

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CORRELAÇÃO ENTRE BIOMASSA E NUTRIENTES DE GALHOS E FOLHAS EM
UM PLANTIO ADENSADO DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***

GUILHERME OGURI

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Agosto - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CORRELAÇÃO ENTRE BIOMASSA E NUTRIENTES DE GALHOS E FOLHAS EM
UM PLANTIO ADENSADO DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***

GUILHERME OGURI
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra
Co-orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Agosto - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

O35c Oguri, Guilherme, 1984-
Correlação entre biomassa e nutrientes de galhos e
folhas em um plantio adensado de *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla / Guilherme Oguri. - Botucatu :
[s.n.], 2012
iv, 35 f. : gráfs., color., tabs., fots. Color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu,
2012

Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Co-orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Bioenergia. 2. Floresta energética. 3. Sistema
florestal de curta rotação. I. Guerra, Saulo Philipe
Sebastião. II. Lanças, Kléber Pereira. III. Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de
Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “CORRELAÇÃO ENTRE BIOMASSA E NUTRIENTES DE GALHOS E
FOLHAS EM UM PLANTIO ADENSADO DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla”

ALUNO: GUILHERME OGURI

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPÉ S. GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SAULO PHILIPÉ S. GUERRA



PROF. DR. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA



PROF. DR. FABIO MINORU YAMAJI

Data da Realização: 09 de agosto de 2012

DEDICO

Aos meus pais, Nelson e Luiza e aos meus irmãos, Renata e Fábio.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu orientador e amigo Professor Saulo Guerra pela paciência, pelos conselhos, pelos conhecimentos adquiridos e pelas conquistas ao longo destes 7 anos de orientação pessoal e profissional.

Aos professores Kléber Pereira Lanças, José Mauro Santana e Fábio Minoru Yamaji, por participarem e contribuírem com este trabalho.

Ao amigo Éder Aparecido Garcia, pela dedicação na ajuda para realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, Marcos, Mário e Nivaldo pelas constantes ajudas.

A todos integrantes e ex-integrantes do NEMPA, que nunca negaram uma ajuda, pelos conhecimentos, pelo companheirismo, pela paciência.

A todos moradores e ex-moradores da República Kanta Galo, companheiros, irmãos, pela fundamental experiência de vida adquirida ao longo destes 9 anos de convivência.

À minha família, pelo inigualável apoio que recebi e recebo em todos os dias da minha vida.

E a todos que sempre estiveram ao meu lado, ajudando de forma direta ou indireta, por mais esta conquista.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	2
3 INTRODUÇÃO.....	4
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1 Eucalipto	6
4.2 Biomassa florestal	7
4.3 Efeito do espaçamento em plantios de eucalipto	8
4.4 Nutrientes no eucalipto	10
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
5.1 Localização e caracterização da área experimental	13
5.2 Histórico da área	14
5.3 Delineamento experimental	14
5.4 Amostragem do experimento	16
5.5 Biomassa de galhos e folhas	17
5.6 Nutrientes nos galhos e nas folhas	18
5.7 Poder calorífico em galhos.....	18
5.8 Análise estatística.....	19
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6.1 Biomassa de galhos e folhas	20
6.2 Nutrientes nos galhos e nas folhas	23
6.3 Poder calorífico superior nos galhos	28
7 CONCLUSÕES	29
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01 -	Esquema de distribuição das unidades experimentais.....	16
02 -	Folhas e galhos coletados de um mesmo indivíduo.....	17
03 -	Poder calorífico superior em função da idade do plantio.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
01 -	Dose 1 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, boro e zinco.....	15
02 -	Dose 2 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, boro e zinco.....	15
03 -	Dose 3 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, boro e zinco.....	15
04 -	Biomassa média dos galhos em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	21
05 -	Biomassa média das folhas em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	21
06 -	Biomassa média de galhos e folhas em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	23
07 -	Teor médio dos nutrientes nas folhas em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	24
08 -	Quantidade média dos nutrientes nas folhas em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	25
09 -	Teor médio dos nutrientes nos galhos em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	26
10 -	Quantidade média dos nutrientes nos galhos em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.....	27

1 RESUMO

Este estudo teve com objetivo avaliar a produção de biomassa e correlacionar com os nutrientes de galhos e folhas que poderão ser exportados através da colheita mecanizada, bem como o poder calorífico dos galhos em função de diferentes espaçamentos e adubações em um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de curta rotação. O plantio da área em estudo ocorreu em dezembro de 2008, totalizando 5,8 ha. A área total foi dividida em cinco espaçamentos utilizando três diferentes doses de adubação. Nas idades de 18 meses, 24 meses e 30 meses após o plantio, foi realizado um inventário coletando informações de diâmetro a altura do peito (DAP) para escolha das árvores-amostra com o intuito de obter dados sobre a biomassa de galhos e folhas, assim como o poder calorífico dos galhos e nutrientes nas folhas e nos galhos. Amostras de galhos e folhas foram coletadas e pesadas no campo e levadas para estufa para posterior cálculo de biomassa seca por unidade de área. Os nutrientes em estudo foram os macronutrientes, nitrogênio, fósforo e potássio e; os micronutrientes, boro e zinco. Para o cálculo do poder calorífico superior (PCS) utilizou-se uma bomba calorimétrica seguindo a norma NBR 8633. Todos os resultados foram analisados pela análise de variância e, posteriormente, teste de Tukey. Concluiu-se que a biomassa de galhos e folhas aumentou de acordo com o nível de adubação e, também que aumentando a dose de fertilizantes, maior será a exportação de nutrientes nas folhas e nos galhos.

Palavras-chave: bioenergia, floresta energética, sistema florestal de curta rotação.

CORRELATION BETWEEN BIOMASS AND NUTRIENTS FROM BRANCHES AND LEAVES IN AN *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* SHORT CROP ROTATION. Botucatu, 2012. 64p. Dissertation (Master Science in Agricultural Energy) – Agronomical Science College, Sao Paulo State University

Author: GUILHERME OGURI

Advisor: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Co-advisor: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

2 SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the biomass production and correlate with branches and leaves nutrients content that will be exported by mechanical harvesting, as well as the calorific value of branches as a function of spacings with three levels of fertilization in an *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* short rotation forest. The forest was planted in December 2008 in a total of 5,8 ha. At 18 months, 24 months and 30 months after planting we collected information about diameter to choose the sample-trees in order to obtain branches and leaves biomass data, as well as the branches and leaves nutrients content and calorific value of branches. Leaves and branches samples were collected and weighted on the field and taken at greenhouse to calculate dry biomass. The macronutrients - N, P and K – and the micronutrients – B and Z – were studied. The gross calorific value was calculated using a calorimeter according to NBR 8633. All results were analyzed by ANOVA and Tukey test. It

was concluded that branches and leaves biomass increases at the same way the fertilizer level increases and also we noted that increasing the fertilizer amount, larger will be branches and leaves export nutrients.

Keywords: bioenergy, forest energy, short rotation forestry system

3 INTRODUÇÃO

Com os sucessivos aumentos do preço do barril de petróleo e os alertas na conservação ambiental mundial, o mundo se sentiu na obrigação de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, além do conhecimento do seu esgotamento e do tempo de formação dos mesmos. Novos caminhos na produção de energia renovável estão sendo traçados. Empresas e pesquisadores do mundo inteiro estão criando novas formas de aumentar a produtividade e diminuir os custos destas produções.

Com o Plano Nacional de Agroenergia (PNA) 2006-2011, o governo brasileiro incentivou o setor de produção de energia a buscar alternativas para substituir, ou, ao menos, diminuir a utilização de combustíveis fósseis por fontes renováveis e, a produção de biomassa florestal se inclui neste cenário. A produção de energia através das florestas era voltada para o uso de espécies nativas e, mais, recentemente, plantios de espécies exóticas, como o eucalipto, estão sendo realizados exclusivamente para este uso, também conhecido por sistemas florestais de curta rotação (SFCR).

Uma das formas de aumentar a produtividade é a colheita mecanizada de plantios adensados de eucalipto, porém, não se sabe ao certo o impacto nutricional no solo que esta ação causará já que grande parte dos resíduos que permanecem na floresta, como galhos e folhas, poderão ser retirados.

Desta forma é preciso saber as consequências destas novas formas de exploração para promover um planejamento completo e sustentável para o novo sistema.

Quantificar os nutrientes que serão exportados é de suma importância para definir as adubações de forma correta, assim, diminuindo os custos e preservando a fertilidade do solo.

Analisando a produção de energia é interessante saber o poder calorífico superior (PCS) dos galhos, tendo em mente que, as folhas mesmo incluídas no processo possuem poder calorífico baixo quando comparado aos galhos e a madeira.

A densidade populacional e a idade de corte de um SFCR devem ser definidas após a escolha do destino final da madeira, pois o desenvolvimento das plantas tanto em altura quanto em diâmetro será influenciado pela mesma.

O projeto teve como objetivo avaliar a produção de biomassa e correlacionar com os nutrientes de galhos e folhas que serão exportados através da colheita mecanizada, bem como o poder calorífico dos galhos em função de diferentes espaçamentos e adubações em um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de curta rotação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Eucalipto

Segundo o anuário estatístico divulgado pela ABRAF (2011) – ano base 2010 - o Brasil possui uma área plantada de eucalipto de 4.754.334 ha, no qual o estado de São Paulo contribuía com 1.044.813 ha sendo o segundo estado em área plantada de eucalipto, ficando atrás apenas de Minas Gerais que possuía uma área de 1.400.000 ha.

Segundo estudo realizado em Uberaba - MG por Pereira (2000), um plantio de 7 anos de idade de *Eucalyptus urophylla* possui um densidade básica média de 0,564 g/cm³, teor de lignina de 27,3% e poder calorífico superior da madeira de 4312 cal/g. A espécie *Eucalyptus grandis* apresentou uma densidade básica média de 0,479 g/cm³, teor de lignina de 23,9% e poder calorífico superior da madeira de 4340 kcal/kg.

O híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, também conhecido por *Eucalyptus urograndis* por diversos profissionais da área, é muito utilizado em indústrias brasileiras de papel e celulose, conseqüentemente, a espécie de eucalipto mais plantada atualmente (ABRAF, 2011).

Este híbrido apresenta alta produtividade, em média, 46,5 m³/ha/ano, resistência a doenças, elevada produtividade de celulose industrial e produz fibras de alta qualidade utilizada na produção de papel. Os clones analisados neste trabalho foram coletados

de diversas empresas florestais brasileiras produtoras de celulose kraft branqueada. (GOMIDE *et al.*, 2005).

Silva (2005) ao avaliar dois clones de *E. urophylla* x *E. grandis* aos seis anos de idade, concluiu que o clone C041 produziu 41% mais galhos que o C219, motivo este, causado pela menor suscetibilidade a ventos que o C041. Neste mesmo trabalho, Silva (2005) e Bernardo *et al.* (1998) constataram que o espaçamento entre plantas e a produção de galhos e folhas são diretamente proporcionais.

4.2 Biomassa florestal

Biomassa é todo material orgânico, não fóssil, que tenha conteúdo de energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, biomassa virgem, lixo orgânico, resíduos de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais (OMACHI *et al.*, 2004).

A biomassa é uma forma de energia solar armazenada, isto é, as árvores usam a energia solar na fotossíntese para converter CO₂ e H₂O em produtos de alto teor energético, segundo Karchesy & Koch (1979). Kozłowski *et al.* (1997) definem fotossíntese como o processo na qual a energia solar é capturada pelas plantas verdes e a utilizam para sintetizar componentes do carbono em dióxido de carbono e água. A grande diversidade de produtos naturais de uso humano possui sua origem na produtividade fotossintética produzida por plantas lenhosas.

Cortes de biomassa de folhosas removerão mais nutrientes que cortes similares de coníferas, devido às concentrações médias de nutrientes serem duas vezes maiores do que nas coníferas (RALSTON, 1977).

O Brasil possui um baixo número de unidades de co-geração de energia térmica utilizando resíduos da indústria de base florestal. Uma exceção está na cidade de Lages – SC, onde em 2001, iniciou-se a instalação de uma planta de co-geração a partir da biomassa (BRAND, 2007).

No ponto de vista de Cortez *et. al* (2008), as limitações econômicas podem ser divididas em dois níveis. O primeiro nível, a necessidade de saber se os tipos de biomassas exploradas, energeticamente, não possuem outros usos economicamente melhores,

tais como, industrial ou alimentício. Em segundo lugar, saber se a biomassa a ser explorada é compatível com os benefícios energéticos e comparáveis com os demais combustíveis.

Pesquisando sobre a biomassa de clones de eucalipto para produção de briquete, Garcia *et al.* (2011a) obtiveram maior biomassa de galhos no espaçamento 2,8 x 0,5m, o mesmo ocorrendo com a biomassa de fuste, porém, foram inviabilizados economicamente devido a grande quantidade de adubo utilizado.

4.3 Efeito do espaçamento em plantios de eucalipto

Na literatura pode-se encontrar diversas combinações de espaçamento entre linhas e entre plantas com o objetivo de adequar um melhor arranjo para o desenvolvimento das plantas, tal como, Silva *et al.* (2009); Oliveira *et al.* (2009); Neto *et al.* (2010) e Reiner *et al.* (2011).

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, uma vez que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte bem como práticas de implantação, manejo e colheita (BALLONI *et al.*, 1980).

O número ótimo de vegetais plantados dentro de determinada área de solo, capaz de utilizar de maneira adequada o meio onde foram cultivados, pode variar de acordo com a disponibilidade de água e o nível de fertilização do solo (EMBRAPA, 1993).

O espaçamento é a única dentre as variáveis que influenciam no crescimento em diâmetro que pode ser manejada de forma eficiente (COELHO, 1970).

Em alguns casos, o espaçamento possui grande influência no crescimento em altura. Silva (1990) observou que a competição entre as plantas em busca de luz aumenta em espaços reduzidos, causado pela necessidade da árvore ampliar a áreas foliar e cobrir sua necessidade de assimilação, assim estimulando o crescimento em altura.

Porém, há casos que o crescimento é menos influenciado pelo espaçamento. Garcia (2010) ao avaliar o desenvolvimento de um plantio de eucalipto em função do espaçamento e da adubação concluiu que a taxa de crescimento em altura decresceu em resposta ao aumento do espaçamento, independente da adubação. Neste mesmo estudo

Garcia (2010) observou que o crescimento em diâmetro do colo aumentou em consequência do aumento do espaçamento.

Segundo Oliveira Neto *et al.* (2003) em espaçamentos mais amplos, a matéria seca da parte aérea por árvore é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto que, em espaçamentos menores ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, devido ao maior concentração de indivíduos.

Reiner *et al.* (2011) ao desenvolver um estudo sobre a influência do espaçamento no desenvolvimento de eucalipto no Paraná, notaram que as avaliações realizadas durante o primeiro e segundo ano de cultivo não houve diferença no crescimento em altura e DAP, defendendo a hipótese de que a baixa competição entre as plantas foi o fator principal do ocorrido. Neste mesmo estudo, observaram que no terceiro ano no quesito altura não se observou uma diferença significativa, porém, para o DAP houve uma diferença significativa entre o tratamento 3x3m, no qual apresentou maior diâmetro e, o tratamento 1,5x1,5m que obteve o menor DAP.

Utilizando diversos arranjos espaciais em um plantio de mudas clonais de um híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com *E. urophylla* S.T. Blake, Oliveira *et al.* (2009), observaram que aos 18 meses após o plantio, não houve diferença significativa no volume/planta entre os arranjos espaciais. Porém, assim como para área basal/ha, o incremento médio anual em volume/ha foram influenciados pelo número de árvores, sendo que nos arranjos 3,33x2m, 3,33x3m e 5x2m, foram encontradas as maiores produtividades em volume. Aos 27 meses de idade, verificaram os maiores DAPs nos arranjos 10x4m e 10x3m, menores diâmetros nos plantios mais adensados e valores intermediários para os demais e, assim, demonstraram a influência da área útil por planta no crescimento em diâmetro do eucalipto por volta de dois anos de idade.

Silva *et al.* (2009) com o objetivo de produzir óleo essencial utilizando as folhas de *E. citriodora*, comentaram que o espaçamento e a periodicidade da colheita podem afetar a biomassa foliar produzida e que a influência de diferentes espaçamentos sobre a produção de biomassa foliar varia com a espécie, a idade das plantas e a qualidade do sítio. Neste estudo, Silva *et al.* (2009), observaram que a produção total de biomassa (galhos e folhas) foi 3,8 vezes maior no espaçamento 1x1m em relação ao espaçamento tradicional

(3x1m), porém, a relação entre a biomassa de folhas e a biomassa colhida foi mais favorável no espaçamento 3x1m.

4.4 Nutrientes no eucalipto

Conhecer a quantidade e os teores dos macro e micronutrientes nos galhos e nas folhas é de suma importância para estimar a quantidade de cada nutriente que será exportada com a colheita e, assim, identificar quais as práticas de manejo que deverão ser adotadas para manter a sustentabilidade nutricional dos futuros plantios.

Schumacher & Poggiani (1993) ressaltam que o acúmulo de nutrientes na biomassa aérea varia de elemento para elemento, em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta. Segundo Caldeira (2008), a quantidade de nutrientes (kg/ha) é consequência de suas concentrações e da produção de biomassa, podendo ser influenciada por condições de sítio, idade, época do ano e procedências.

Na grande maioria dos casos, a adubação mineral é uma prática necessária quando se objetiva realizar um plantio de eucalipto no Brasil. Em plantios de *Eucalyptus spp*, a ocorrência de deficiências e desequilíbrios nutricionais está associada às condições químicas e físicas do solo, ou as práticas inadequadas de fertilização (BARROS *et al.*, 1981; VALERI *et al.*, 1993). A quantidade, a distribuição relativa e a eficiência de utilização de nutrientes, em plantios de eucalipto, dependem da espécie, da idade, do manejo e das condições edafoclimáticas (PEREIRA, 1990; MORAIS *et al.*, 1990; SANTANA *et al.*, 1999).

Segundo Melo *et al.* (1995) em florestas plantadas, como as de eucalipto, a quantidade de nutrientes no solo e exportada na exploração são de grande importância no planejamento de uma eventual aplicação de fertilizantes.

Quando o povoamento se destina a produção de energia, a exportação de nutrientes é mais elevada, pois até mesmo os galhos de menores diâmetros podem ser utilizados para este fim (ZAIA *et al.*, 2004).

Silva *et al.* (2009) observaram que devido a colheita de folhas para destilação o valor de nutrientes exportados em um espaçamento adensado foi,

aproximadamente, três vezes maior quando comparado ao espaçamento tradicional. Ainda neste estudo, concluíram que a utilização de um sistema mais intensivo de produção de folhas, com plantios adensados e sucessivas colheitas realizadas em curtos intervalos de tempos, necessita de uma fertilização mais intensa do que as utilizadas em plantios convencionais.

A ciclagem de nutrientes depende de vários fatores, dentro os quais, a sua mobilidade no interior da planta. O nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio são considerados elementos móveis, ou seja, possuem uma alta mobilidade nos diversos compartimentos das plantas, já o cálcio é considerado imóvel, no entanto, o enxofre é considerado de mobilidade variável (MENGEL *et al.*, 1982). Neste mesmo estudo Mengel *et al.* (1982) salientam a importância das folhas no piso florestal, no qual são partes dos ciclos bioquímico e biogeoquímico. O ciclo bioquímico diz respeito ao movimento de translocação de nutrientes dos tecidos velhos para os tecidos novos da planta, muito importante para os nutrientes de alta mobilidade. O ciclo biogeoquímico representa os processos de transferência dos nutrientes dentro do sistema solo-planta.

Cunha *et al.* (2005) analisaram a ciclagem de nutrientes em plantios de *E. grandis* no norte fluminense e constataram que as folhas foram o componente que mais contribuíram para a deposição de nutrientes no solo, principalmente em solos de baixa fertilidade, sendo que a manutenção da fertilidade solo em plantios de eucalipto, principalmente nas idades mais jovens, é diretamente dependente da quantidade e qualidade das mesmas.

Em plantações de eucalipto, o retorno ao solo de nitrogênio pode variar entre 18-140 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e de fósforo, entre 0,9-8 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (GUO *et al.*, 1999) e, segundo Gonçalves *et al.* (2000), a maior dos solos florestais brasileiros as reservas de nutrientes na forma de minerais primários são pequenas, a capacidade de troca de cátions é baixa, o grau de agregação é muito elevado, a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases são considerados elevados.

A deficiência de nitrogênio ocorre mais regularmente e, normalmente, diminui a taxa fotossintética mais do que a deficiência de outros macronutrientes. Inúmeros micronutrientes possuem efeitos diretos e indiretos na fotossíntese, porém, as quantidades necessárias variam para cada elemento (KOZLOWSKI *et al.*, 1997).

Gonçalves *et al.* (2000) encontraram as seguintes divisões dos conteúdos dos nutrientes entre os componentes: nitrogênio (31% nas folhas, 29,5% na madeira, 20% na serapilheira, 11% nas cascas e 8,5% nos galhos); fósforo (31% na madeira, 28% nas cascas, 22% nas folhas); cálcio (30% nas cascas, 29% na serapilheira, 18% na madeira). Outro resultado importante deste trabalho, é a forte relação entre a taxa de crescimento e a captura e acúmulo de nutrientes nas plantações de eucalipto, principalmente para o nitrogênio.

Segundo estudo que avaliou o estado nutricional de *E. urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados no Estado de Minas Gerais, realizado por Assis *et al.* (2006), os teores de magnésio não apresentaram interação entre espaçamentos e épocas, e cálcio apresentaram menores teores no mês de dezembro, com exceção para o espaçamento 9,0 m x 1,0 m. Os nutrientes nitrogênio, fósforo, enxofre e boro não tiveram os seus teores influenciados pelos espaçamentos. Assim, independentemente do espaçamento e da época, os teores desses elementos não apresentam níveis considerados deficientes para a cultura.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

A floresta de eucalipto foi plantada em dezembro de 2008, na Fazenda Três Sinos, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, numa área de aproximadamente 5,8 ha. A área foi preparada com técnicas de cultivo mínimo, ou seja, preparo somente da linha de plantio com subsolagem e adubação individual das mudas, conforme histórico de aproximadamente vinte anos de cultivo. O solo, de acordo com o levantamento realizado por Vettorato (2003), pertence a classe Latossolo Vermelho Amarelo com textura média.

A área experimental está localizada em uma altitude aproximada de 875 m e situa-se entre as longitudes 48°24'43" W e 48°26'21" W e entre as latitudes 22°58'10" S e 22°59'25" S, na região de drenagem do rio Pardo, pertencente à bacia do Paranapanema. O clima predominante no município, segundo os critérios adotados por Koppen é Cfa, clima mesotérmico, com temperaturas médias superiores a 10°C, cuja temperatura do mês mais quente é igual ou superior a 22°C e o índice pluviométrico anual está em torno de 1600 mm, de acordo com dados da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP.

5.2 Histórico da área

Um estudo realizado pelo Laboratório de Fotointerpretação - Departamento de Engenharia Rural / UNESP - em 1962, utilizando fotos aéreas, determinou que a cobertura do solo predominante era vegetação nativa classificada como Campos Sujos e Cerrado. Nesta mesma área, em 1972, o cultivo de *Pinus* sp era predominante, até que no ano de 2000, fotos aéreas registraram maciços de *Eucalyptus* sp, que, segundo o gerente da Fazenda Três Sinos na época, têm sido cultivados.

5.3 Delineamento experimental

Na área experimental instalada em dezembro de 2008, foram plantados clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, clone C219, que receberam adubação no plantio e de cobertura. O plantio foi destinado à colheita precoce para produção de briquetes utilizados na geração de bioenergia.

A área de, aproximadamente, 5,8 ha foi dividido em cinco espaçamentos entre plantas nos valores de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m e 2,5 m e, fixado o valor de 2,8 m para distância entre linhas de todos os tratamentos.

Utilizou-se a seguinte denominação para os espaçamentos das parcelas:

A = espaçamento de 2,8 m x 0,5 m

B = espaçamento de 2,8 m x 1,0 m

C = espaçamento de 2,8 m x 1,5 m

D = espaçamento de 2,8 m x 2,0 m

E = espaçamento de 2,8 m x 2,5 m

Foram utilizadas três adubações diferentes nas parcelas, sendo a dose 2 a usual da empresa responsável pelo plantio, ou seja, a dose comercial; a dose 1 representando a sub-dosagem e a dose 3, super-dosagem.

Tabela 1. Dose 1 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e boro em diferentes datas após o plantio.

Dias após plantio	Dosagem 1		Zn	B
	NPK (6-30-6)	NPK (20-0-20)		
	g/planta			
0	70	-	-	-
60	-	25	0,5%	0,3%
140	-	35	0,5%	0,3%
360	-	50	0,5%	0,3%

Tabela 2. Dose 2 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e boro em diferentes datas após o plantio.

Dias após plantio	Dosagem 2		Zn	B
	NPK (6-30-6)	NPK (20-0-20)		
	g/planta			
0	140	-	-	-
60	-	50	0,5%	0,3%
140	-	70	0,5%	0,3%
360	-	100	0,5%	0,3%

Tabela 4. Dose 3 aplicada de nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e boro em diferentes datas após o plantio.

Dias após plantio	Dosagem 3		Zn	B
	NPK (6-30-6)	NPK (20-0-20)		
	g/planta			
0	280	-	-	-
60	-	100	0,5%	0,3%
140	-	140	0,5%	0,3%
360	-	200	0,5%	0,3%

Os seguintes códigos foram sorteados para disposição das unidades experimentais: A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, E1, E2, E3 e distribuídos conforme a Figura 2.

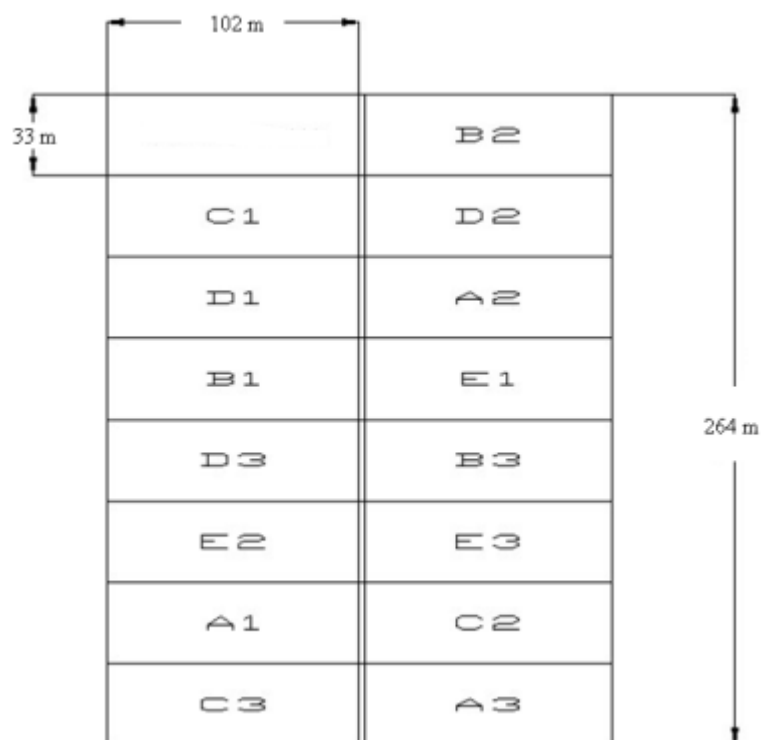


Figura 1. Esquema de distribuição das unidades experimentais.

5.4 Amostragem do experimento

Após 18, 24 e 30 meses do plantio, foram coletados dados de diâmetro a altura do peito (DAP), a 1,30m do solo, utilizando uma suta com precisão de 0,1m.

Foram coletados dados de DAP de sessenta árvores centrais de cada tratamento para obtenção do diâmetro médio, à partir do qual foram selecionadas quatro árvores-amostra de cada tratamento que tinham o diâmetro mais próximo do valor do diâmetro médio para se avaliar a biomassa de galho e folha, os nutrientes das folhas e poder calorífico superior dos galhos.

5.5 Biomassa de galhos e folhas

Cada árvore-amostra foi colhida e separou-se todas as folhas (Figura 2A) e todos os galhos (Figura 2B) de um mesmo indivíduo retirando uma amostra composta de cada fração (folhas/galhos).



Figura 2. Folhas (A) e galhos (B) coletados de um mesmo indivíduo.

As amostras foram pesadas, ainda no campo, utilizando uma balança digital móvel da marca Black & Decker, modelo BB20, com capacidade máxima de 150 Kg e escala de 0,1 kg., determinando o peso úmido no campo (PUC), o peso úmido da amostra (PUA) e, após ter atingido peso constante em estufa de circulação forçada a $65 \pm 2^\circ\text{C}$, o peso seco da amostra (PSA). O resultado deste processo foi a obtenção da biomassa seca (BS) de folhas ou de galhos utilizando a Equação (1) e para quantificar a biomassa seca por unidade de área utilizou-se a Equação (2).

$$BS = \frac{(PUC * PSA)}{PUA} \quad (1)$$

Sendo:

BS – Biomassa seca (kg)

PUC – Peso úmido no campo (kg)

PSA – Peso seco da amostra (kg)

PUA – Peso úmido da amostra (kg)

$$BS_T = BS * DP \quad (2)$$

Sendo:

BS_T – Biomassa seca total (t/ha)

BS – Biomassa seca (kg)

DP – Densidade populacional (árvores/ha)

5.6 Nutrientes nos galhos e nas folhas

As amostras de galhos e folhas coletadas foram levadas para a estufa de ventilação forçada a $65 \pm 2^\circ\text{C}$, depois de secas, as amostras foram moídas em moinho de rolo-faca. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, de acordo com a metodologia de Malavolta *et al.* (1997).

Os teores obtidos foram de amostras compostas das quatro repetições gerando uma única informação de cada nutriente para cada tratamento. Os nutrientes estudados foram os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio e os micronutrientes boro e zinco. Tais nutrientes fazem parte da adubação aplicada durante o experimento.

Os nutrientes foram estudados a partir do produto da biomassa (kg/árvore) pelo teor, com devidas transformações de unidade, caso necessário. Tendo o valor, em kg/árvore, de cada nutriente, multiplicou-se pelas várias densidades populacionais gerando a exportação de cada nutriente em kg/ha.

5.7 Poder calorífico em galhos

As amostras de galhos foram moídas em moinho de faca tipo Willey. De cada amostra foi retirada uma sub-amostra com peso seco de, aproximadamente, 1g para o ensaio de poder calorífico superior (PCS). O PCS foi obtido utilizando uma bomba calorimétrica, seguindo a norma NBR 8633. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Física Aplicada, IBB/UNESP, Botucatu/SP.

5.8 Análise estatística

Para análise de comparação de médias realizou-se análise de variância e, após a verificação das significâncias a 5% de probabilidade, calculou-se o teste de Tukey de médias utilizando o programa computacional *Statistica* desenvolvido pela empresa Statsoft.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Biomassa de galhos e folhas

A Tabela 5 apresenta os resultados médios da biomassa de galhos em t/ha. Observa-se que no espaçamento de 0,5 m entre plantas, os maiores valores de biomassa média de galhos são encontrados aos 30 meses de idade, com exceção da biomassa utilizando o maior nível de adubação. Fato esse pode ser justificado por FORD (1984) no qual concluiu que aumentando a fertilidade, a taxa de crescimento é favorecida e, conseqüentemente, ocorre o adiantamento da concorrência em plantios florestais, ou seja, devido a utilização de uma alta dose de fertilizantes, antecipou a concorrência entre plantas em um espaçamento mais adensado, resultando em uma menor biomassa média. Já no espaçamento 2,8 x 1,0 m, na mesma idade e utilizando a dosagem 3, percebe-se que houve uma elevada biomassa média, evidenciando que ainda não há competição entre as árvores devido ao espaçamento ser menos adensado.

Outro fato causado pela ausência de concorrência pôde ser observado no espaçamento 2,8 x 1,5 m aos 24 e 30 meses onde a biomassa média de galhos respondeu positivamente com o aumento da dose de adubação.

Tabela 4. Biomassa média dos galhos em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio

Biomassa média de galhos (t/ha)				
Espaçamento (m)	Nível de adubação	Idade do plantio (meses)		
		18	24	30
2,8 x 0,5	1	10,0	9,8	18,0
	2	10,7	12,6	18,9
	3	17,7	17,2	14,3
2,8 x 1,0	1	9,1	12,3	18,9
	2	13,5	18,5	14,6
	3	11,3	13,8	21,6
2,8 x 1,5	1	12,6	12,8	12,7
	2	12,3	15,9	13,9
	3	12,0	18,5	15,5
2,8 x 2,0	1	11,7	14,5	15,1
	2	14,3	14,7	13,8
	3	10,7	16,6	15,1
2,8 x 2,5	1	10,4	11,9	13,6
	2	9,3	10,3	15,9
	3	10,6	16,3	16,9

Tabela 5. Biomassa média das folhas em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio

Biomassa média de folhas (t/ha)				
Espaçamento (m)	Nível de adubação	Idade do plantio (meses)		
		18	24	30
2,8 x 0,5	1	4,8	5,0	5,9
	2	5,0	6,8	6,4
	3	7,3	6,1	6,3
2,8 x 1,0	1	5,6	6,9	6,3
	2	5,5	7,2	6,9
	3	5,9	7,7	5,8
2,8 x 1,5	1	5,7	8,2	5,9
	2	5,9	7,3	6,2
	3	6,5	9,0	6,0
2,8 x 2,0	1	5,7	8,1	6,4
	2	5,8	8,1	5,4
	3	6,3	9,2	7,0
2,8 x 2,5	1	5,5	7,2	5,8
	2	5,9	7,6	6,3
	3	6,4	10,0	7,7

Constatou-se que aos 24 meses de idade a biomassa média de folhas foi maior quando comparado aos 30 meses (TABELA 6).

Ao observar aos 24 meses de idade utilizando a dose 3, percebe-se que ao diminuir o número de árvores por unidade de área houve um acréscimo de biomassa de folhas, principalmente em razão da menor concorrência nas copas da árvores nos espaçamentos menos adensados.

Tabela 6. Biomassa média de galhos e folhas em t/ha em função do espaçamento, nível de adubação e idade do plantio.

Biomassa média de galhos e folhas (t/ha)				
Espaçamento (m)	Nível de adubação	Idade do plantio (meses)		
		18	24	30
2,8 x 0,5	1	14,8	14,8	23,9
	2	15,7	19,4	25,2
	3	25,0	23,3	20,6
2,8 x 1,0	1	14,7	19,2	25,2
	2	19,0	25,6	21,5
	3	17,2	21,5	27,4
2,8 x 1,5	1	18,3	21,0	18,6
	2	18,2	23,3	20,0
	3	18,5	27,5	21,5
2,8 x 2,0	1	17,5	22,6	21,5
	2	20,1	22,9	19,2
	3	17,0	25,9	22,1
2,8 x 2,5	1	15,9	19,1	19,4
	2	15,1	18,0	22,1
	3	17,0	26,2	24,5

Na Tabela 7, nota-se que no espaçamento mais adensado, aos 30 meses de idade, a menor biomassa média de galhos e folhas se apresentou no maior nível de adubação e não ocorrendo nos demais espaçamentos. Fato este que também pode ser justificado pela presença de concorrência devido à maior dosagem de fertilização. (FORD, 1984)

6.2 Nutrientes nos galhos e nas folhas

6.2.1 Folhas

A ordem de teor dos nutrientes nas folhas se comportou da seguinte forma: $N > K > P > B > Zn$. Tal ordem não se alterou durante os períodos de estudo. Analisando os teores de macronutrientes nas folhas, Freitas *et al.* (2004) e Barichello (2003) encontraram a mesma sequência, assim como, Schumacher *et al.* (2008) estudando povoamentos de *Hovenia dulcis* Thunb. na cidade de Santa Maria-RS.

Dentre os macronutrientes analisados na biomassa das folhas verificou-se que o macronutriente nitrogênio apresentou os maiores teores, atingindo a média de 28 g/kg no espaçamento 2,8 x 0,5 m, aos 18 meses de idade no nível 2 de adubação. Já em relação aos micronutrientes, o boro se destacou com um teor médio máximo no espaçamento 2,8 x 1,0 m aos 24 meses de idade utilizando a dose 2 de adubação, como pôde ser observado na Tabela 8. Nota-se que aos 30 meses de idade os teores dos macronutrientes estudados diminuíram com o aumento do espaçamento entre plantas.

Apenas aos 24 meses de idade encontrou-se teores médios de zinco acima do considerado adequado para a produção de eucalipto, 15 mg/kg, segundo Bellote & Silva (2008). Os teores médios de nitrogênio encontrados variam de 16 g/kg a 28 g/kg e, segundo Gonçalves (1995), o teor adequado de nitrogênio nas folhas seria de 13,5 g/kg a 18 g/kg, assim não apresentando déficits nutricionais para este nutriente, nesta classificação. Para o micronutriente boro foi encontrado teores médios entre 42 mg/kg e 112 mg/kg, podendo classificar como altos teores, tendo em vista que, para Gonçalves (1995) o teor adequado estaria entre 30 mg/kg e 50 mg/kg.

Tabela 7. Teor médio dos nutrientes nas folhas em função do espaçamento, nível de adubação e da idade do plantio.

Espaçamento (m)	Nível de adubação	Macro (g/kg)					Micro (mg/kg)					Macro (g/kg)					Micro (mg/kg)								
		N			P		K		B			Zn		N			P		K		B			Zn	
		18 meses					24 meses					30 meses													
2,8 x 0,5	1	27	1,4	6	65	15	22	0,5	6	62	18	25	1,2	6	51	14									
	2	28	1,4	8	76	14	24	1,2	8	87	19	25	1,3	7	52	13									
	3	24	1,3	10	65	16	22	1,3	6	106	13	25	1,2	7	57	16									
2,8 x 1,0	1	23	1,2	7	77	13	18	1,1	5	102	10	22	1,1	5	52	13									
	2	23	1,2	7	61	13	20	1,1	5	112	11	22	1,1	4	48	12									
	3	25	1,3	7	70	13	26	1,3	8	111	15	22	1,1	6	49	13									
2,8 x 1,5	1	23	1,3	5	60	10	18	1,2	4	108	9	19	1,0	4	44	10									
	2	26	1,3	6	74	15	20	1,1	5	98	11	22	1,1	5	43	12									
	3	26	1,4	8	66	18	19	1,1	6	99	11	22	1,1	6	48	12									
2,8 x 2,0	1	22	1,5	7	50	12	17	1,0	4	80	9	21	1,1	4	46	11									
	2	26	1,1	5	69	11	18	1,0	4	87	10	20	1,1	4	42	12									
	3	22	1,1	6	70	13	20	1,1	6	91	12	22	1,1	5	45	10									
2,8 x 2,5	1	22	1,4	4	60	11	16	1,0	3	105	9	21	1,0	3	43	11									
	2	21	1,0	5	64	10	18	0,9	4	100	10	19	1,0	4	42	11									
	3	24	1,3	6	78	13	19	1,0	4	108	9	21	1,0	5	46	11									

Assim como nos teores encontrados, o nitrogênio foi o macronutriente com maior quantidade atingindo a média de 213 kg/ha aos 30 meses de idade utilizando a maior dose de adubação e maior espaçamento. Dentre os micronutrientes estudados, também assim como nos teores, o boro foi o mais abundante atingindo a média de 1,07 kg/ha aos 24 meses de idade, adubado com a dose número 3 e no espaçamento menos adensado (Tabela 9). A ordem de quantidade de nutrientes nas folhas não se alterou durante os três períodos de colheita e permaneceu da seguinte forma: N > K > P > B > Zn. A ordem dos macronutrientes ficou igual aos trabalhos realizados por Schumacher & Caldeira (2001) com *Eucalyptus globulus*, Freitas (2000) e Guedes (2011) com *Eucalyptus grandis*. O trabalho de Barrichello (2003) com povoamentos de acácia-negra resultou na mesma ordem de todos os nutrientes estudados nesta dissertação.

Observando no nível 2 de adubação, a quantidade de nitrogênio e fósforo nas folhas se apresentou maior aos 30 meses de idade em todos os espaçamentos

estudados. Em relação ao boro, as maiores quantidades foram encontradas aos 24 meses de idade em todos os níveis de adubação quando comparados dentro de um espaçamento.

Tabela 8. Quantidade média dos nutrientes nas folhas em função do espaçamento, do nível de adubação e da idade do plantio.

Espaçamento (m)	Nível de adubação	Macro (kg/ha)			Micro (kg/ha)			Macro (kg/ha)			Micro (kg/ha)			Macro (kg/ha)			Micro (kg/ha)					
		N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn	
		18 meses						24 meses						30 meses								
2,8 x 0,5	1	132	6,8	30	0,31	0,07	110	2,5	29	0,31	0,09	124	6,0	28	0,25	0,07						
	2	140	6,9	41	0,38	0,07	163	8,1	53	0,60	0,13	169	8,7	44	0,35	0,09						
	3	179	9,2	70	0,48	0,12	135	7,7	38	0,64	0,08	151	7,6	43	0,35	0,10						
2,8 x 1,0	1	132	6,8	37	0,44	0,07	126	7,7	35	0,69	0,07	153	7,8	33	0,36	0,09						
	2	129	6,8	36	0,34	0,07	142	7,8	34	0,80	0,08	156	7,6	32	0,34	0,09						
	3	149	7,7	42	0,41	0,08	200	10,4	60	0,86	0,12	171	8,5	43	0,38	0,10						
2,8 x 1,5	1	132	7,4	31	0,34	0,06	144	9,8	34	0,89	0,07	159	8,2	34	0,36	0,08						
	2	155	7,6	37	0,44	0,09	149	8,0	37	0,72	0,08	164	8,0	37	0,32	0,09						
	3	134	6,9	37	0,43	0,12	135	7,8	35	0,89	0,10	156	7,7	33	0,43	0,11						
2,8 x 2,0	1	124	8,5	39	0,28	0,07	136	8,1	28	0,65	0,07	168	8,6	32	0,37	0,09						
	2	148	6,4	26	0,40	0,06	149	8,0	32	0,71	0,08	166	8,6	33	0,34	0,10						
	3	138	7,0	40	0,44	0,08	182	9,9	51	0,84	0,11	202	9,9	47	0,42	0,09						
2,8 x 2,5	1	121	7,5	24	0,33	0,06	117	7,0	20	0,76	0,07	150	7,3	24	0,31	0,08						
	2	121	6,1	28	0,38	0,06	134	7,0	28	0,76	0,08	147	7,6	27	0,32	0,08						
	3	156	8,6	40	0,50	0,08	192	9,8	41	1,07	0,09	213	10,1	49	0,46	0,11						

6.2.2 Galhos

A ordem de teor nos galhos se apresentou na seguinte forma: $N > K > P > B > Zn$. No estudo de Barichello (2003) os teores de todos os nutrientes seguiram a mesma ordem e no trabalho de Schumacher (2008) apenas os macronutrientes mantiveram esta sequência. Em pesquisa sobre *Pinus taeda*, Viera (2011) encontrou teores de zinco maiores que de boro nos galhos vivos.

A Tabela 10 apresenta os teores médios dos nutrientes nos galhos. O macronutriente nitrogênio apresentou os maiores teores médios, como por exemplo, 5 g/kg aos 24 meses de idade com a menor dose de adubação no menor espaçamento em

estudo. Dado este corroboram com os resultados dos trabalhos de Freitas *et al.* (2004) e Viera *et al.* (2011) que encontraram o nitrogênio como o nutriente com os maiores teores nos galhos. Aos 30 meses de idade resultou nos menores teores de nitrogênio, fósforo e potássio e, os maiores teores de boro e zinco, aos 24 meses. O teor de nitrogênio e fósforo nos galhos aos 24 meses permaneceu o mesmo nos espaçamentos 1,5 m e 2,0 entre plantas, o mesmo ocorrendo aos 30 meses de idade.

Tabela 9. Teor médio dos nutrientes nos galhos em função do espaçamento, nível de adubação e da idade do plantio.

Espaçamento (m)	Nível de adubação	Macro (g/kg)					Micro (mg/kg)					Macro (g/kg)					Micro (mg/kg)						
		N			P		K		B		Zn		N			P		K		B		Zn	
		18 meses					24 meses					30 meses											
2,8 x 0,5	1	2	0,2	2	26	2	5	0,2	2	65	8	2	0,3	2	23	4							
	2	4	0,3	4	32	6	4	0,3	4	76	11	2	0,1	2	13	5							
	3	3	0,3	3	30	2	4	0,3	4	61	7	2	0,2	3	14	4							
2,8 x 1,0	1	3	0,3	2	24	5	3	0,2	2	71	6	2	0,1	1	13	4							
	2	2	0,3	2	28	19	3	0,2	2	61	7	2	0,1	1	12	5							
	3	4	0,3	4	27	6	4	0,3	4	73	11	3	0,2	2	13	4							
2,8 x 1,5	1	3	0,3	2	28	5	2	0,2	2	50	6	2	0,1	1	15	4							
	2	3	0,6	2	40	5	3	0,2	2	52	7	2	0,1	1	12	4							
	3	2	0,2	2	27	3	2	0,2	2	61	6	2	0,1	2	13	4							
2,8 x 2,0	1	3	0,3	1	24	5	2	0,2	1	68	5	2	0,1	1	17	6							
	2	2	0,2	1	30	2	3	0,2	1	52	5	2	0,1	1	13	4							
	3	4	0,4	3	24	5	2	0,2	2	57	5	2	0,1	1	13	5							
2,8 x 2,5	1	2	0,3	1	30	2	2	0,2	1	55	5	2	0,1	1	12	4							
	2	3	0,3	2	27	5	3	0,2	1	56	7	3	0,2	1	14	5							
	3	4	0,4	2	34	4	3	0,2	1	66	5	3	0,3	2	14	5							

A ordem obtida de quantidade dos nutrientes nos galhos foi a seguinte: N > K > P > B > Zn, mantendo-se desta forma em todos as idades do plantio. Em estudo realizado por Barichello (2003) esta ordem se alterou apenas sendo o K > N, o mesmo acontecendo com Schumacher *et al.* (2008).

A Tabela 11 representa a quantidade dos nutrientes nos galhos e, nota-se que as maiores quantidades do nutriente nitrogênio foram encontradas aos 24 meses de idade, sendo que o maior valor foi de 60 kg/ha, neste mesmo período utilizando o espaçamento mais adensado e maior dose de adubação. O mesmo ocorrendo para o

nutriente potássio, porém, sendo o maior valor, 62 kg/ha. Em relação aos micronutrientes, os maiores valores encontrados foram, também, aos 24 meses de idade.

Tabela 10. Quantidade média dos nutrientes nos galhos em função do espaçamento, nível de adubação e da idade do plantio.

Espaçamento (m)	Nível de adubação	Macro (kg/ha)					Micro (kg/ha)					Macro (kg/ha)					Micro (kg/ha)														
		18 meses			24 meses			30 meses			18 meses			24 meses			30 meses														
		N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn	N	P	K	B	Zn										
2,8 x 0,5	1	24	2,5	18	0,26	0,02	48	1,9	24	0,64	0,08	23	3,3	15	0,22	0,04	24	2,5	18	0,26	0,02	48	1,9	24	0,64	0,08	23	3,3	15	0,22	0,04
	2	47	3,3	41	0,34	0,06	53	3,8	48	0,96	0,14	26	1,8	23	0,17	0,06	47	3,3	41	0,34	0,06	53	3,8	48	0,96	0,14	26	1,8	23	0,17	0,06
	3	50	4,6	58	0,53	0,04	60	5,6	62	1,05	0,12	37	3,1	57	0,24	0,07	50	4,6	58	0,53	0,04	60	5,6	62	1,05	0,12	37	3,1	57	0,24	0,07
2,8 x 1,0	1	31	3,0	21	0,22	0,05	30	2,8	23	0,84	0,07	23	1,5	12	0,15	0,05	31	3,0	21	0,22	0,05	30	2,8	23	0,84	0,07	23	1,5	12	0,15	0,05
	2	26	3,5	23	0,38	0,26	49	3,8	28	1,13	0,13	32	2,2	18	0,22	0,09	26	3,5	23	0,38	0,26	49	3,8	28	1,13	0,13	32	2,2	18	0,22	0,09
	3	40	3,1	46	0,31	0,07	52	3,8	48	1,01	0,15	41	2,3	32	0,17	0,06	40	3,1	46	0,31	0,07	52	3,8	48	1,01	0,15	41	2,3	32	0,17	0,06
2,8 x 1,5	1	35	4,1	20	0,35	0,06	31	3,0	19	0,64	0,08	22	1,2	8	0,19	0,05	35	4,1	20	0,35	0,06	31	3,0	19	0,64	0,08	22	1,2	8	0,19	0,05
	2	38	6,9	26	0,49	0,06	44	3,1	26	0,83	0,11	32	2,1	16	0,18	0,06	38	6,9	26	0,49	0,06	44	3,1	26	0,83	0,11	32	2,1	16	0,18	0,06
	3	28	3,2	22	0,33	0,04	39	3,3	25	1,14	0,11	27	1,8	15	0,24	0,07	28	3,2	22	0,33	0,04	39	3,3	25	1,14	0,11	27	1,8	15	0,24	0,07
2,8 x 2,0	1	33	3,1	13	0,29	0,06	34	2,6	19	0,99	0,07	28	1,3	10	0,24	0,09	33	3,1	13	0,29	0,06	34	2,6	19	0,99	0,07	28	1,3	10	0,24	0,09
	2	22	3,5	16	0,42	0,03	38	2,9	19	0,77	0,07	27	1,9	10	0,20	0,06	22	3,5	16	0,42	0,03	38	2,9	19	0,77	0,07	27	1,9	10	0,20	0,06
	3	47	4,0	31	0,26	0,05	35	2,8	25	0,95	0,08	35	2,2	20	0,21	0,08	47	4,0	31	0,26	0,05	35	2,8	25	0,95	0,08	35	2,2	20	0,21	0,08
2,8 x 2,5	1	20	2,7	11	0,31	0,02	28	2,2	15	0,65	0,06	20	1,2	7	0,14	0,05	20	2,7	11	0,31	0,02	28	2,2	15	0,65	0,06	20	1,2	7	0,14	0,05
	2	31	3,0	15	0,25	0,05	32	2,0	14	0,58	0,07	27	2,5	13	0,14	0,05	31	3,0	15	0,25	0,05	32	2,0	14	0,58	0,07	27	2,5	13	0,14	0,05
	3	39	4,2	26	0,36	0,04	48	3,6	21	1,07	0,08	48	4,2	29	0,22	0,08	39	4,2	26	0,36	0,04	48	3,6	21	1,07	0,08	48	4,2	29	0,22	0,08

6.3 Poder calorífico superior nos galhos

A análise de variância do poder calorífico foi utilizada para evidenciar que apenas a idade e a interação espaçamento e idade foram significativas a 5% de probabilidade. O resultado da análise de variância evidenciou que a interação espaçamento e adubação não foi significativa para o poder calorífico superior dos galhos, porém, a idade apresentou significância.

Com os valores de PCS de 4781 kcal/kg e 4770 kcal/ha as idades de 18 e 24 meses, respectivamente, não apresentaram diferença estatística entre si, porém, se diferenciaram da média aos 30 meses, que revelou um valor médio inferior, 4646 kcal/ha (Figura 3).

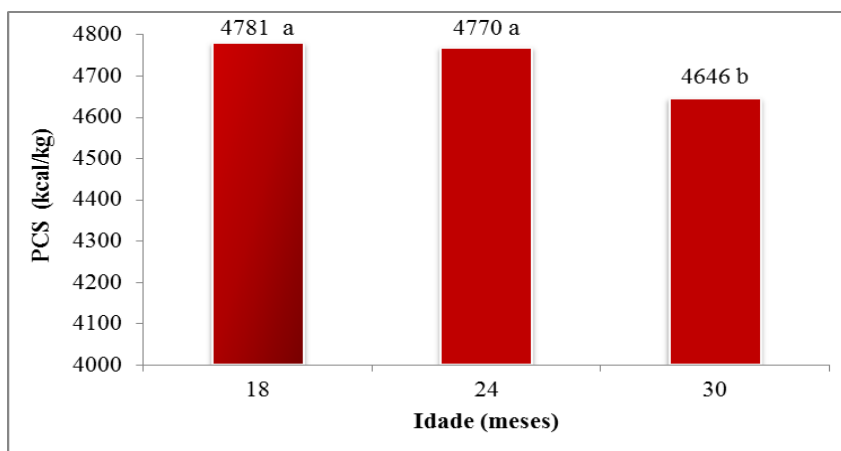


Figura 3. Poder calorífico superior em função da idade do plantio. As colunas acompanhadas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em estudo realizado por Quirino *et al.* (2005) focando em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, apresentaram resultados de PCS de 4501 a 4790 kcal/kg e 4422 a 4595 kcal/kg, respectivamente. Vale *et al.* (2000) apresentou valores de 4641 kcal/kg ao estudar *Eucalyptus grandis*. Garcia *et al.* (2011b) em seu trabalho sobre a energia da madeira de uma floresta de *E. grandis* x *E. urophylla*, atingiu valores de PCS de 4717 a 4862 kcal/kg. Os valores encontrados variam de 4408 a 4961 kcal/kg, assim, sendo condizentes aos encontrados na literatura.

7 CONCLUSÕES

- A maior produção de biomassa de galhos e folhas ocorreu no espaçamento 2,8 x 1,5 m aos 24 meses de idade combinado a maior dose de adubação;
- A produção de galhos aumenta com o aumento do espaçamento entre plantas e com o nível de adubação e, a produção de folhas apenas com o nível de adubação;
- O nitrogênio foi o nutriente em maior quantidade e em maior concentração nas folhas e nos galhos;
- Em plantios adensados, com o intuito de se exportar menos biomassa de galhos e folhas é necessário utilizar elevadas doses de adubação para que haja uma maior taxa de crescimento e, conseqüentemente, uma antecipação da concorrência entre as plantas. Tal concorrência precoce diminuirá a produção de galhos e folhas.
- Aos 30 meses de idade, no espaçamento mais adensado, há uma menor biomassa de folhas com maior teor de nutrientes quando comparado com os demais espaçamentos.
- A idade alterou estatisticamente o poder calorífico superior dos galhos.

8 REFERÊNCIAS

ASSIS, R. L. et al. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 151-157, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF, 2011. 130 p.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, p. 1-26, 1980. (Série Técnica, 3).

BARICHELLO, L. R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal / Silvicultura)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BARROS, N. F. et al. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 5, n. 1, p. 90-103, 1981.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BERNARDO, A. L. ET AL. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita*, *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, p. 1-13, 1998.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 84 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

- CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 1998. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Estadual de Santa Maria, Santa Maria, 1998.
- COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W. **Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento**. Piracicaba: IPEF, 1970. p. 29-55.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. **Biomassa para energia**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2008. p. 15-27.
- CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 353-363, 2005.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do solo. **Manual de métodos de análises do solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento de Solo. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília, DF, 1993. 204 p.
- FORD, E. D. The dynamics of plantation growth. In: BOWEN, G. D.; NAMBIAR, E. K. S. (Ed.). **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984. p. 16-52.
- FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete-RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- FREITAS, R. A. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.
- GARCIA, E. A. **Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando à colheita precoce para utilização em bioenergia**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- GARCIA, E. A. et al. Biomassa de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de briquetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2011a. 1 CD-ROM

GARCIA, E. A. et al. A energia da madeira em floresta de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2011b. 1 CD-ROM.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GONÇALVES, M. R.; PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, pinus e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, n. 1, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilização e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Ed. IPEF, 2000. cap. 2, p. 13-64.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais/Silvicultura e Manejo Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short-rotation forest: implication for land management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Palmerston North, v. 73, p. 93-100, 1999.

KARCHESY, J.; KOCH, P. **Energy production from hardwoods growing on southern pine sites**. New Orleans: U. S. Forest Service, 1979. p. 58-59.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1997. p. 120-122.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MELO, V. F. et al. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Instituto de Pesquisas Florestais**, Piracicaba, v. 48, n. 49, p. 8-17, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. The soil as a plantnutrientmedium. In: _____. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1982. p. 34-37.

MORAIS, E. J. et al. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 14, p. 353-362, 1990.

MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interação progênes x local em *Eucalyptus urophylla*. **Instituto de Pesquisas Florestais**, Piracicaba, n. 39, p. 53-63, ago. 1988.

OLIVEIRA, T. K. et al. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 01-06, dez. 2009. (Edição especial).

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

OMACHI, I. H. et al. Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da Amcel. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 29-36, 2004.

PEREIRA, A. R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região de Cerrado**. 1990. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

RALSTON, S. et al. **The ecological effects coal stripmining: a bibliography with abstracts**. Washington, DC: Fishand Wildlife Service, 1977. 416 p.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 89, p. 100-106, 2005.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimentos da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergis Musscyentifica**, Pato Branco, v. 6, n. 1, 2011.

ROCHA, R. B. et al. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clone de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 255-266, ago. 2005.

- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.
- SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.
- SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* Thunb., plantado na FEPAGRO Florestas, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 27-37, jan.-mar., 2008.
- SILVA, C. R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo**. 2005. 50 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais/Silvicultura e Manejo Florestal)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos**. 1990. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.
- SILVA, P. H. M. et al. Produção de óleo essencial e balanço nutricional em *Corymbia citriodora* adubado com lodo de esgoto em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 346-354, jul./set. 2009.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 91, 12 p., 2000.
- VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.
- VALERI, S. V. et al. The effects of phosphorus and dolomitic lime on the production and volumetrical conversion factors of *Eucalyptus grandis* wood. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 164, p. 55-57, 1993.
- VETTORATO, J. A. **Mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistemas de informação geográfica**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BONACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 371-379, 2011.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamento de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 28, p. 843-852, 2004.