,1	1275,7	-862,2	-399,8	525,1	987,6
5	-864,8	-366,5	630,3	1128,6	-1140,4	-720,2	120,1	540,3
6	-917,1	-435,0	529,2	1011,3	-874,6	-424,4	476,0	926,1
7	-825,1	-344,9	615,4	1095,5	-924,3	-497,1	357,3	784,5
8	-1437,3	-1052,2	-282,1	103,0	-866,7	-438,2	419,0	847,6
9	-1298,9	-865,3	2,1	435,8	-874,7	-418,4	494,2	950,5
10	-1192,8	-814,4	-57,5	320,9	-710,9	-295,7	534,7	949,9
11	-1199,2	-753,1	139,1	585,2	-1058,7	-630,5	225,9	654,1
12	-1607,4	-1216,3	-434,2	-43,1	-1178,8	-764,9	62,9	476,8
13	-830,6	-413,9	419,5	836,2	-512,1	-88,3	759,3	1183,1
14	-1304,4	-826,8	128,6	606,3	-1029,9	-552,3	402,8	880,4
15	-1401,0	-998,3	-192,9	209,8	-805,1	-355,7	543,2	992,6

<sup>1</sup> *VPL* – R\$.ha<sup>-1</sup>, horizonte de planejamento de 4 anos.

Ao considerar a variação do preço de comercialização da madeira, apenas o tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m foi viável economicamente (R\$160,9.ha<sup>-1</sup>) quando o preço de venda é de R\$70,0.Mg<sup>-1</sup>. No arranjo 6,0 x 1,5 m, todos os tratamentos foram inviáveis quando se considera esse preço de comercialização (Tabela 20).

Considerando-se o preço da madeira de R\$110,0.Mg<sup>-1</sup>, apenas o tratamento 12 no arranjo 3,0 x 3,0 m apresentou inviabilidade econômica.

Ao analisar todos os critérios, mantidos os preços atuais, o *VPL* demonstrou que os tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 7 são viáveis nos atuais preços de mercado (R\$89,0.Mg<sup>-1</sup>) para a produção e venda de madeira em pé, no arranjo 3,0 x 3,0 m.

Os resultados permitiram apontar que, quando se utiliza a fertilização adotada no tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m, ocorre potencialização de utilização do uso da terra e retorno econômico aos 48 meses, mesmo que não esteja no ciclo final de corte do eucalipto, que ocorre em torno de sete anos.

#### 4. DISCUSSÃO

O Benchmark possui como característica principal a avaliação de performance relativa entre tratamentos de interesse. No caso específico deste trabalho, pauta-se na avaliação do efeito de fertilizações comerciais utilizadas por grandes empresas que atuam no estado de Minas Gerais sobre a produção do eucalipto e sua viabilidade econômica. Pela característica do experimento abordado nessa pesquisa, não se avaliou doses de nutrientes aplicadas por diferentes empresas. A análise baseou-se no efeito conjunto da fertilização sobre a produção. Esta comparação é importante, porque não se tem uma recomendação única de fertilização para eucalipto adotada por empresas produtoras, apesar de os solos onde os plantios estão instalados possuírem baixa ou muito baixa fertilidade natural.

Como todas as empresas, de forma geral, adotam o método do balanço nutricional para definir as fertilizações, não deveria existir grandes discrepâncias nas recomendações. Na literatura é comum observar diferentes recomendações de fertilização em áreas semelhantes, apesar de não ocorrer compatíveis ganhos econômicos com as maiores quantidades de nutrientes aplicadas. Nesse estudo observou-se grandes discrepâncias em termos produtivos e econômicos (Tabelas 8 e 19), como os resultados observados por Stape et al. (2008 e 2010) que corroboram com tal afirmativa.

Em trabalhos que avaliam o efeito de diferentes doses de nutrientes sobre a produtividade de eucalipto não se tem uma correlação direta entre aumento das doses e aumento da produtividade. Alguns autores explicam que a lixiviação dos nutrientes aplicados, para fora da zona do sistema radicular, pode ser responsável pela falta de proporcionalidade de resposta às fertilizações que se aplicaram mais nutrientes. Entretanto, estes trabalhos não consideram profundidades efetivas do sistema radicular maiores que 100 cm. Trabalhos recentes têm demonstrado a grande capacidade do eucalipto em absorver água e nutrientes em camadas profundas (CRISTINA et al. 2011, LACLAU et al. 2013). Estes autores observaram uma proporcionalidade de crescimento de copa e raízes finas de eucalipto nos anos iniciais de formação da floresta, assim como a exploração de camadas muito profundas por este tipo de raízes em solos de textura arenosa, muito semelhantes à condição do presente estudo. Desta forma, neste trabalho assumiu-se que os nutrientes aplicados nos tratamentos foram absorvidos pelo povoamento.

Considerando a produção de biomassa aérea aos 48 meses, o tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m foi o mais produtivo. Este produziu cerca de 1,50 vezes mais biomassa aérea que o tratamento 8, o menos produtivo (Tabela 8), evidenciando a elevada capacidade produtiva dessa fertilização para a região. A biomassa média do tratamento 1 (Tabela 8) aos 48 meses foi superior à média de produção encontrada por Stape et al. (2010) ( $75,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na região norte de Minas Gerais, nessa mesma idade. O maior crescimento em biomassa em resposta ao tratamento 1 nesse experimento, ratifica a importância da fertilização para se alcançar produtividades elevadas das florestas plantadas em solos de Cerrado.

A biomassa total média aos 48 meses nos arranjos 3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m foi de 74,3 e 71,8  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 8). Nessa mesma idade, dados similares foram obtidos por Schumacher e Caldeira (2001) em um povoamento de *Eucalyptus globulus*, onde foi estimada a biomassa total em  $83,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Ainda, segundo estes mesmos autores, o componente tronco apresentou a maior quantidade de biomassa ( $64,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) ou seja, 78% do total da parte aérea, seguido das folhas e galhos. Conforme Alves et al. (2007), geralmente os componentes da parte aérea das árvores têm sua biomassa distribuída na seguinte ordem: tronco>galhos>folhas, resultados similares foram encontrados nesta pesquisa. Estes resultados correspondem ao padrão comportamental de crescimento e distribuição dos componentes de biomassa da parte aérea de *Eucalyptus* nos primeiros anos após o estabelecimento.

Os tratamentos de fertilização que receberam adubos e quantidades variadas no arranjo 3,0 x 3,0 m apresentaram crescimento superior ao das plantas que não receberam fertilização (Tabela 9), seguramente, em decorrência da limitação de nutrientes exigidos para o crescimento destas plantas. Resultados semelhantes foram relatados por diversos autores (OLIVEIRA NETO et al., 2010; RODRIGUES et al., 2010; SILVA et al., 2013), que observaram que a fertilização mineral promoveu a elevação da produtividade de madeira de eucalipto, quando estabelecidos em sítios com limitação de nutrientes, como a área em que foi constituído este estudo. Esses mesmos autores relataram incremento de até 48% em relação à testemunha. A relação direta e positiva entre produtividade e nutrição florestal é amplamente comprovada na literatura (BELLOTE et al., 1983; BARROS e NOVAIS, 1990; SANTANA et al., 1999), até que o fator limitante água passe a ser definidor da produtividade.

O tratamento 14 nos dois arranjos estudados (3,0 x 3,0 m e 6,0 x 1,5 m) apresentou maior biomassa aérea aos 12 meses em relação aos demais tratamentos. No entanto, o aumento na produção de biomassa desse tratamento diminuiu a partir do segundo ano. Uma

possibilidade desta ocorrência pode ter sido o fato desse tratamento ter recebido grandes quantidades de nutrientes no plantio. Em estudo realizado no estado de São Paulo, o eucalipto respondeu positivamente ao aumento de doses de fertilizantes, resultando em aumento de produtividade, no entanto, os efeitos de doses mais elevadas diminuíram a partir do segundo ano de plantio (SILVA et al., 2013). Resultados semelhantes também foram observados por Pulito (2009) e Stape et al. (2010). Barros et al. (1981), estudando a resposta da fertilização na produção de eucalipto em solos de cerrado, constataram que a fertilização é essencial para a obtenção de boas produções e que a taxa de crescimento nos dois primeiros anos é diferenciada conforme a adubação, porém tendem a se igualar posteriormente.

Destaca-se que a quantidade de cada nutriente deve ser aplicada de acordo com a capacidade de assimilação da planta para manter as concentrações dos nutrientes nos tecidos vegetais em níveis apropriados. Os resultados demonstram que a taxa de crescimento do eucalipto nos tratamentos em que se aplicaram maiores quantidades de nutrientes reduziu-se a partir do segundo ano. Isto ocorreu após a fase do tocar de copas, ou seja, as plantas ocuparam a área total e a competição intraespecífica por água e luz tornou-se mais restritiva ao crescimento. Antes desta fase, como havia maior disponibilidade destes recursos, as plantas conseguiram apresentar taxas superiores de crescimento nos tratamentos que foram aplicados maiores quantidades de fertilizantes. Os resultados observados por Stape et al., (2008 e 2010), Alves (2011) e Silva et al., (2013) corroboram com o observado neste estudo.

O fato dos tratamentos avaliados ainda não apresentarem estagnação de crescimento até os 48 meses, evidencia a elevada capacidade das fertilizações adotadas associada à capacidade produtiva do sítio. Barros et al. (2005) destacaram que a maior proporção de nutrientes requeridos por espécies florestais de rápido crescimento, como o eucalipto, devem ser fornecidas até, no máximo, a idade de três anos. Após essa idade, os processos de ciclagem bioquímica e biogeoquímica são capazes de atender a demanda de nutrientes até o final da rotação.

Os tratamentos 1, 2, 3 e 4 no arranjo 3,0 x 3,0 m apresentaram produções de biomassa de tronco acima de 71,8 Mg.ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a um Incremento Médio Anual (IMA) de 40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (densidade do clone: 0,45 Mg.m<sup>-3</sup>) (CASTRO et al., 2013), produção expressiva considerando as condições edafoclimáticas da região. Portanto, são fertilizações indicadas para a região.

A fertilização possibilitou o aumento da área foliar, atingindo *IAF* de 5,67 (T1 - 3,0 x 3,0 m) aos 36 meses pós-plantio (Tabela 14). Resultados semelhantes também foram obtidos por Almeida et al. (2010), com média de 5,4 nessa mesma idade. O aumento do *IAF*, proporcionado pela fertilização, é possivelmente o fator que mais contribuiu para elevação da produtividade, pois permite aumentar a eficiência da absorção e o aproveitamento da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) o que, de acordo com Stape et al. (2004), sítios florestais de maior produtividade com *IAF* de 4,3 conseguiram capturar 78% da RFA, enquanto outros sítios de produtividade mais baixa, com *IAF* de 2,9 aproveitaram apenas 65% da RFA incidente.

O arranjo promoveu efeito significativo para a quantidade de serrapilheira. No arranjo quadrado (3,0 x 3,0 m) a quantidade de serrapilheira foi superior em relação ao arranjo retangular (6,0 x 1,5 m). Uma das causas provável para esta significância pode ter sido o fato de no arranjo retangular incidir mais luz, acelerando assim a decomposição desta (BRASIL et al., 2013).

As plantas propagadas de forma vegetativa, por possuírem características genéticas idênticas, teoricamente expressam a uniformidade máxima em um dado local quando a qualidade silvicultural é adequada. A uniformidade da maioria dos tratamentos se mostrou adequada em ambos os arranjos estudados (Figuras 4 e 5). Portanto, pode-se afirmar que o experimento foi conduzido de forma eficiente, reduzindo a influência de efeitos externos no resultado dos tratamentos aplicados. As recomendações técnicas corretas associadas à qualidade da execução são fatores de sucesso para um povoamento alcançar sua produtividade atingível (STAPE et al., 2010).

A ausência de grande diferença no comportamento da uniformidade entre os tratamentos (Figuras 4 e 5) demonstra que, quando as recomendações técnicas e a qualidade da execução das operações são realizadas dentro de um padrão ótimo (HAKAMADA, 2012), como no caso dos tratamentos, resulta em um comportamento padrão da uniformidade, independentemente da fertilização adotada no local. Isso ocorre porque as fertilizações são prescrições operacionais adotadas após vários estudos teóricos/práticos nas diferentes empresas.

Para a avaliação de projetos é necessário um bom controle e/ou planejamento das despesas e receitas. Vários trabalhos científicos apontam produtividades superiores para os arranjos quadrados e é exatamente o que ocorreu em muitos tratamentos (Tabela 8). Contudo,

esperava-se encontrar um custo menor de formação de florestas no arranjo retangular o que poderia aumentar o *VPL*. Neste caso, ocorreu redução dos custos para o arranjo 6,0 x 1,5 m, porém a produção no arranjo 3,0 x 3,0 m, na maioria dos tratamentos, foi superior, resultando em *VPL*'s superiores aos encontrados no arranjo 6,0 x 1,5 m (Tabela 19).

Ao se fazer uma recomendação de fertilização, de forma geral, almeja-se uma melhor produção nos tratamentos que se aplicam maiores investimentos. Correlacionando-se o custo da fertilização (produto + aplicação) (Tabela 6), com a produção de biomassa de tronco aos 12, 24, 36 e 48 meses (Tabela 8), obteve-se respectivamente, os seguintes coeficientes de correlação de Pearson: 0,37; 0,28; 0,11 e 0,25, (todos foram não significativos a  $p < 0,15$ ), no arranjo 3,0 x 3,0 m. Isto demonstra que a demanda nutricional da planta é mais importante que o montante de investimento realizado.

O crescimento do tratamento 14 se destacou no primeiro ano (Tabela 8), como também foi o tratamento em que ocorreu o maior investimento (Tabela 6). Este tratamento recebeu fertilização muito elevada de N e K (Tabela 10). O custo destes dois nutrientes está entre os mais altos do mercado. É comum na literatura observar este comportamento (BARROS et al., 1990; GONÇALVES et al., 2008; PULITO, 2009), ou seja, o crescimento inicial mais rápido com adição de maiores quantidades de N.

A partir do segundo ano o tratamento 1 se destacou como o mais produtivo (Tabela 8). Este recebeu apenas 3,3% da dose de N e 48,9% da quantidade de K que foram aplicadas no tratamento 14 (Tabela 10). Para a região em estudo é evidente que não há necessidade de aplicar quantidades elevadas de N, fato este que se repete em diferentes regiões brasileiras de acordo com os autores anteriormente citados. Além de não promover maiores ganhos de produtividade, este nutriente impacta sensivelmente o custo das fertilizações e é ambientalmente não desejável.

Com a avaliação econômica foram observadas importantes diferenças de acordo com a fertilização adotada (Tabela 19). O *VPL* demonstrou que os tratamentos influenciaram de forma significativa os resultados das receitas, considerando o preço de mercado da madeira (R\$89,00.Mg<sup>-1</sup> de tronco). Demonstrou também alta vulnerabilidade dos tratamentos no caso de possíveis retrações do mercado (Tabela 20). A rentabilidade quanto ao critério *TIR* coincidiu com o método do *VPL*, confirmando a superioridade do tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m. Este apresentou taxa superior (Tabela 19) à taxa mínima de atratividade utilizada nesse estudo (8,75% a.a), indicando assim, que houve economicidade no uso da fertilização

mineral. Por meio do critério *B/C*, o projeto é viável economicamente se apresentar a razão maior que um (SILVA et al., 2005), e foi o que ocorreu com o tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m, sendo as receitas 34% superiores em relação aos custos (Tabela 19). A análise do critério *B(C)PE* respaldou as conclusões quando analisado o *VPL*. Como todos os tratamentos têm a mesma duração, a ordenação destes pelos critérios do *B(C)PE* e *VPL* foram coincidentes.

Cabe ressaltar que esses ganhos financeiros, via uso de fertilizantes, são parâmetros de vital importância para fazendeiros florestais e empresas que se encontram envolvidos em programas contínuos de reflorestamento. No entanto, a forma de avaliá-los deve ser feita com base em diferentes considerações com respeito ao uso dos fertilizantes. Outro fator de suma importância e de efeito direto com respeito à decisão de se investir ou não em fertilização relaciona-se com a taxa de desconto utilizada (BERGER e GARLIPP, 1980).

O tratamento 1 no arranjo 3,0 x 3,0 m aos 48 meses foi o que alcançou os melhores resultados conforme os critérios econômicos avaliados (Tabela 19). Isto demonstra que provavelmente ao final do ciclo de seis ou sete anos a tendência desse tratamento produzir maior quantidade de biomassa deverá permanecer entre os mais produtivos. Ainda com relação a esse tratamento em específico, deve-se considerar a possibilidade de corte do povoamento aos 48 meses para a produção de biomassa para energia. A principal vantagem de se colher em idade jovem é a possibilidade de obter adequada produção de biomassa por hectare, em um espaço de tempo ou rotação menor do que a rotação tradicional de sete anos.

Segundo Rezende et al. (1994), a seleção precoce de eucaliptos aos dois anos de idade em programas de melhoramento pode ser adotada, por não ocorrer variação significativa na hierarquia da seleção nesta idade com a idade de corte. Os resultados observados por Beltrame et al. (2012) corroboram com o observado pelos autores anteriormente citados, demonstrando também, que existe alta correlação entre o crescimento aos três com sete anos de idade. Santana et al. (2008) avaliaram a absorção de nutrientes por eucalipto em várias regiões do Brasil, inclusive no local do presente estudo. Eles observaram que, aproximadamente 70% da demanda total de nutrientes é absorvida até quatro anos de idade. Após esta idade a ciclagem de nutrientes é responsável pela manutenção da produtividade.

Segundo Stape et al. (2008 e 2010), Alves (2011) e Silva et al. (2013) a taxa de resposta a fertilização reduz ao longo dos anos em tratamentos com fertilização mais pesada.

Portanto, não se espera significativa alteração de resposta dos tratamentos aplicados após a fase juvenil.

No presente estudo, após três anos de idade não ocorreu inversão na classificação da produtividade entre os tratamentos (Tabela 8). Portanto, com o intuito de simular uma avaliação econômica aos sete anos, assumiu-se que a produtividade alcançada por cada tratamento, aos quatro anos, se repetirá aos sete. Baseado nesta premissa, todos os tratamentos no arranjo 3,0 x 3,0 m demonstraram viabilidade econômica aos sete anos, segundo o critério *VPL*. Tal resultado já era esperado, pois as fertilizações utilizadas são práticas operacionais de grandes empresas que atuam em Minas Gerais.

A seguinte ordem de viabilidade foi observada entre os tratamentos: 1>2>3>4>5>7>6>13>14>11>9>10>15>8>12, diferindo na seguinte magnitude: 100% T1, 76% T2, 66% T3, 60% T4, 56% T5, 54% T7, 51% T6, 43% T13, 41% T14, 38% T11, 33% T9, 27% T10, 25% T15, 22% T8 e 18% T12. Para esta simulação considerou-se a melhor viabilidade como 100% cujo *VPL* foi de R\$3.872,90/ha, a uma taxa de juros de 8,75% e R\$100,00 o custo da tonelada de madeira em pé. Melido (2012), utilizando o mesmo material genético e espaçamento (3,0 x 3,0 m) do presente estudo, na região Norte de Minas Gerais obteve *VPL* aos sete anos de R\$3565,00/ha e Souza et al. (2012) obtiveram *VPL*= R\$3789,0/ha para eucalipto na região do Alto Jequitinhonha-MG. Estes resultados corroboram com o observado na presente simulação.

É notório que a escolha da fertilização, do espaçamento e/ou arranjo ideal para um determinado material genético considere diversos fatores como, por exemplo, o sistema de mecanização das atividades florestais, a dinâmica de crescimento da floresta e a sustentabilidade da produção de um determinado local. Também, é necessário analisar o efeito da fertilização e do espaçamento sobre a produtividade do local em longo prazo. Dependendo da fertilização adotada, esta pode resultar em povoamentos com maior biomassa total e idade de corte menor, o que pode comprometer a produtividade do local em longo prazo, pela exportação de nutrientes imobilizados na madeira. Por outro lado, a liberação de nutrientes imobilizados na serrapilheira é lenta, sendo necessário um tempo maior de permanência deste material no campo para que ocorra a sua decomposição e liberação de nutrientes para o solo (COSTA et al., 2005) e absorção pela planta.

## 5. CONCLUSÕES

- O crescimento em biomassa por hectare respondeu positivamente à aplicação de nutrientes, no entanto, os efeitos das quantidades mais elevadas diminuíram a partir do segundo ano após o plantio.
- Os teores de clorofila e o índice de área foliar tenderam a aumentar com a biomassa produzida.
- O Pvar50% se confirmou como um índice importante na avaliação da uniformidade para o monitoramento da qualidade silvicultural, independente da fertilização utilizada aos 12 meses.
- O tratamento 1 (2000kg de agrosilício, 400kg de fosfato reativo, 130kg de 04:26:16+0,5%Cu+0,5%Zn e 150kg de KCl+1%B por hectare) no arranjo 3,0 x 3,0 m mostrou-se como a opção mais atrativa segundo os critérios econômicos avaliados, considerando a venda de madeira em pé.
- Cabe destacar a particularidade da situação do experimento, cujos resultados e conclusões são válidos para o material genético em questão e nas condições de solo e clima em que o ensaio foi instalado, bem como com relação aos custos e preços utilizados nas análises. Desta forma, convém e é clara a necessidade de se conduzir experimentos desta natureza para situações específicas, visando à obtenção de resultados de interesse para um dado material genético, a depender das propriedades do solo e do clima, evitando, assim, extrapolações e generalizações equivocadas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; RANGER, J.; ANDRÉ, L. S. A positive growth response to NaCl applications in Eucalyptus plantations established on K-deficient soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1786-1795, 2010.
- ALVAREZ V., V. H., ROSCOE, R., KURIHARA, C. H., PEREIRA, N. F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L., eds. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados de análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa CFSEMG, 1999, v. 1, p. 25-32.
- ALVES, A. M. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; BARRETO, L. P. Quantificação da Produção de Biomassa em Clones de Eucaliptos com 4,5 anos, no Pólo Gesseiro do Araripe-PE. **Revista de Ciências Agrárias** (Belém), v. 48, p. 161-173, 2007.
- ALVES, F. F. **Seca de ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- ANDRADE, A. M.; VITAL, B. R.; BARROS, N. F.; LUCIA, R. M. D.; CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 69-78, 1994.
- BARROS, N. F. & COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M., eds. **Tópicos em Ciência do Solo II**. Viçosa, SBCS, 2002, p. 487-592.
- BARROS, N. F.; BRAGA, J. M.; BRANDI, R. M.; DEFELIPO, B. V. Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, v. 5, p. 90-103, 1981.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 390p.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M., eds. **Tópicos em Ciência do Solo II**. Viçosa, SBCS, 2002, p.487-592.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Revista Visão Agrícola**, v. 14, p. 76-79, 2005.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M. & ADAMS, M. A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, **CISRO**, 1996, p. 335-356.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, A.; MATTOS, B. D.; FILHO, A. C.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Revista Pesq. agropec. bras.**, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.

BERGER, R.; GARLIPP, R. C. D. Aspectos econômicos do emprego de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* no estado de São Paulo. **IPEF**, n. 20, p. 49-58, 1980.

BRASIL, L. S.; GIEHL, N. F. S.; SANTOS, J. O.; SANTOS, A. O.; MARIMON, B. S.; JUNIOR, B. H. M. Efeito de borda sobre a camada de serrapilheira em área de cerradão no leste de Mato Grosso. **Revista Biotemas**, v. 26, n. 3, p. 37-47, 2013.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3.ed., Viçosa: UFV, 2009. 548p.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V. V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L., (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-872.

CASTRO, A. F. M. N.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de

eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Revista Agropec. bras.**, v. 48, n. 6, p. 627-653, Junho, 2013.

CASTRO, R. V. O.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SOARES, C. P. B.; JÚNIOR, C. A. A.; CASTRO, A. F. N.; CRUZ, J. P.; SANTOS, F. L.; SOUZA, C. C. Avaliação econômica de um povoamento de eucalipto desbastado e destinado a multiprodutos da madeira. **Revista Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 351-357, 2011.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; DIAS, A. N.; 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.

CRISTINA, M.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; BOUILLET, J. P. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, p.1-10, 2011.

CURTIS, R. O.; MARSHALL, D. D. Why quadratic mean diameter?. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 15, n. 3, p. 137-139, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Revista Ciência e Agrotecnologia (UFPA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, J. M. A.; STAPE, J. L. Productivity gains by fertilisation in *Eucalyptus urophylla* clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, 71:4, p.253-258, 2013.

FONSECA, S. M.; ALFENAS, A. C.; ALFENAS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. **Cultura do eucalipto em áreas montanhosas**. Viçosa: SIF, 2007. v. 1. 43 p.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **DOCUMENTOS FLORESTAIS**: Piracicaba, 1995. 15p.

GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing Eucalypt plantations: The Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, p. 105-118, 2008.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio-sólido. **Revista Scientia Forestalis**, n. 63, p. 188-201, jun.2003.

HAKAMADA, R.E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em povoamentos clonais de *Eucalyptus***. Piracicaba, SP: USP, 2012. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

LACLAU, J. P.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G. R.; BERNOUX, M.; MAIRE, G.; STAPE, J.L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Front Plant Science**, v. 4, p.1-12, 2013.

MELIDO, R.C.N. **Avaliação técnica e econômica de dois projetos florestais com eucalipto para fins energéticos**. Distrito Federal, DF: UnB, 2012. 113p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2009.

MELLO, H. A.; MASCARENHAS, S. J.; SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* SM. em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, n.1, p.7-26, 1970.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, p. 25-98,1990.

NOVAIS, R. F. e SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

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. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, p. 755-762, out./dez., 2010.

OLIVEIRA, A. D.; LEITE, A. P.; BOTELHO, S. A.; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamento de eucalipto plantado em monocultura. **Revista Cerne**, v.4, n.1, p. 034-056, 1998.

PULITO, A. N. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados em plantações de *Eucalytus***. Piracicaba, SP: ESALQ, 2009. 58p. Dissertação de Mestrado em Silvicultura e Manejo Florestal – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.

QUEIROZ, R.; SOUZA, A.G.; SANTANA, P.; ANTUNES, F.Z.; FONTES, M.. Zoneamento Agroclimático do Estado de Minas Gerais. Secretaria da Agricultura, Belo Horizonte, 1980.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce da recomendação de clones de eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Revista Cerne**, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 386 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H.. (eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa CFSEMG, 1999, v. 1, p. 303-305.

RODRIGUES, F. A. V.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H. V.; NOVAIS, R. F. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de cerrado. **Revista Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 1923-1932, 2010.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Bras. Ci. Solo**, v. 32, n. 2 p. 2723-2733, 2008.

SANTANA, R.C; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie maidenii. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n. 1, p. 45-53,2001.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 2, p. 507-512, 1974.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.

SILVA, M.L.; FONTES, A.A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

SILVA, P. H. M; POGGIANI, F; LIBARDI, P. L; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, 2013.

SOUZA, P. S.; SANTANA, R. C.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. R. L.; SOUZA, A. N.; ANGELO, H. Avaliação econômica de plantações de eucalipto no alto Jequitinhonha-MG. **Revista Biomassa e Energia**, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2012.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 17–31, 2004.

STAPE, J.L.; ROCHA, J.C.; DONATTI, Z. Indicadores de qualidade silvicultural na Aracruz: 2000 a 2005. **Relatório Técnico IPEF**, Piracicaba, 2006.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3, p. 920-930, 2008.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FONSECA, S.; LOOS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.A.; LIMA, A.M.N.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C.; AZEVEDO, M.R. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and

stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684–1694, 2010.

STATSOFT, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 10.0. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

VITALE, V.; MIRANDA, G. M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região centro-sul do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 469-476, 2010.

## APÊNDICE A

Tabela 1A - Resumo das análises de variância para o diâmetro médio ( $q$ ) em centímetros, aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0349	0,0150	0,0528	0,0569
Fertilização (parcela)	14	0,6894*	0,5062*	0,7961*	0,6629*
Resíduo (a)	42	0,0135	0,0250	0,0391	0,0521
Espaçamento (subparcela)	1	0,3000 <sup>ns</sup>	0,0023 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,4725 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	3	0,0687	0,0779	0,0474	0,0659
Fertilização x Espaçamento	14	0,1279*	0,0990*	0,0794 <sup>ns</sup>	0,1118*
Resíduo (c)	42	0,0204	0,0291	0,0417	0,0457
CV Resíduo (a)		2,01	1,6	1,69	1,77
CV Resíduo (b)		4,53	2,83	1,86	1,99
CV Resíduo (c)		2,47	1,73	1,74	1,66

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 2A - Resumo das análises de variância para a média da altura total ( $Ht$ ) em metros, aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0072	0,0106	0,0170	0,0564
Fertilização (parcela)	14	0,6676*	1,6998*	2,4682*	4,8456*
Resíduo (a)	42	0,0189	0,0213	0,0509	0,0532
Espaçamento (subparcela)	1	0,0354 <sup>ns</sup>	0,6279 <sup>ns</sup>	1,8402*	1,8551*
Resíduo (b)	3	0,0930	0,0678	0,0374	0,0116
Fertilização x Espaçamento	14	0,2298*	0,3751*	0,2650*	1,7038*
Resíduo (c)	42	0,0191	0,0287	0,0413	0,0398
CV Resíduo (a)		1,84	1,05	1,25	1,1
CV Resíduo (b)		4,09	1,88	1,07	0,51
CV Resíduo (c)		1,85	1,22	1,12	0,95

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 3A - Resumo das análises de variância para a área basal (*B*) em  $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ , aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0336	0,0473	0,2330	0,2897
Fertilização (parcela)	14	0,7321*	1,5274*	3,3653*	3,4132*
Resíduo (a)	42	0,0138	0,0759	0,1646	0,2629
Espaçamento (subparcela)	1	0,3111 <sup>ns</sup>	0,0060 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	2,4339 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	3	0,0677	0,2311	0,1942	0,3469
Fertilização x Espaçamento	14	0,1290*	0,2907*	0,3331 <sup>ns</sup>	0,5802*
Resíduo (c)	42	0,0211	0,0874	0,1767	0,2314
CV Resíduo (a)		4,00	3,23	3,39	3,54
CV Resíduo (b)		8,86	5,64	3,68	4,06
CV Resíduo (c)		4,95	3,47	3,51	3,32

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 4A - Resumo das análises de variância para a biomassa de tronco em  $\text{Mg}.\text{ha}^{-1}$ , aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0320	0,5223	4,2854	13,3615
Fertilização (parcela)	14	1,1367*	24,3933*	119,3998*	314,0257*
Resíduo (a)	42	0,0228	0,6943	3,7709	9,5088
Espaçamento (subparcela)	1	0,2604 <sup>ns</sup>	3,6890 <sup>ns</sup>	22,3776 <sup>ns</sup>	174,8219*
Resíduo (b)	3	0,1148	2,5213	3,7339	7,6471
Fertilização x Espaçamento	14	0,2573*	3,8355*	14,7345*	88,1198*
Resíduo (c)	42	0,0277	0,8177	3,9501	8,4829
CV Resíduo (a)		6,63	4,48	4,75	4,83
CV Resíduo (b)		14,88	8,54	4,73	4,33
CV Resíduo (c)		7,31	4,86	4,86	4,56

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 5A - Resumo das análises de variância para a biomassa de folha em Mg.ha<sup>-1</sup>, aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0145	0,0033	0,0139	0,0076
Fertilização (parcela)	14	0,1728*	0,1460*	0,1826*	0,1323*
Resíduo (a)	42	0,0044	0,0072	0,0095	0,0093
Espaçamento (subparcela)	1	0,1401*	0,0227 <sup>ns</sup>	0,0521 <sup>ns</sup>	0,0429 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	3	0,0137	0,0162	0,0139	0,0180
Fertilização x Espaçamento	14	0,0248*	0,0480*	0,0163 <sup>ns</sup>	0,0186 <sup>ns</sup>
Resíduo (c)	42	0,0068	0,0077	0,0098	0,0081
CV Resíduo (a)		2,23	2,05	2,23	2,14
CV Resíduo (b)		3,94	3,07	2,69	2,98
CV Resíduo (c)		2,78	2,11	2,26	1,99

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 6A - Resumo das análises de variância para a biomassa de galho em Mg.ha<sup>-1</sup>, aos 12, 24, 36 e 48 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		12 meses	24 meses	36 meses	48 meses
Blocos	3	0,0108	0,0024	0,0107	0,0062
Fertilização (parcela)	14	0,1446*	0,1028*	0,1378*	0,0936*
Resíduo (a)	42	0,0034	0,0055	0,0076	0,0082
Espaçamento (subparcela)	1	0,0975 <sup>ns</sup>	0,0101 <sup>ns</sup>	0,0249 <sup>ns</sup>	0,0500 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	3	0,0121	0,0127	0,0098	0,0137
Fertilização x Espaçamento	14	0,0222*	0,0303*	0,0125 <sup>ns</sup>	0,0106 <sup>ns</sup>
Resíduo (c)	42	0,0052	0,0060	0,0081	0,0073
CV Resíduo (a)		2,05	1,79	1,95	1,93
CV Resíduo (b)		3,84	2,73	2,21	2,49
CV Resíduo (c)		2,53	1,88	2,01	1,82

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 7A - Resumo das análises de variância para diâmetro médio ( $q$ ), altura total ( $Ht$ ), espessura de casca ( $E$ ), altura de fuste ( $Hf$ ), diâmetro de copa ( $D$ ), área foliar ( $AF$ ) e área foliar específica ( $AFE$ ) aos 27 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$E$ (mm)	$Hf$ (m)	$D$ (m)	$IAF$ (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$AFE$ (cm <sup>2</sup> /g)
Blocos	3	0,1503	0,0403	0,1854	0,3236	0,0074	0,0093	1,9663
Fertilização (parcela)	14	0,6105 <sup>ns</sup>	0,1771 <sup>ns</sup>	0,4360 <sup>ns</sup>	0,5647*	0,0353*	0,2555*	61,4451 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	42	0,3251	0,1143	0,3015	0,1767	0,0125	0,0665	37,4640
Arranjo (subparcela)	1	0,1841 <sup>ns</sup>	0,0521 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>ns</sup>	0,1584 <sup>ns</sup>	5,0553*	4,2827*	2838,0468*
Resíduo (b)	3	0,1810	0,2570	0,1688	0,4434	0,0019	0,0296	16,4763
Fertilização x Arranjo	14	0,3944 <sup>ns</sup>	0,1476 <sup>ns</sup>	0,3146 <sup>ns</sup>	0,2848 <sup>ns</sup>	0,1371*	0,0924 <sup>ns</sup>	27,4265 <sup>ns</sup>
Resíduo (c)	42	0,2916	0,1506	0,3563	0,2863	0,0082	0,0545	28,1050
CV Resíduo (a)		5,74	2,35	13,24	7,61	5,01	6,79	6,67
CV Resíduo (b)		4,28	3,53	9,91	12,05	1,95	4,53	4,42
CV Resíduo (c)		5,43	2,7	14,4	9,68	4,07	6,15	5,77

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 8A - Resumo das análises de variância para diâmetro médio ( $q$ ), altura total ( $Ht$ ), espessura de casca ( $E$ ), altura de fuste ( $Hf$ ), diâmetro de copa ( $D$ ), área foliar ( $AF$ ) e área foliar específica ( $AFE$ ) aos 36 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		$q$ (cm)	$Ht$ (m)	$E$ (mm)	$Hf$ (m)	$D$ (m)	$IAF$ (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	$AFE$ (cm <sup>2</sup> /g)
Blocos	3	0,0814	0,5132	0,1261	0,9611	0,1448	0,5153	222,0389
Fertilização (parcela)	14	0,3349 <sup>ns</sup>	4,1287*	0,2417*	1,6030*	0,1460*	1,0202*	421,4968*
Resíduo (a)	42	1,1831	0,6436	0,1050	0,6269	0,0394	0,2626	118,9726
Arranjo (subparcela)	1	0,0368 <sup>ns</sup>	1,3441 <sup>ns</sup>	2,5521 <sup>ns</sup>	2,7603 <sup>ns</sup>	0,4477*	0,6497 <sup>ns</sup>	649,5123*
Resíduo (b)	3	1,2109	0,9899	0,3128	1,3183	0,0245	0,0836	31,9113
Fertilização x Arranjo	14	3,0970 <sup>ns</sup>	1,2377*	0,1471 <sup>ns</sup>	1,6280*	0,1019*	0,3950 <sup>ns</sup>	190,8218 <sup>ns</sup>
Resíduo (c)	42	12,2903	0,3782	0,1143	0,4474	0,0516	0,4186	220,6001
CV Resíduo (a)		3,64	4,37	8,46	9,99	7,50	10,29	9,55
CV Resíduo (b)		5,41	5,42	14,60	14,49	5,91	5,81	4,95
CV Resíduo (c)		4,60	3,35	8,83	8,44	8,59	13,00	13,00

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

Tabela 9A - Resumo das análises de variância para serrapilheira aos 36 meses e teor de clorofila aos 27 e 36 meses

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Serrapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Clorofila 27 meses	Clorofila 36 meses
Blocos	3	0,0702	48,3467	12,4216
Fertilização (parcela)	14	4,6331 <sup>ns</sup>	11,3985 <sup>ns</sup>	5,8813 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	42	2,4196	7,0795	3,7861
Arranjo (subparcela)	1	273,9443*	66,5881 <sup>ns</sup>	0,0550 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	3	1,9422	6,8274	8,3057
Fertilização x Arranjo	14	3,4381 <sup>ns</sup>	11,2441*	7,9817*
Resíduo (c)	42	2,0621	5,0256	2,9367
CV Resíduo (a)		20,26	6,94	4,81
CV Resíduo (b)		18,15	6,82	7,12
CV Resíduo (c)		18,70	5,85	4,23

<sup>ns</sup> F não-significativo; \* F significativo a 95 % de probabilidade.

