

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

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FLORESTAL DE CURTA ROTAÇÃO DE
Eucalyptus spp. EM FUNÇÃO DA DESBROTA E ADUBAÇÃO**

RAONI XAVIER DE MELO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Abril – 2016

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

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FLORESTAL DE CURTA ROTAÇÃO DE
Eucalyptus spp. EM FUNÇÃO DA DESBROTA E ADUBAÇÃO**

RAONI XAVIER DE MELO

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Abril – 2016

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

M528a Melo, Raoni Xavier de, 1989-
Avaliação de um sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus* spp. em função da desbrota e adubação / Raoni Xavier de Melo. - Botucatu : [s.n.], 2016
viii, 52 f. : fots. color., ils. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Inclui bibliografia

1. *Eucalyptus grandis*. 2. Recursos naturais renováveis. 3. Florestas. 4. Levantamentos de recursos naturais. I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FLORESTAL DE CURTA ROTAÇÃO DE
Eucalyptus spp EM FUNÇÃO DA DESBROTA E ADUBAÇÃO"

AUTOR: RAONI XAVIER DE MELO

ORIENTADOR: SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA
Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. JOSÉ MAURO SANTANA DA SILVA
Departamento de Engenharia Florestal / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SAO CARLOS



Prof. Dra. FRANCIANE ANDRADE DE PÁDUA
Depto de Ciências Ambientais / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Botucatu, 24 de fevereiro de 2016.

DEDICO

Aos meus pais Wilson e Lucilene e ao meu irmão Kauan pelo amor e carinho e por todo o apoio que puderam fornecer;

À minha noiva Victória por todo amor e cumplicidade!

AGRADECIMENTOS

À minha família, pela educação, amor, compreensão e por sempre me apoiarem e incentivar na busca do crescimento profissional;

À Victória, pelo carinho, apoio e ajuda durante os dias de trabalho;

Ao Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra, pela orientação, ensinamentos, sugestões, e principalmente, pela amizade durante esses anos;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - (Energia na Agricultura), pela oportunidade;

Aos Professores da FCA, em especial aos do Departamento de Economia Sociologia e Tecnologia da FCA/UNESP, pela sabedoria, ensinamentos transmitidos e colaboração;

A todos os funcionários do Departamento de Economia Sociologia e Tecnologia, pela amizade e colaboração na execução deste trabalho;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos para o desenvolvimento do trabalho;

Aos amigos do "LABB - Laboratório Agroflorestal de Biomassa e Bioenergia". Guilherme Oguri, Guilherme Sereghetti, Rafael Soler, Marcelo Denadai, Humberto Eufrade Jr, Emanuel Spadim e a Giulia Lembo pelo convívio, momentos de descontração e auxílio em várias etapas da pesquisa;

Aos “meninos” Renan Speranza (Manja) por toda a ajuda e colaboração nesses dois últimos anos e ao André Victor da Costa Manso (Magal) meu muito obrigado por todo o apoio em campo e a amizade adquirida com o tempo;

Aos amigos da época da graduação que estão em Botucatu para pós-graduação, Lucas Bertacini, Victória Campos Monteiro Pires, José de Deus, Rafael Pinheiro, Vitor Furtado e Fernando Campos pela ajuda e conversas;

Aos amigos da República Avaiana de Pau que moraram comigo, pela amizade e convivência durante meus dias de graduação e pós-graduação;

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 O gênero <i>Eucalyptus</i> e a espécie <i>Eucalyptus grandis</i>	7
2.2 Sistema de talhadia	8
2.3 Fertilização nutricional de plantas	9
2.4 Sistema florestal de curta rotação	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Descrição da área	13
3.2 Aspectos silviculturais	14
3.3 Delineamento experimental	16
3.4 Amostragem e escolha das árvores-amostras	17
3.5 Cálculo da área basal	18
3.6 Inventário florestal.....	19
3.7 Determinação de biomassa	20
3.8 Densidade básica da madeira	24
3.9 Análises físico-químicas	25
3.10 Análise imediata	26
3.11 Poder calorífico superior.....	27
3.12 Potencial energético	28
3.13 Análises estatísticas	28

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1	Inventário florestal e área basal	30
4.2	Cálculo de biomassa	36
4.3	Densidade básica da madeira	40
4.4	Análises físico-químicas	40
4.5	Poder calorífico superior	42
4.6	Potencial energético	43
5	CONCLUSÕES	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área experimental da Universidade Estadual Paulista, localizada na Fazenda Lageado pertencente ao município de Botucatu – SP.	14
Figura 2 – Colhedora de biomassa florestal FR 9060 no momento da colheita da floresta	15
Figura 3 – Cepa de <i>Eucalyptus grandis</i> antes e depois da desbrota com a condução de apenas um fuste por cepa.....	16
Figura 4 – Croqui da parcela instalada nos tratamentos. Figura sem escala	17
Figura 5 – Esquema demonstrativo do processo de cubagem segundo o método de Smalian.....	19
Figura 6 – Processo de determinação da biomassa úmida em campo.....	22
Figura 7 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento C1, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	30
Figura 8 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento C2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).	31
Figura 9 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento S1, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).	31
Figura 10 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).	32
Figura 11 – Comparação entre as médias em volume de madeira produzida por hectare no segundo ano da talhadia. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$).....	35
Figura 12 – Alocação de biomassa aérea fresca por componente arbóreo em cada tratamento.....	37
Figura 13 – Composição química imediata nas frações da biomassa. Letras minúsculas iguais, na mesma propriedade, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$) ...	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Normas utilizadas para as análises realizadas no presente trabalho.	25
Tabela 2 – Comparação das médias de DAP em metros entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	33
Tabela 3 – Comparação das médias da altura em metros entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	34
Tabela 4 – Comparação das médias da área basal em metros quadrados entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21)	35
Tabela 6 – Comparação das médias da biomassa seca do componente folha em quilogramas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	38
Tabela 7 – Comparação das médias da biomassa seca do componente galho em toneladas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	39
Tabela 8 – Comparação das médias da biomassa seca total em toneladas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	39
Tabela 9 – Comparação das médias da densidade básica da madeira entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21)	40
Tabela 10 – Comparação das médias do poder calorífico superior, em mega-joule, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2 em relação aos componentes da árvore, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).....	42
Tabela 11 – Comparação das médias do potencial energético, em giga-joules por hectare, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2 em relação aos componentes da árvore, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de <i>Eucalyptus grandis</i> (Clone G21).	43
Tabela 12 – Comparação das médias do potencial energético, em giga-joules por hectare, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2	44

RESUMO

A preocupação com as questões ambientais e o desenvolvimento de diversos tipos de energias alternativas estimula a participação cada vez maior de fontes renováveis de energia. A energia gerada por meio da queima da biomassa é o maior destaque dentre as fontes renováveis, sendo uma das mais exploradas atualmente. O aumento da demanda de biomassa aumentou a necessidade de gerar uma maior quantidade de material em menor tempo e em áreas cada vez mais reduzidas. O presente estudo avaliou o crescimento e a produção da biomassa aérea em plantio de *Eucalyptus grandis* (Clone G21), no sistema de talhadia com enfoque na produção de biomassa florestal ao fim do ciclo de dois anos. O trabalho foi realizado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), em área experimental da Fazenda Lageado, localizada no município de Botucatu – SP. A floresta de *Eucalyptus grandis* foi implantada em março de 2012 no sistema florestal de curta rotação em espaçamento de 3 x 1 m e colhida com a colhedora florestal FR 9060 da New Holland. A segunda rotação foi conduzida a partir da rebrota do plantio anterior com início em de outubro de 2013. A área foi subdividida em quatro tratamentos, os quais foram dispostos em dois fatores: com a desbrota e sem a desbrota; e com a aplicação da adubação comercial e sem a aplicação de adubação. O trabalho foi desenvolvido em um experimento inteiramente casualizado e considerou-se um esquema fatorial (2 x 2) com dois fatores, desbrota e adubação, foi realizado a ANOVA e quando apresentou diferença significativa foi realizado o teste TUKEY para a comparação entre as médias. A produção de biomassa florestal seca resultou em uma média geral dentre os tratamentos de 17,34 toneladas por hectare e o fuste foi o componente arbóreo que mais produziu tanto biomassa fresca quanto biomassa seca por hectare, o qual representa cerca de 91 % de toda a biomassa produzida na área. A densidade básica da madeira também não apresentou diferença estatística quando comparado os fatores silviculturais, obtendo uma média de 369 kg m⁻³. A umidade apresentou-se maior no componente fuste seguido das folhas e os galhos. Para os materiais voláteis e o teor de cinzas apenas apresentaram diferença no componente fuste, que apresentou maior média de materiais voláteis e menor média de carbono fixo. As folhas apresentaram o maior poder calorífico dentre os componentes, mas representam apenas 4,1% do total de biomassa por hectare. Nenhuma prática silvicultural comparada neste trabalho, desbrota e a adubação, apresentou um resultado com diferença significativa a 5% de probabilidade para a produção de biomassa e para a produção de energia. Desse modo, pode-se afirmar que para a talhadia de sistemas florestais de curta rotação com o enfoque

para a produção de biomassa e bioenergia não faz necessário realizar as adubações e nem a desbrota, sendo que estas duas operações são onerosas, tanto economicamente como no dispêndio energético, mas para que isso ocorra devem-se atentar as boas práticas silviculturais no primeiro ciclo, principalmente para o fator adubação.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; Rebrotas; Silvicultura; Inventário, Talhadia.

EVALUATION REGARDING THINNING AND FERTILIZATION OF A SHORT ROTATION COPPICE TO BIOMASS PRODUCTION. Botucatu, 2016. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RAONI XAVIER DE MELO

Adviser: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

SUMMARY

The power generated by biomass burning is the biggest highlight from renewable sources, one of the most currently used. With the increasing use of biomass, the need arises to produce more biomass in less time in a smaller area. This study aims to evaluate the growth and biomass production of *Eucalyptus grandis*, G21 clone, the coppice system, with a focus on production of forest biomass. The study was conducted at São Paulo State University (UNESP) in the experimental area of Lageado Farm, located in Botucatu SP. The *Eucalyptus grandis* forest was established in March 2012 in forest system of short rotation with spacing of 3 x 1 m at 18 months of age was held the first thinning in total area, with forest harvester FR 9060 New Holland, which gathers all the tree components, stem, branches and leaves. After harvesting the area was subdivided into 4 equal parts where set 4 treatments, which are arranged on two factors: With the completion of thinning and without the use of thinning; and the application of commercial fertilizer or without the application of commercial fertilizer. The study was conducted in a completely randomized experiment and considered a factorial arrangement (2 x 2) with two factors, thinning and fertilizing. It was found that the thinning and fertilization influenced some physical properties of forest biomass. The components of biomass differed in all the treatments.

Especially the leaves which had the highest average values of the gross calorific value (20.9 MJ kg⁻¹), higher fixed carbon (15 %). The highest dry matter yield, 18,690 kg, was presented by the treatment without thinning and fertilization. The same treatment also showed the highest amount of energy potential, 336.06 GJ ha⁻¹. Fertilization worked significantly in the production of dry biomass and consequently the energy potential per area.

KEYWORDS: *Eucalyptus*; regrowth; Silviculture; Inventory, Coppice.

1 INTRODUÇÃO

Motivados pelas mudanças do clima e principalmente pela extenuação dos recursos naturais ou não renováveis, o mercado mundial busca formas alternativas renováveis que possam ser transformadas em energia, sendo assim buscar fontes alternativas de energia tem se tornado uma tendência global.

A matriz energética mundial é baseada no consumo de combustíveis fósseis e vem apresentando problemas de ordem ambiental e econômica. Com a diminuição da oferta deste material e aumento do preço e da demanda energética, faz-se necessário que as fontes alternativas de energia tenham a capacidade de suprir este déficit energético (BRITO, 2007).

World Wildlife Foudation (WWF) (2011) considerou em seu trabalho a importância da produção de energia proveniente de florestas de rápido crescimento. Desse modo, a energia gerada por meio da queima direta da biomassa surge como um destaque dentre as fontes de renováveis, sendo uma das mais exploradas atualmente. Com a utilização cada vez maior de biomassa surgiu a necessidade de gerar mais biomassa em menor período de tempo e em uma menor área.

Pensando nisso, a Europa foi pioneira na implantação do sistema florestal de curta rotação, o qual diminui os ciclos de 20 a 30 anos para ciclos de florestas mais curtos de 2 a 3 anos. As florestas com finalidade energética ganham cada vez mais destaque e são amplamente utilizadas no continente. Espécies como willow (*Salix* spp.) e *Miscanthus* são os destaques entre as culturas implantadas no sistema florestal de curta rotação (SOUCH et al., 2014).

No Brasil, Guerra et al., (2012), avaliando florestas adensadas de *Eucalyptus* spp. demonstraram uma necessidade na redução do ciclo da cultura dessas florestas e a necessidade de um incremento em sua produtividade, principalmente nos anos iniciais para que esta biomassa seja explorada com a finalidade de geração de energia.

O setor florestal brasileiro está em crescente expansão territorial bem como em franco crescimento no setor da economia brasileira. O setor de florestas plantadas dispôs de cerca de 7,15 milhões de hectares de florestas de rápido crescimento, como Eucalipto e Pinus, em todo o território nacional no ano de 2014 (IBÁ, 2015).

Nas florestas plantadas existem em dois tipos de regimes florestais, o de alto fuste e o de talhadia. O regime de alto fuste é o plantio inicial da floresta a partir do plantio de mudas, finalizando com o corte total da área. O regime de talhadia é considerado como a condução das rebrotas que são provenientes das cepas (tocos) da floresta remanescentes de um ciclo anterior (GADELHA, 2015).

No Brasil diversos experimentos com sistema florestal de curta rotação vêm sendo desenvolvidos, principalmente com o eucalipto em regime de alto fuste, mas pouco se sabe sobre a produção volumétrica e de biomassa na talhadia destes plantios.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o crescimento e a produção da biomassa aérea de *Eucalyptus grandis*, clone G21, no sistema de talhadia, com o enfoque na produção de biomassa florestal aos dois anos de idade. E ainda possui como objetivos específicos: Avaliar e comparar a produção em volume e em biomassa bem como determinar a densidade básica da madeira e o potencial energético em diferentes manejos silviculturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O gênero *Eucalyptus* e a espécie *Eucalyptus grandis*

O Brasil é um grande produtor de madeira reflorestada, com cerca de 7,15 milhões de hectares de florestas plantadas de rápido crescimento, como Eucalipto, em todo o território nacional no ano de 2014 (IBÁ, 2015). A diversidade climática do Brasil permite que haja uma maior adaptação das espécies do gênero *Eucalyptus* no país (BERTI, 2010). Porém, há uma grande diversidade característica entre as diferentes espécies, o que as diferencia em cada ambiente com influência de vários fatores, como pluviosidade, temperatura, solo, espécie e quando se trata de clones, o genótipo (BENATTI, 2013).

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil com o intuito de ser utilizado no setor madeireiro, como carvão e dormentes, devido principalmente ao seu rápido crescimento (MARTINI, 2004). O gênero contém aproximadamente 900 espécies (BROOKER e KLEINING, 2006), as quais são originárias da Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné (FAO, 2000).

Pertencente à família das Myrtaceae, que é responsável pela maior parte das espécies plantadas no mundo, por meio do subgênero *Symphomyrtus*, o qual se divide em nove seções, possuindo entre elas as espécies mais cultivadas, como, Seção *Transversaria*: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. pellita*; Seção *Exsertaria*: *E. camaldulensis*, *E. exserta* e *E. tereticornis* e Seção *Maidenaria*: *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. smithii* e *E. nitens* (MORAES, 2013).

O *Eucalyptus grandis* é uma das espécies do gênero mais cultivadas no Brasil, principalmente devido às características silviculturais e tecnológicas, além de ser adaptado a diversas condições climáticas como ocorre em países de climas tropicais (KAGEYAMA, 1983). Natural da Costa Leste da Austrália, a área de distribuição original da espécie possui clima subtropical úmido com temperatura mínima de 2 a 10 °C e máxima de 29 °C, podendo em algumas regiões se adaptarem a temperaturas médias diárias de 32 °C, como por exemplo, no Sudoeste da Flórida (MARTINS, 2007).

O *Eucalyptus grandis* se destaca como uma das espécies com maior incremento quando introduzida em condições ambientais adequadas, possui tronco liso com aspecto colunar ocasionado pelo hábito de desrama natural da espécie. Suas características tecnológicas são adequadas para serraria e celulose. Entretanto, após dois cortes sucessivos há uma queda no seu poder de rebrota. Sua alta plasticidade genética é de grande interesse na obtenção de híbridos e clones (MORA e GARCIA, 2000).

2.2 Sistema de talhadia

Devido às diferentes possibilidades de usos da madeira do gênero *Eucalyptus* diversas estratégias são utilizadas, a fim de aprimorar a formação e condução dos plantios florestais (ANDRADE et al., 1997). No Brasil, o manejo por talhadia possui destaque em espécies que emitem brotos de gemas adventícias dormentes nos troncos, como alguns *Eucalyptus* spp. (SOUZA et al., 2012).

Durante a década de 80 houve um avanço tecnológico na silvicultura do eucalipto por meio do aparecimento de novos materiais genéticos, métodos de preparo do solo, espaçamento de plantio e fertilização, os quais foram responsáveis pelo aumento de produtividade. Com isso, a reforma após o corte raso era o sistema de manejo mais utilizado. Entretanto, após a crise econômica mundial de 2008 houve uma necessidade de conter gastos e a condução da brotação passou a ser mais adotada (GONÇALVES et al., 2014).

A maior parte dos plantios conduzido no sistema de talhadia é praticada em sistemas florestais com a rotação entre 6 a 8 anos em regiões com deficiência hídrica ou nutricional (GONÇALVES et al., 2014). Nos plantios comerciais do gênero *Eucalyptus* no país são realizados geralmente três cortes, necessitando selecionar as espécies e procedências de maior produtividade e com boa capacidade de brotação (HIGA e STURION, 2000).

A mortalidade das árvores e a não brotação das cepas são as principais dificuldades para a condução de uma segunda rotação mais produtiva, dessa forma, as populações de segunda rotação apresentam produtividade inferior quando comparadas as da primeira rotação (ANDRADE et al., 1997). A espécie, sobrevivência, altura de corte, sombreamento, formigas cortadeiras, cupins, tipo de solo, época e forma de desbrota, danos as cepas, déficit hídrico, precipitação, interferem na capacidade de brotação das cepas (STAPE, 1997).

Apesar de a espécie *Eucalyptus grandis* apresentar maior crescimento e qualidade da madeira quando comparada as outras espécies do gênero, o mesmo demonstra falhas na sua regeneração (STAPE, 1993), característica de importância quando se trata da produtividade da segunda rotação (ANDRADE et al., 1997).

2.3 Fertilização nutricional de plantas

As quantidades de nutrientes encontradas no solo de um plantio florestal são fundamentais para o entendimento da estrutura local e auxiliam na escolha de estratégias que permitam a manutenção da sustentabilidade florestal (CUNHA, 2005). Ao se conhecer a quantidade e os teores de macro e micronutrientes dos galhos e folhas é possível avaliar a quantidade exportada de nutriente durante a colheita (OGURI, 2012).

Para Caldeira (1998), as concentrações de nutrientes e a produção de biomassa irão influenciar a quantidade de nutrientes exportada ($kg\ ha^{-1}$), o qual pode ter interferência pelas condições de sítio, idade, época do ano e procedência. Os conteúdos de nutrientes variam entre os diferentes componentes de uma floresta, o nitrogênio (31 % nas folhas, 29,5 % na madeira, 20 % na serrapilheira, 11 % nas cascas e 8,5 % nos galhos), fósforo (31 % na madeira, 28 % nas cascas, 22 % nas folhas) e cálcio (30 % nas cascas, 29 % na serrapilheira, 18 % na madeira) (GONÇALVES et al., 2000).

Em florestas plantadas conhecer a quantidade de nutrientes no solo que será exportada durante a colheita é fundamental (MELO et al., 1995). Em plantios com finalidade de produção de energia a exportação de nutrientes é maior, visto que até mesmo os galhos pequenos são aproveitados (ZAIA et al, 2004). Segundo Silva et al., (2009), há uma exportação de nutrientes três vezes maior em plantios adensados e quando utilizado colheitas sucessivas há uma necessidade de fertilização mais intensa.

A serrapilheira de plantios de eucalipto é pouco responsável pela reposição de nutrientes do solo devido a uma efetiva ciclagem bioquímica, com isso em

plantios de curta rotação há um maior cuidado quanto à prática de manejo aplicada e à densidade do plantio que estão relacionados à manutenção de produtividade do mesmo (CUNHA, 2005). Assim, a fertilização no plantio auxilia a produtividade dos sítios em plantio florestais (BARROS et al., 1990).

Ao analisarem a ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense, Cunha et al. (2005), encontraram que as folhas foram as maiores responsáveis pela deposição de nutrientes no solo, além do que em plantios mais jovens quanto maior a quantidade e qualidade das folhas, maior a manutenção da fertilidade do mesmo. Assis et al. (2006), verificaram que não há diferença nos teores de nitrogênio, fósforo, boro e enxofre em um plantio de *Eucalyptus urophylla* em diferentes espaçamentos.

Barreiros et al. (2007), estudando a variabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* produzida por plantios de 5 anos de idade com a aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto tratado, concluíram que os teores de hemiceluloses e de cinzas aumentaram com a dose aplicada, exceto os teores de celulose, lignina e extrativos e o poder calorífico da madeira, que não foram influenciados.

Vale et al. (2000) e Guerra et al. (2014), estudando plantios de *Eucalyptus* spp, não encontraram influência da adubação no poder calorífico superior. As diferenças mais significativas nessa propriedade estão mais associadas à idade (KUMAR et al., 2010; LEMENIH; BEKELE, 2004).

2.4 Sistema florestal de curta rotação

Os sistemas florestais de curta rotação (SFCR) ou *Short Rotation Woody Crops* (SRWC) que são implantados na Europa diferem do manejo convencional em diversos aspectos, desde as espécies que são utilizadas, espécies com rápido crescimento e uma maior quantidade de indivíduos na área até o sistema de colheita (CHRISTOPHERSON; MATTSON, 1990).

Convencionalmente, a biomassa para fins energéticos para a utilização em caldeiras e fornos industriais é transformada em cavacos e direcionadas para a queima direta, podendo ser transformada em briquetes ou pellets, que melhoram as características físicas e térmicas do material produzido (GUERRA et al., 2012).

Os sistemas que visam uma maior produção em volume de biomassa por área em um menor ciclo de colheita e possuem como finalidade a queima para a produção de energia (Müller, 2005) podem receber duas terminologias.

A primeira foi introduzida no Brasil na década de 1980 e teria recebido o nome de “Florestas Energéticas”, foram implantadas por Brito e Barrichelo (1978) e Magalhães (1982) e definidas como plantações florestais com grande número de indivíduos por hectare com a finalidade de produzir biomassa. Na década de 1980, a empresa Acesita introduziu, em minas gerais, florestas com o contexto de adensar os plantios e chegou-se a plantar até 40.000 mudas por hectare, quando o padrão da época e da região era de 2.000 (COSCARRELLI, 2001).

Mas, esse período foi marcado essencialmente por plantios com menor produtividade e grande mortalidade de indivíduos, além dos impactos sobre a fertilidade e umidade do solo sendo justificado pelo pouco conhecimento técnico, a pouca qualidade do material genético e ao baixo nível tecnológico da silvicultura na época (MÜLLER, 2005)

O segundo termo foi introduzido por Guerra et al. (2012), responsável por inserir no país o termo: Sistema Florestal de Curta Rotação (SFRCR). Esses sistemas são manejados de forma adensada em linhas simples ou duplas, com intervalos de corte de dois a três anos. A densidade de plantio depende de fatores como a espécie e o tipo de sistema de colheita utilizado.

No Brasil, o gênero mais utilizado e estudado é o *Eucalyptus* spp, o qual possui um maior rendimento para produção de biomassa em menor espaço de tempo. No primeiro ano dos ciclos nos sistemas florestais de curta rotação no espaçamento 3 m x 0,5 m (6667 árvores ha⁻¹), chegou-se a atingir até 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ quando conduzidos em suas condições ótimas de manejo (MÜLLER, 2005; GUERRA et al., 2012; GARCIA, 2013; MACHADO, 2014; SARTÓRIO, 2014).

Na década de 90 iniciou-se na Europa o desenvolvimento de máquinas para a colheita desses sistemas florestais de curta rotação, alguns modelos já foram estabelecidos para algumas espécies como o *Populus* e *Salix*. No Brasil o sistema de colheita para essas florestas está sendo desenvolvido e adequado desde 2010, onde tem sido utilizada uma colhedora autopropelida (modelo FR9060 e marca New Holland) acoplada com uma plataforma de corte que recolhe de forma contínua toda biomassa acima do solo, incluindo fuste, galhos dos SFRCR. Toda a biomassa produzida, inclusive os galhos são cavaqueados e despejados diretamente em um transbordo. A importância da biomassa

florestal fracionada (cavacos) ocorre devido ao processo de secagem, o qual é acelerado pelo aumento da área superficial em contato com o ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área

O trabalho foi realizado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), em uma área experimental da Fazenda Lageado, localizada na FCA – Faculdade de Ciências Agrárias em Botucatu – SP. O município encontra-se na região centro oeste do estado de São Paulo, Brasil, e o local do experimento está entre a longitude 48° 48' 24" W e latitude de 22° 25' 50" com altitude aproximada é de 729 metros (Figura 1).

O clima predominante na região é do tipo Cfa, que caracteriza clima subtropical chuvoso, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). O índice pluviométrico anual está em torno de 1516 mm e seu solo é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi instalado em uma área demonstrativa implantada no sistema florestal de curta rotação, com espaçamento de 3 x 1 m, sendo os tratamentos distribuídos em uma área correspondente a 1 ha.

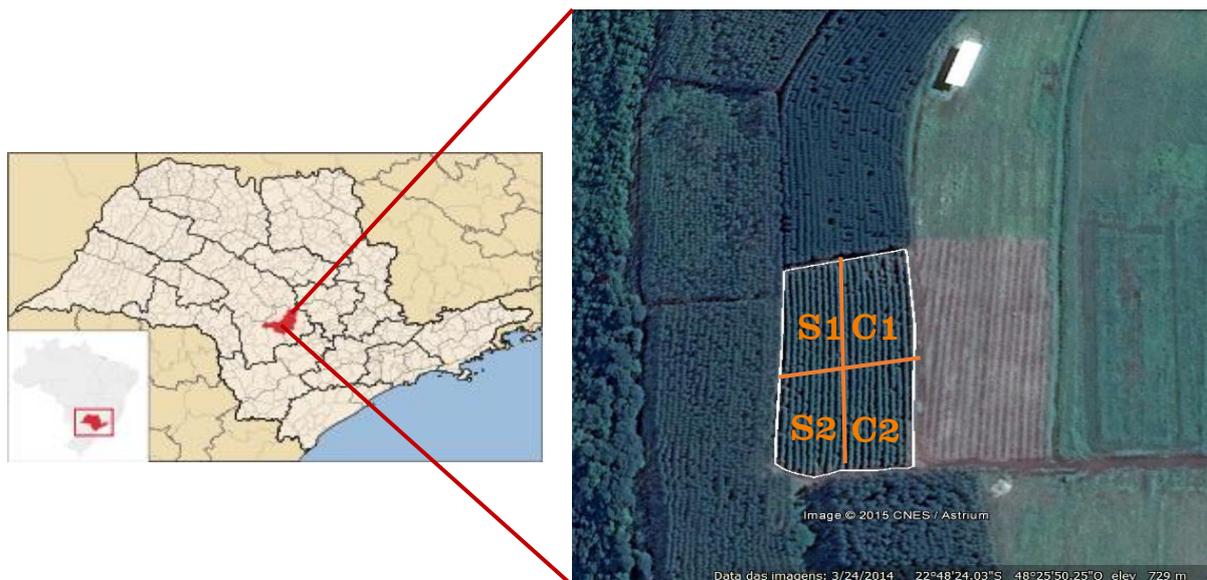


Figura 1 – Área experimental da Universidade Estadual Paulista, localizada na Fazenda Lageado pertencente ao município de Botucatu – SP.

3.2 Aspectos silviculturais

Em março de 2012 foi implantada a floresta de *Eucalyptus grandis*, clone G21, no sistema florestal de curta rotação, sendo utilizado o espaçamento de 3 x 1 m. Aos 18 meses de idade foi realizado um corte raso, com a colhedora florestal FR 9060 da New Holland, colhedora utilizada em plantios no SFCR, a qual realiza a colheita de todos os componentes arbóreos: fuste, galhos e folhas (Figura 2). Como a área implantada foi instalada com fins demonstrativos de colheita, a mesma foi colhida precocemente aos 18 meses.

Em sua primeira rotação foram implantados os manejos silviculturais como, adubação de base com 300 kg ha⁻¹ de NPK (08-27-10) com duas adubações de cobertura com 250 kg ha⁻¹ de NPK (20-00-20) aos seis e aos 12 meses após o plantio. Limpeza das entrelinhas com aplicação de glifosato na concentração de 2% da solução e roçadas mecanizadas para combater a mato competição.

Em novembro de 2013, 1 mês após a colheita do primeiro ciclo foi tomada a decisão de implantar o sistema de talhadia, ou seja, conduzir a rebrota da área e analisar a produção de biomassa no sistema florestal de curta rotação, no ciclo convencional para o SFCR com 24 meses. Desse modo, a coleta de dados da segunda rotação foi aos 24 meses após o início da talhadia.



Figura 2 – Colhedora de biomassa florestal FR 9060 no momento da colheita da floresta

Após a colheita a área foi subdividida e foram estabelecidos 4 tratamentos dispostos em dois fatores: com a realização da desbrota (C); sem a utilização da desbrota (S) e com a aplicação da adubação comercial (1); sem a aplicação da adubação comercial (2). A partir disso foram atribuídos os seguintes códigos para as interações nos tratamentos, C1 para o tratamento com desbrota e com adubação; C2 para o tratamento com desbrota e sem adubação; S1 para o tratamento sem desbrota e com adubação; S2 para o tratamento sem desbrota e com adubação.

Aos dois e aos quatro meses após o início da brotação foi realizada uma capina química nas entrelinhas e entre plantas, utilizando um herbicida com o princípio ativo glifosato, além de um controle de formigas cortadeiras com inseticida a base de Sulfluramida pré-corte aos 30 dias após o corte e aos 90 dias após a colheita.

A adubação consistiu na aplicação de NPK (6-30-6) mais micronutrientes Zn (0,5 %) e B (0,3 %) na adubação de base (logo após o desbaste), na dosagem de 100 g planta⁻¹ em covetas laterais em cada indivíduo. Também, realizaram-se duas adubações de cobertura, sendo a primeira aos 60 dias após a brotação, feita com NPK (20-05-20), na dose de 100 g planta⁻¹; e a outra aos 180 dias, na dose de 120 g planta⁻¹, também, com NPK (20-05-20).

O modelo de desbrota utilizada foi o convencional, realizado aos 9 meses após o início da brotação, de forma a deixar apenas um broto por cepa (Figura 3). Quando houve falha (morte) de um indivíduo vizinho deixaram-se dois fustes por cepa.



Figura 3 – Cepa de *Eucalyptus grandis* antes e depois da desbrota com a condução de apenas um fuste por cepa

3.3 Delineamento experimental

Nesta fase, foi instalado um experimento na forma inteiramente casualizado e foi considerado um esquema fatorial (2 x 2) com dois fatores: em função ou não da desbrota e com adubação ou sem adubação.

Cada tratamento foi composto por 6 parcelas experimentais, contendo uma faixa de 18 metros de largura e 16 metros de comprimento. Dentro de cada parcela foi medido apenas as três linhas centrais, com 12 árvores em cada linha e com bordadura dupla nas laterais e frente (Figura 4), de forma a totalizar 36 árvores/cepas úteis por tratamento.

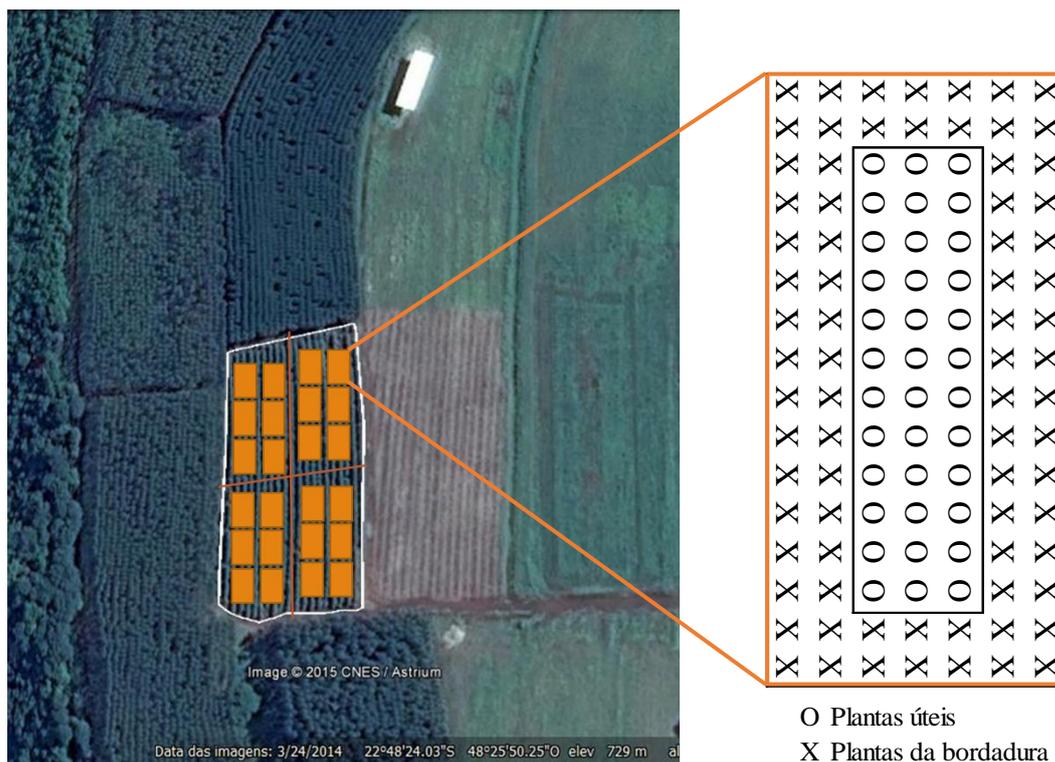


Figura 4 – Croqui da parcela instalada nos tratamentos. Figura sem escala

A mensuração do diâmetro a altura do peito (DAP) e da altura dos indivíduos ocorreu aos 24 meses após a primeira o corte raso da floresta, no momento em que foi estabelecida a idade final do ciclo da segunda rotação. Foram mensurados todos os fustes maiores que 2 centímetros de diâmetro dentro das 6 parcelas dentro de cada tratamento.

3.4 Amostragem e escolha das árvores-amostras

As avaliações foram realizadas em todas as parcelas, sendo mensurados o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total de todas as árvores úteis. Para a medição das alturas totais foi utilizado um clinômetro eletrônico. O DAP foi avaliado com o auxílio de uma suta graduada.

Para gerar a distribuição dos diâmetros, os valores de DAP foram agrupados em classes de frequência, sendo que o número de classes foi obtido pela Equação 01, proposta por Sturges.

$$n_c = 1 + 3,3 \times \log_{10} n_1 \quad (01)$$

Em que:

n_c = Número de classes;

n_1 = Número de observações.

Para determinar o intervalo das classes de diâmetro, utilizou-se a Equação 02.

$$I_c = \frac{(d_{max} - d_{min})}{d_{min}} \quad (02)$$

Em que:

I_c = Intervalo de classe (cm);

$d_{máx}$ = Diâmetro máximo (cm);

$d_{mín}$ = Diâmetro mínimo (cm).

Foram selecionadas 3 árvores-amostra por classe de diâmetro de cada tratamento, sendo que as árvores-amostra estavam dentro da amplitude de cada classe de diâmetro, determinadas a partir do inventário de DAP e altura total.

3.5 Cálculo da área basal

Para o cálculo da área basal nos tratamentos foi realizado a somatória das áreas transversais de todas as árvores de cada parcela e foi calculada a partir da média das áreas transversais (\bar{g}) multiplicada pela quantidade de árvores por tratamento, conforme Equação 03.

$$AB = \bar{g} \times n \quad (03)$$

Em que:

AB = Área basal do tratamento (m²);

\bar{g} = Área transversal média de cada tratamento (m²);

n = Quantidade de árvores por tratamento.

3.6 Inventário florestal

A determinação do volume de madeira em metros cúbicos (m³) foi realizada pelo método de Smalian (Figura 5), por meio da coleta dos diâmetros a altura de 0 m, 0,3 m, 1,3 m e a cada 2 m posteriormente até o fim da árvore. Considerando duas medidas de diâmetro consecutivas foi calculado o volume da seção (tora), conforme as Equações 04, 05 e 06. A última seção da árvore, no topo, foi assumida como um cone, com volume determinado conforme a Equação 07.

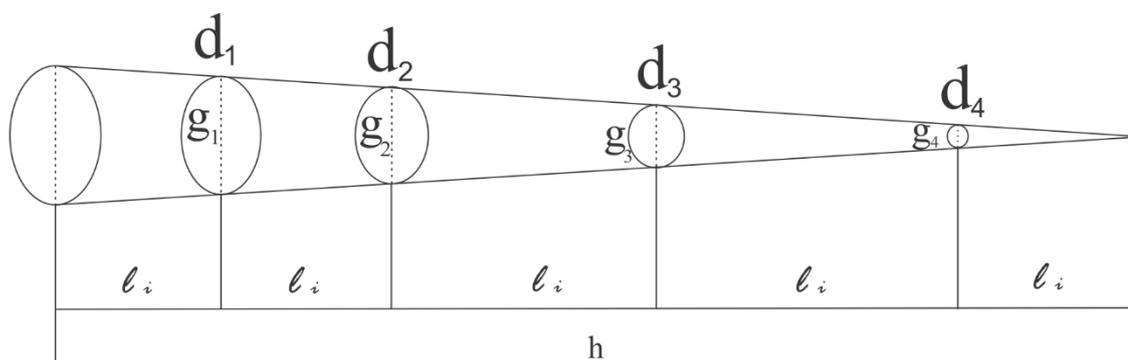


Figura 5 – Esquema demonstrativo do processo de cubagem segundo o método de Smalian

$$V_i = \ell \cdot \frac{(g_1 + g_2)}{2} \quad (04)$$

$$g_1 = \frac{(\pi \times d_1^2)}{4} \quad (05)$$

$$g_2 = \frac{(\pi \times d_2^2)}{4} \quad (06)$$

Em que:

V_i = Volume da seção i (m^3);

g_1 = Área transversal na ponta mais grossa da tora (m^2);

g_2 = Área transversal na ponta mais fina da tora (m^2);

d_1 = Diâmetro na base da seção (m);

d_2 = Diâmetro no topo da seção (m);

ℓ_i = Comprimento da seção da tora (m).

$$V_p = \frac{(g_p \times \ell_p)}{3} \quad (07)$$

Em que:

V_p = Volume do ponteiro (m^3);

g_p = Área transversal da última seção (m^2);

ℓ_p = Comprimento da última seção (m).

O volume total do fuste (V_t) com casca foi obtido pelo somatório dos volumes de cada seção, conforme Equação 08:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n + V_p \quad (08)$$

A partir da cubagem dos 3 indivíduos por classe de diâmetro, foi calculado um volume médio dentro da classe e posteriormente foi determinado o volume das parcelas de acordo com a frequência obtida de diâmetros dentro de cada classe.

Após determinar o volume de cada parcela foi realizado o volume total por tratamento e posteriormente uma extrapolação dos dados de volume para o cálculo de produção de madeira (m^3) por hectare.

3.7 Determinação de biomassa

A partir das árvores-amostra, como descrito anteriormente (item 3.4), foi determinada a biomassa úmida total de cada componente em cada uma das 3 árvores-amostras de cada classe diamétrica.

Inicialmente, as árvores foram desbastadas e todos os seus galhos retirados, tanto os secos como os verdes. Os mesmos foram colocados em uma lona plástica e então se retirou as folhas dos galhos, os quais foram acondicionados em outra lona plástica. Após a desgalha e a desfolha, as seções foram pesadas ainda no campo com o uso de uma balança digital Brecknell Electro Samson digital com erro máximo de 0,05 kg (Figura 6).

Para a determinação da massa seca foi utilizado o método de árvore individual, conforme descrito por Sanquetta (2002). Foram retiradas três amostras de ± 300 gramas para cálculo da umidade na base úmida (Equação 9) das frações no momento da coleta. As amostras foram colocadas em estufa para secagem a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ até que as mesmas atingissem peso constante. Foi determinado o teor de material seco (Equação 10) de cada fração, ou seja, a quantidade de matéria seca contida na biomassa durante a pesagem no campo.



Figura 6 – Processo de determinação da biomassa úmida em campo. A - Realização da desbrota aos nove meses após a primeira colheita. B - Medição de DAP e altura total aos 24 meses do segundo ciclo. C - Escolha das árvores-amostras. D - Retirada dos galhos e folhas das árvores-amostra. E - Acomodação dos galhos com folhas em lonas plásticas. F - Retirada das folhas dos galhos na lona plástica. G - Alocação do total de galhos na lona plástica. H - Alocação das folhas na lona plástica. I - Pesagem de todas as folhas e galhos de cada árvore-amostra separadamente

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_u} \quad (09)$$

$$T_s = 100 - (U) \quad (10)$$

Em que:

m_u = Massa úmida da fração coletada (g);

m_s = Massa seca da fração após secagem na estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (g);

U = Teor de umidade na base úmida (%);

T_s = Teor de secos na fração considerada (%).

Para cálculo da massa seca de folhas e galhos utilizaram-se as Equações 11 e 12:

$$MS_{folhas} = P_{uf} \times T_{sf} \quad (11)$$

$$MS_{galhos} = P_{ug} \times T_{sg} \quad (12)$$

Em que:

MS_{folhas} = Massa seca de folhas (kg árvore^{-1});

MS_{galhos} = Massa seca de galhos (kg árvore^{-1});

P_{uf} = Peso úmido de folhas no campo (kg);

P_{ug} = Peso úmido de galhos no campo (kg);

T_{sf} = Teor de secos na fração folhas (%);

T_{sg} = Teor de secos na fração galhos (%).

Para determinação da massa seca do fuste com casca optou-se pela obtenção indireta, por meio do produto entre o volume dos fustes (obtido na cubagem pelo método de Smalian) e o valor de densidade básica descrita no item 3.8 (Equação 13).

$$MS_{fuste} = V_{fuste} \times D_{b\ pond} \quad (13)$$

Em que:

MS_{fuste} = Massa seca do fuste com casca (kg árvore⁻¹);

V_{fuste} = Volume do fuste com casca (m³);

$D_{b\ pond}$ = Densidade básica da madeira com casca ponderada pelo volume (kg m⁻³).

Obtidos os valores de massa verde e massa seca foi possível obter as relações percentuais dos três componentes (fuste, galho e folha). Esses valores podem ser utilizados no cálculo do potencial energético de cada sistema, bem como a exportação de nutrientes por sistema de manejo.

3.8 Densidade básica da madeira

A avaliação da densidade básica foi utilizada apenas na fração fuste. Foram retirados discos a 0 (base), 25, 50, 75 e 100 % da altura total da árvore (ABNT, 2003). Para fins energéticos foi considerado que a altura comercial é igual a altura total da árvore.

Os discos com casca foram submersos em água para saturação após a coleta e posteriormente, secos em estufa (105 °C ± 2 °C) a fim de obter a massa seca. O volume saturado foi obtido pelo método da balança hidrostática.

Assim, pode-se calcular a densidade básica da madeira com casca em cada posição da árvore, pela relação entre a massa seca e o volume saturado. Dessa forma, foi possível calcular a densidade básica do fuste ponderado pelo volume de cada posição dos discos retirados da sua respectiva árvore-amostra (Equação 14).

$$D_{b\ pond} = \left(\frac{D_{b(0-25\%)} \times V_{(0-25\%)} + \dots + D_{b(75-100\%)} \times V_{(75-100\%)}}{V_{(0-25\%)} + V_{(25-50\%)} + V_{(50-75\%)} + V_{(75-100\%)}} \right) \quad (14)$$

Em que:

$D_{b\ pond}$ = Densidade básica da madeira com casca ponderada pelo volume (kg m⁻³);

D_b = Densidade básica média entre os discos na posição considerada (kg m⁻³);

V = Volume da seção do fuste na posição considerada (m³).

3.9 Análises físico-químicas

Para essas análises foram utilizadas 1 árvore-amostra para cada classe, totalizando oito árvores por tratamento e foi realizado uma triplicata em cada uma das análises, com exceção dos ensaios de densidade básica e energética do fuste com casca, nos quais foram utilizadas oito árvores-amostra por tratamento sendo realizado uma duplicata dos dados.

De cada árvore selecionada foram coletadas duas amostras compostas para cada componente da biomassa analisada – madeira com casca (fuste), galhos e folhas. A primeira amostra foi usada na determinação da umidade das frações no campo e outra foi utilizada apenas no componente fuste, com a finalidade de se obter da densidade básica. Essas amostras foram preparadas de acordo com a norma TAPPI T264cm-97, sendo adaptada para as frações galhos e folhas. Todas as amostras foram secas e armazenadas em uma estufa a 65 °C para que se evitasse a degradação biológica de todo o material.

Todos os componentes da biomassa foram moídos em moinho tipo Willey, e classificados em três tamanhos no agitador de peneiras: partículas retidas na peneira de 40 mesh (>40 mesh), partículas que passaram na peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh (40-60 mesh), e por último as partículas que passaram da peneira de 60 mesh (<60 mesh). Para os ensaios, foi utilizada a fração de 40-60 mesh, exceto para a análise de poder calorífico superior que foi a fração de 60 mesh.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos, do Departamento de Ciências Ambientais na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus de Sorocaba-SP. Estes ensaios laboratoriais foram realizados com base nas normas e metodologias apresentadas na Tabela 2. As adaptações normativas e as análises foram detalhadas nos itens a seguir.

Tabela 1 – Normas utilizadas para as análises realizadas no presente trabalho.

Propriedades físico-químicas	Metodologia adotada
<i>Poder calorífico superior (PCS)</i>	ASTM E711-84 (2004)
<i>Densidade básica da madeira (Db)</i>	ABNT NBR 11941 (2003)
Umidade (U)	ASTM E871 – 82 (2006)
Cinzas (CZ)	ASTM D1102 – 84 (2007)
Carbono fixo (CF)	ASTM E870 – 82 (2006)
Material volátil (MV)	ASTM E872 – 82 (2006)

3.10 Análise imediata

A análise imediata consistiu na determinação dos seguintes componentes: teor de umidade, material volátil (queimado no estado gasoso), carbono fixo (queimado no estado sólido) e cinzas (componente residual após combustão).

O teor de umidade (U %) foi determinado com base úmida para o material verde (fresco) como encontrado no campo (Equação 09). Para determinação dos componentes - carbono fixo (CF), material volátil (MV) e cinzas (CZ) foi utilizado um forno mufla marca Jung modelo 0202 com capacidade até 1200 °C. As amostras foram secas em estufa a 105 °C ± 2 °C para obtenção do material seco. Para os ensaios de MV e CZ foi utilizado um grama de material na fração 40-60 mesh, e o CF foi obtido por diferença. A amostra foi colocada em cadinho de porcelana com a tara conhecida, o mesmo foi utilizado com tampa para o ensaio de material volátil. A pesagem foi realizada com balança de precisão (0,001g) da marca Shimadzu, após as amostras serem armazenadas no dessecador com sílica gel para resfriamento sem ganho de umidade.

O teor de matérias voláteis (MV) foi obtido após a amostra permanecer na mufla a 900 °C ± 10°C por sete minutos. A mufla utilizada no ensaio foi diferente da proposta pela norma americana; desta forma, para contornar a situação, o tempo foi cronometrado somente quando a mufla atingiu a temperatura próxima a 900 °C. O teor de cinzas (CZ) foi obtido após manter a amostra na mufla a 600 °C ± 20 °C após três horas. Para determinação dos componentes MV e CZ, foi utilizada Equação 15.

$$Y = \frac{(M_i - M_f)}{(M_i)} \quad (15)$$

Em que:

Y = teor do componente avaliado (%);

M_i = massa inicial da amostra (g);

M_f = massa final após condicionamento específico (temperatura e tempo) na mufla (g).

O Carbono fixo foi obtido indiretamente, com uso da Equação 16.

$$CF = 100 - (MV - CZ) \quad (16)$$

Em que:

CF = teor de carbono fixo (%);

MV = teor de material volátil na mesma umidade de referência (%);

CZ = teor de cinzas na mesma umidade de referência (%).

3.11 Poder calorífico superior

Foi utilizado um calorímetro do modelo C200 conectado a um termostato modelo KV 400 e uma bomba calorimétrica (ou frasco de decomposição) modelo C200, ambos da marca IKA® WERKE. As amostras utilizadas (fração de 60 mesh) foram levadas à estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ para obtenção do material seco. Nesse caso, foi utilizado aproximadamente 0,5 g por amostra e a pesagem realizada com balança de precisão de 0,0001 g.

Após a determinação da massa seca, cada amostra foi colocada no cadinho de combustão (20 mm de diâmetro e 19,5 mm de altura). O fio de algodão (padrão) faz a ligação entre a amostra e a haste metálica de ignição, como exemplificado na Figura 18. Após o preparo da amostra, a cápsula principal é fechada e há o preenchimento automático de oxigênio dentro da bomba calorimétrica e a água (temperatura controlada) na cuba que envolve o mesmo.

Após a ignição, ocorre a combustão e o calor liberado é transferido para água. O aumento de temperatura na água é aferida por meio de sensores e o software - C5040 CalWin - do equipamento e associa a leitura em energia produzida pela unidade de massa da amostra. Nos cálculos, o equipamento desconta a influência dos outros componentes do frasco durante a combustão (ex. o fio de algodão).

3.12 Potencial energético

Calculou-se o potencial energético (PE) por componente da biomassa da árvore e em seguida, o potencial total por hectare, por meio da Equação 17, descrita por Vale et al. (2000).

$$PE = PCS \times M_s \quad (17)$$

Em que:

PE = Potencial energético da fração considerada (MJ árvore⁻¹; GJ ha⁻¹);

PCS = Poder calorífico superior da fração considerada (MJ kg⁻¹);

M_s = Biomassa seca da fração considerada (kg árvore⁻¹; t ha⁻¹).

Para o estudo foi determinado o potencial energético por tratamento para cada fração da biomassa aérea e posteriormente, o potencial energético total. Ressalta-se que é dado como potencial, já que considera que a biomassa seja queimada seca.

3.13 Análises estatísticas

O experimento foi instalado em campo de forma inteiramente casualizada. Para analisar cada variável coletada na mensuração da biomassa florestal, procedeu-se com a avaliação de homogeneidade da variância e da distribuição dos resíduos. Para o estudo das variáveis diâmetro, altura do peito, altura total e área basal foi utilizado um modelo linear generalizado com distribuição de probabilidade gama e função de ligação logarítmica, considerando como fatores os manejos com adubação e sem adubação e com desbrota e sem desbrota. A qualidade do ajuste dos modelos lineares generalizados (Nelder & Wedderburn, 1972; Diggle et al., 2002) foi realizada por meio da análise de desvios. Quando apresentada diferença entre as médias testaram-se as comparações entre tratamentos, onde utilizou o teste Tukey do procedimento Genmod do programa estatístico SAS – Statistical Analysis System, versão 9.3, licenciado para a Universidade Estadual Paulista, UNESP.

A massa seca e o potencial energético foram avaliados por árvore e por hectare, considerando cada fração da biomassa (fuste, galhos e folhas) ou a sua quantidade total (somatório das três frações).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Inventário florestal e área basal

Ao aplicar à fórmula de Sturges nos dados coletados têm-se um total de 8 classes de diâmetro para os tratamentos C1, C2, 9 classes para o tratamento S2 e 10 classes de diâmetro para o tratamento S1. Assim, foram utilizadas 8 classes para todos os tratamentos.

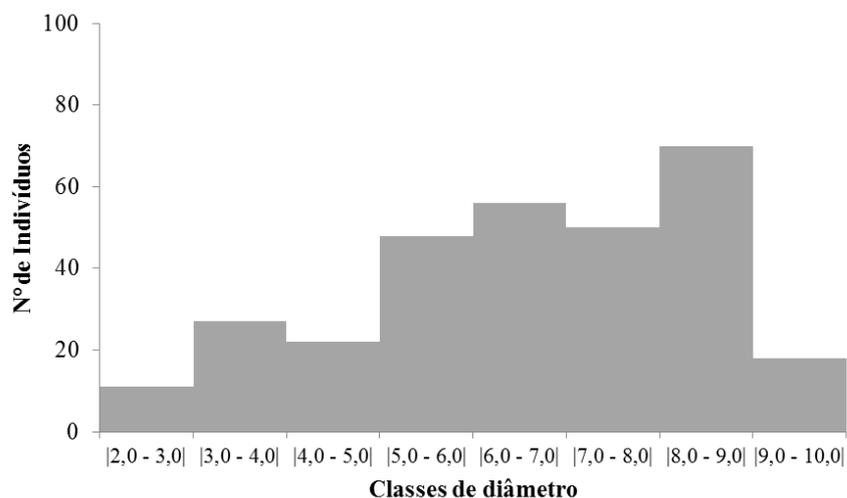


Figura 7 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento C1, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

As frequências relativas dos dados nos tratamentos com desbrota C1 e C2 são apresentadas nas Figuras 7 e 8 e os tratamentos sem desbrota S1 e S2 são apresentados nas Figuras 6 e 10.

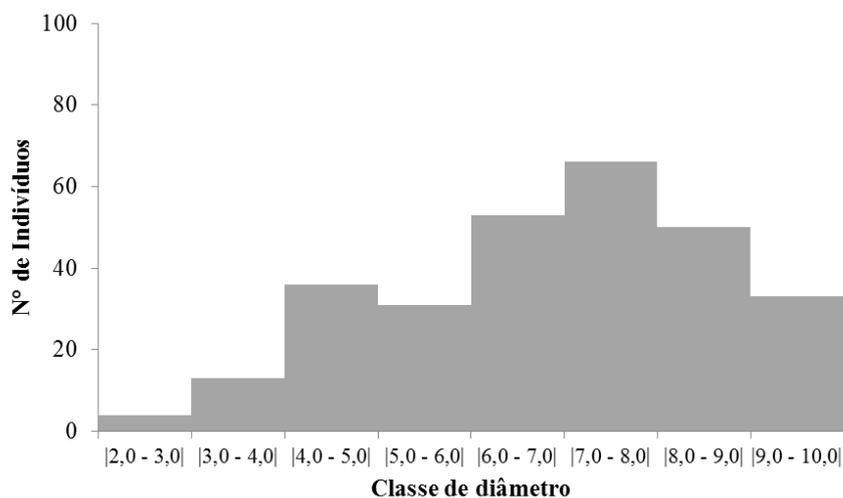


Figura 8 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento C2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21).

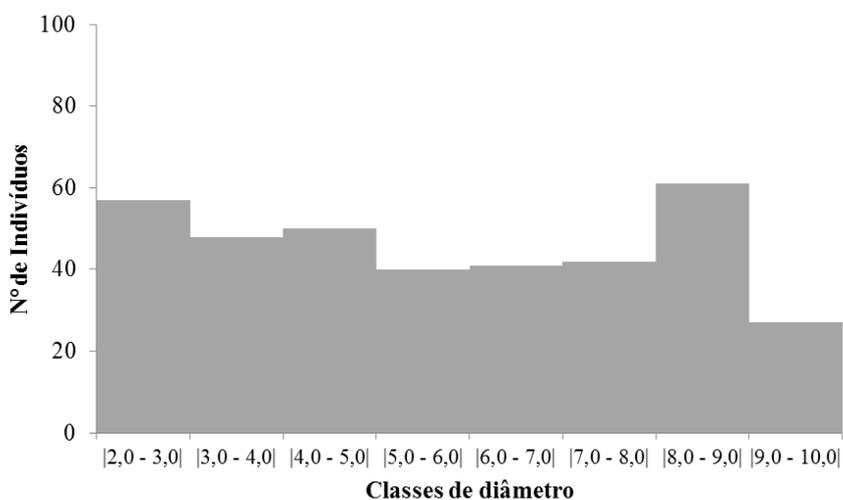


Figura 9 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento S1, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21).

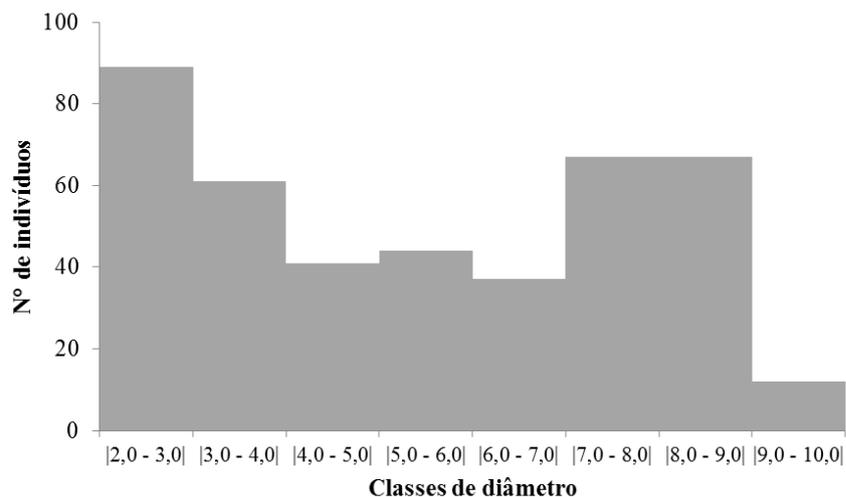


Figura 10 – Frequência dos indivíduos na distribuição em classes de diâmetro (cm) do tratamento S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21).

Existe uma grande variação entre as distribuições das classes de diâmetros no tratamento S2, tratamento onde não foi realizada a operação desbrota. O tratamento S1, sem desbrota e com adubação apresentou certa homogeneidade referente a distribuição dos indivíduos perante as classes de diâmetro, o que pode ter ocorrido pela aplicação da adubação, fazendo com que todos os fustes crescessem com o mesmo diâmetro.

Por não haver a desbrota nestes tratamentos, as cepas apresentam mais fustes quando comparados aos tratamentos os quais sofreram a desbrota, desse modo a competição de luz e nutrientes nestes fustes são maiores e faz com que os indivíduos tenham menores diâmetros, individualmente.

Os tratamentos C1 e C2 seguiram uma distribuição do número de árvores por classe, seguindo uma tendência normal associada aos povoamentos equiâneos, os quais apresentaram maior quantidade de indivíduos com o diâmetro de 6 a 9 cm. Araújo Júnior et al. (2013), em seu trabalho apresentou a mesma tendência em florestas de regime de alto fuste aos 27 meses após o plantio.

Essa distribuição que tende a normalidade deve-se a quantidade de fustes por cepa, visto que nestes tratamentos houve a desbrota e deixaram-se intactos um ou dois brotos por cepa, simulando um plantio de alto fuste.

As médias da variável Diâmetro a Altura do Peito (DAP) são apresentadas na Tabela 2. Foi verificada diferença significativa entre os fatores, e os tratamentos com desbrota apresentaram maiores valores de DAP. Quando fixado o fator desbrota não houve diferença significativa com 5 % de probabilidade entre os tratamentos.

Entre os tratamentos que não tiveram adubação, o C2 foi o que obteve um maior DAP quando comparado com o S2. A média do tratamento C1 diferiu-se significativamente com 5 % de probabilidade do tratamento S1.

A desbrota influenciou positivamente na variável DAP em ambos fatores de adubação. Em geral, os tratamentos que receberam a adubação obtiveram maiores valores médios de DAP.

Tabela 2 – Comparação das médias de DAP em metros entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		Metros	Metros
C		0,068 ^{aA}	0,071 ^{aA}
		σ 0,03	σ 0,03
S		0,060 ^{bA}	0,056 ^{bB}
		σ 0,02	σ 0,04

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 0,04.

Nos tratamentos onde ocorreram a desbrota foi reduzido a quantidade de fuste, o que diminuiu a competição entre plantas e aumentou a média do DAP. O mesmo foi encontrado por Paiva et al. (1983) e Simões & Coto (1985), em clones de *Eucalyptus* spp na região de Itapetininga e na região de Lençóis Paulista, respectivamente. De acordo com Klein et al, (1997) a desbrota não aumenta os ganhos de produção de madeira, especialmente quando se admite o uso de madeira de pequenos diâmetros.

O aumento do DAP em plantas mais amplamente espaçadas tem sido comprovado em diversos estudos em diversas espécies e em diversos locais, entre eles os realizados por Campos et al. (1990), Bernardo et al. (1998), Leles et al. (2001), Berger et al. (2002), Pinkard; Neilsen (2003); Magalhães et al. (2006); Li et al. (2007).

As médias de DAP são compatíveis ao experimento realizado por Henriquez (1988), onde no segundo ano da talhadia de um experimento com *Eucalyptus saligna* as médias variaram entre 0,0627 m a 0,0697 m e não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos propostos, dentre os quais, foram comparados os fatores adubação e desbrota.

Para as médias de altura totais apresentadas na Tabela 3, houve diferença significativa entre os fatores, visto que quando realizado a desbrota as médias apresentaram valores mais elevados quando comparado com os tratamentos sem desbrota. Ao fixar o fator desbrota, não houve diferença significativa nos tratamentos onde foi realizada a adubação. Quando não foi adubado e houve a desbrota, tratamento C2 obteve-se maior altura. Em geral, a média das alturas foram condizentes com o trabalho de Henriquez (1988), onde a altura de seus tratamentos variou entre 8,87 a 10,13 metros.

A competição entre as plantas onde não houve a desbrota pode ter ocasionado uma perda no crescimento tanto em DAP como em altura total.

Tabela 3 – Comparação das médias da altura em metros entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		Metros	Metros
C		9,48 ^{aA}	9,50 ^{aA}
		σ 0,41	σ 0,40
S		8,89 ^{bA}	8,33 ^{bB}
		σ 0,66	σ 0,23

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 0,54.

As variáveis DAP e altura total foram proporcionais em todos os tratamentos, visto que os tratamentos com as maiores médias de altura também obtiveram as maiores médias de DAP.

Após encontrar os valores de DAP foi realizado o cálculo para área basal por hectare em cada tratamento. As médias das áreas basais dos tratamentos apresentaram diferença estatística apenas quando fixado o fator sem adubação, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação das médias da área basal em metros quadrados entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		m ² ha ⁻¹	m ² ha ⁻¹
C		319,41 ^{aA}	321,58 ^{bA}
		σ 0,4	σ 0,55
S		353,82 ^{aA}	369,24 ^{aA}
		σ 0,25	σ 0,32

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 44,18.

O tratamento C2 apresentou a menor média de área basal por hectare quando fixado o fator sem adubação. Isto se deve a quantidade de fustes por cepa do tratamento com desbrota em relação ao tratamento sem desbrota. Ao realizar a desbrota o número de fustes foi reduzido para 1 ou no máximo dois, os quais individualmente possuíam maior diâmetro. Entretanto, o tratamento S2 apresentava fustes com diâmetro individual menor, mas em maior quantidade do que o tratamento C2.

O volume de madeira, em metros cúbicos, obtido por hectare no fim do ciclo de dois anos da talhadia não apresentou diferença significativa com propabilidade de 5 %, como pode ser observado na Figura 11.

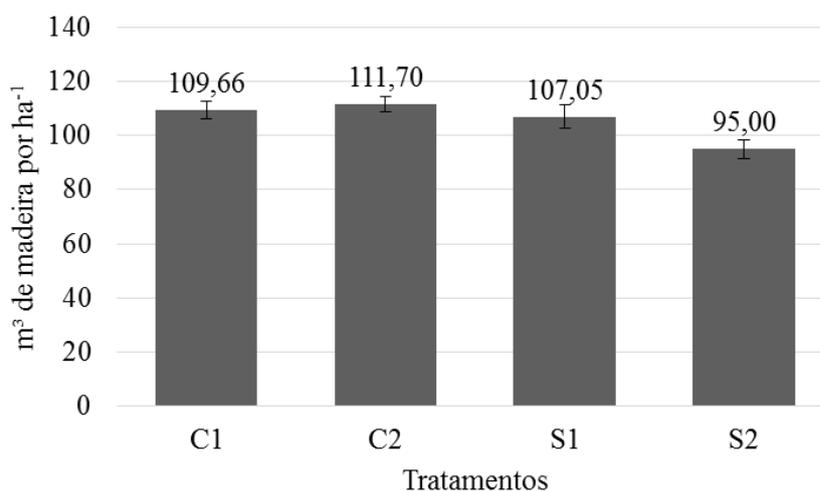


Figura 11 – Comparação entre as médias em volume de madeira produzida por hectare no segundo ano da talhadia. Letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$)

A produção de madeira em metros cúbicos é próxima aos encontrados por Machado (2014), o qual em regime de alto fuste encontrou valores médios de 108 m³ por hectare no segundo ano do plantio. Esses valores devem-se ao estabelecimento das raízes na segunda rotação bem como a quantidade de fustes por cepas nos tratamentos, os quais eram com uma quantidade igual ou superior de fustes por cepa.

As operações de adubação e de desbrota não influenciaram a produção de madeira em metros cúbicos no experimento, provavelmente estes resultados devem-se a quantidade de adubo aplicado ainda no primeiro ciclo da floresta e que ainda está disponível no solo para a absorção dos nutrientes. No regime de alto fuste todos os tratamentos tiveram a inserção da mesma quantidade de nutrientes e provavelmente a adubação realizada está atuando no segundo ciclo.

Simões e Coto (1985), trabalhando com a condução da rebrota de *Eucalyptus saligna* aos sete anos de plantio, encontraram que a adubação influenciou positivamente na produção em volume por hectare. Ainda no mesmo trabalho, foi evidenciado que o maior número de fustes por cepa, aumenta a produção em metros cúbicos por hectare. Este aumento de produção provavelmente sofreu a influência da adubação devido a curta idade de corte quando comparada ao fim do ciclo de uma floresta convencional de sete anos. Desse modo, os nutrientes da primeira rotação estão influenciando a produção de madeira da segunda rotação, visto que até nos tratamentos onde não ocorreu a adubação a produção de madeira em metros cúbicos não apresentou diferença estatística.

4.2 Cálculo de biomassa

A Figura 12 apresenta os valores de biomassa fresca de cada componente das árvores nos quatro tratamentos. Não houve diferença estatística com 5 % de probabilidade. É possível visualizar que em todos os tratamentos as folhas e os galhos representam cerca de 4% do total de biomassa produzida, sendo o fuste o componente determinante para a produção de biomassa na área representando 91,4% de toda a biomassa aérea produzida.

A biomassa fresca total por hectare também não apresentou diferenças significativa estatisticamente com 5 % de probabilidade entre os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação das médias da biomassa fresca total em toneladas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
C		42,8 ^{aA}	44,7 ^{aA}
		σ 4,2	σ 3,0
S		44,1 ^{aA}	39,1 ^{aA}
		σ 7,3	σ 4,9

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 6,17.

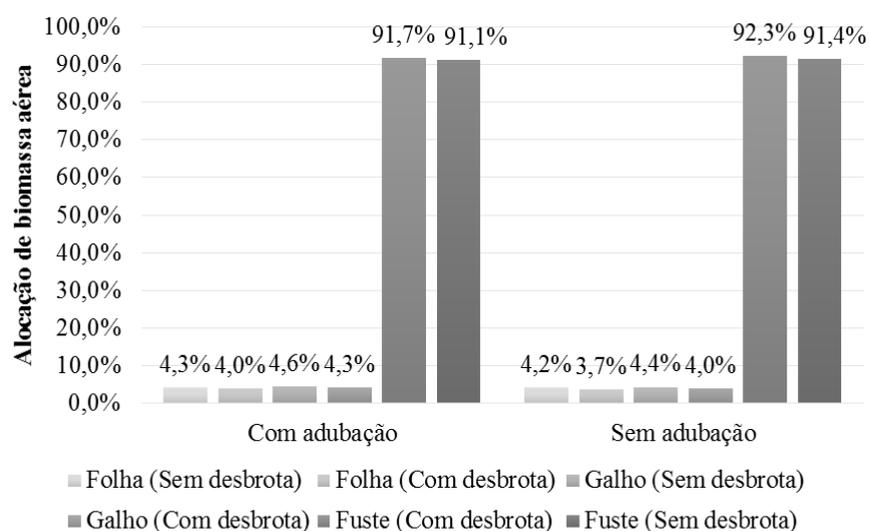


Figura 12 – Alocação de biomassa aérea fresca por componente arbóreo em cada tratamento

A biomassa seca total por hectare não apresentou diferença estatística devido ao fuste não apresentar diferença, visto que 91 % da biomassa total é representada pelo fuste e evidenciando que a adubação e a desbrota não influenciaram significativamente com 5% de probabilidade nos componentes arbóreos.

A biomassa seca dos componentes folhas e galhos apresentou diferença significativa. A Tabela 6 apresenta os resultados para biomassa seca do componente folha, com interações entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2. Ao se comparar os tratamentos em que foi aplicada a adubação, é possível visualizar que o tratamento C1, o qual foi realizado a desbrota, apresenta uma menor média de massa seca por hectare do que o tratamento S1, onde não foi realizado a desbrota. Ao se fixar os fatores com e sem desbrota, os tratamentos onde foi aplicada a adubação apresentaram médias superiores e

diferentes significativamente com 5 % de probabilidade dos tratamentos que não foram adubados.

Pode-se considerar que a adubação influenciou positivamente na produção de massa seca de folhas, visto que em ambos os tratamentos, com e sem a utilização da desbrota, os resultados de massa seca foram maiores onde se realizou a adubação. Eufrede Junior (2016) encontrou que ao se aplicar uma maior quantidade de fertilizantes existe um acréscimo na produção da biomassa arbórea em seus componentes, folhas, galhos e fuste.

Tabela 5 – Comparação das médias da biomassa seca do componente folha em quilogramas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		t ha ⁻¹	T ha ⁻¹
C		0,74 ^{bA}	0,63 ^{aB}
		σ 0,08	σ 0,04
S		0,87 ^{aA}	0,74 ^{aB}
		σ 0,17	σ 0,10

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a Diferença Mínima Significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 0,12.

A biomassa seca de galhos mostrou diferença significativa com a probabilidade 5 % quando fixado os tratamentos com desbrota, o tratamento em que se aplicou a fertilização apresentou valores superiores de massa seca de galho quando comparado ao tratamento onde não foi aplicada a fertilização. Ao fixar os tratamentos onde não ocorreu a adubação pode-se verificar uma diferença entre realizar ou não a desbrota, visto que, quando não foi realizado a desbrota a quantidade de galhos é cerca de 26% maior (Tabela 7).

Tabela 6 – Comparação das médias da biomassa seca do componente galho em toneladas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
C		0,90 ^{aA}	0,74 ^{bB}
		σ 0,08	σ 0,04
S		1,03 ^{aA}	0,94 ^{aA}
		σ 0,17	σ 0,10

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de, 0,13.

Assim como os resultados encontrados para a biomassa fresca do fuste, não houve diferença estatística com 5% de probabilidade. Para a biomassa total seca também não apresentou diferença significativa a nível de 5 % (Tabela 8).

Tabela 7 – Comparação das médias da biomassa seca total em toneladas por hectare entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
C		S	16,25 ^{aA}
		σ 1,78	σ 1,10
S		18,69 ^{aA}	16,44 ^{aA}
		σ 3,12	σ 2,03

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de 2,57.

Para a produção de massa seca por hectare, Simões e Coto (1985), encontraram no sétimo ano da condução da rebrota um valor médio total de 105 t ha⁻¹. Ainda segundo Simões e Coto (1985), quando não houve a adubação e foi aplicado a desbrota das cepas para apenas um fuste o valor encontrado de massa seca foi de 85 t ha⁻¹.

Lemos et al. (2015), em plantios de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em regime de alto fuste, no sistema florestal de curta rotação, e com espaçamento de 3 X 0,5 m e 3 X 1,5 m encontrou valores de massa seca de 33,36 t ha⁻¹ a 38,66 t ha⁻¹. Garcia (2013), ao avaliar a floresta implantada em sistema de alto fuste e em

variados espaçamentos, também encontrou valores superiores do que neste trabalho, os quais variaram de 21 a 100 t ha⁻¹.

4.3 Densidade básica da madeira

Para a densidade básica encontrou-se valores que não obtiveram diferença estatística significativa com probabilidade de 5 % quando comparados em sua interação dos tratamentos (Tabela 9).

Tabela 8 – Comparação das médias da densidade básica da madeira entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota	Adubação	1	2
		kg m ⁻³	kg m ⁻³
C		358,20 ^{aA}	369,10 ^{aA}
		σ 8,70	σ 8,68
S		375,30 ^{aA}	375,90 ^{aA}
		σ 12,67	σ 9,81

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e colunas foi de 19,1.

A densidade básica encontrada é equivalente a encontrada por Eufrade Junior (2015), o qual obteve no segundo ano de plantio uma densidade média de 368,9 kg m⁻³. A densidade variou de acordo com o fator espaçamento para os experimentos de Garcia (2013) e de Sereghetti et al. (2015), que encontraram uma densidade média de 447 kg m⁻³ e de 338 a 413 kg m⁻³, respectivamente.

Na condução da rebrota estudada por Simões e Coto (1985), a densidade média apresentada ao sétimo ano variou entre 510 a 520 kg m⁻³. Em um outro plantio do mesmo clone a densidade básica variou de acordo com o espaçamento, onde Machado (2014), encontrou valores de 320 a 390 kg m⁻³ que corroboram com os dados obtidos.

4.4 Análises físico-químicas

A composição física imediata média dos componentes cinzas, voláteis e carbono fixo estão separados por tratamentos e são apresentados na e

comparados estatisticamente entre as composições químicas com a probabilidade de 5 % de significância (Figura 14).

Ao comparar o carbono fixo pode-se observar que os componentes folha e galho, não se diferenciariam a 5% de significância no teste de Tukey, já o componente fuste apresentou uma menor média com cerca de 16%. O mesmo ocorreu ao compararmos os materiais voláteis, onde não apresentou diferença entre as folhas e galhos, mas apresentou uma diferença estatística a nível de 5% de probabilidade para o fuste o qual, apresentou uma maior média. Já as cinzas não apresentaram diferenças dentre os componentes. Os dados encontrados não diferiram da literatura como encontrada em Eufrade Junior (2015) e por Barcellos et al. (2005).

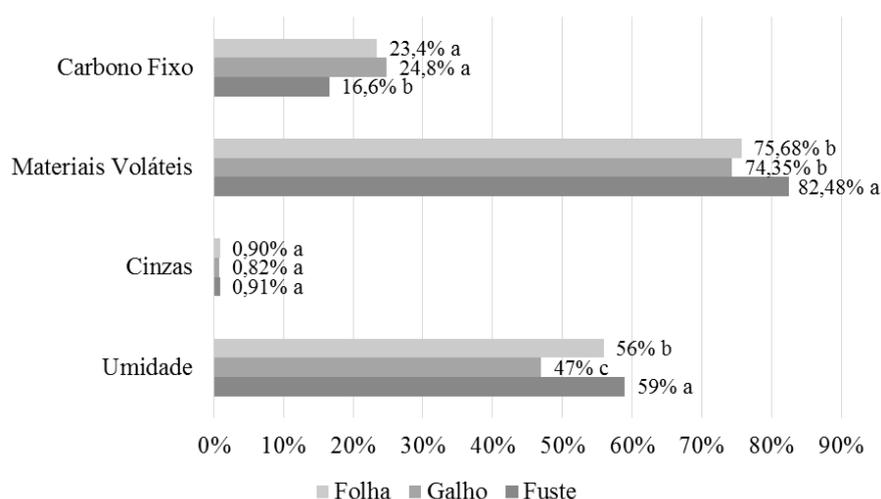


Figura 13 – Composição química imediata nas frações da biomassa. Letras minúsculas iguais, na mesma propriedade, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$)

A casca pode ter influenciado no teor de cinzas do fuste visto que, as análises foram realizadas considerando o fuste com a casca. E a casca apresenta maior teor de cinzas quando comparado ao fuste, porque neste componente há presença de impurezas como poeiras, que trazem silicatos do solo (GARCIA et al. 2016).

A umidade apresentou diferença significativa a 5 % de probabilidade para todos os componentes, com maior valor no componente fuste e menor valor no componente galho. O mesmo foi encontrado por Eufrade Junior et al. (2016), o qual obteve umidade de 64 % para a madeira com casca, seguida das folhas com 58 % e então dos galhos com 49,2 %. Os valores encontrados são considerados inadequados para a queima de madeira direta (GARSTANG et al, 2002), sendo necessário realizar a secagem do material até obtenção da umidade adequada (BRAND e MUÑIZ, 2010).

4.5 Poder calorífico superior

O poder calorífico é uma das principais variáveis usadas para seleção dos melhores clones e espécies com as características para fins energéticos, pois é fundamental conhecer a quantidade de calor desprendida da madeira no momento da queima para se conhecer a capacidade energética de determinada espécie (SANTOS 2010).

De modo geral, as folhas apresentaram o maior poder calorífico dentre os componentes em todos os tratamentos. Apenas o tratamento S2 apresentou uma diferença significativa tanto quando fixado o fator adubação e fixado o fator desbrota. Os componentes fuste e galho não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 10).

Quando desconsiderado os componentes da árvore, pode-se dizer que tanto a adubação como a desbrota não interferem no poder calorífico no sistema de alto fuste e com 2 anos de idade, como já constatado por Guerra et al. (2014) e Eufrade Junior et al. (2016). Ao se comparar os dados obtidos por Eufrade Junior et al. (2016), de um clone de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em sua primeira rotação, pode-se dizer que todos os tratamentos apresentaram cerca de 2 mega-joules a menos por quilograma de matéria seca de cada componente.

Carneiro et al. (2014), trabalhando com 3 clones, 2 híbridos de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e um *Eucalyptus urophylla* puro, ainda em sua primeira rotação, demonstrou que os valores do PCS aos 3 anos de idade são inferiores do que aos 5 anos.

Tabela 9 – Comparação das médias do poder calorífico superior, em mega-joule, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2 em relação aos componentes da árvore, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota x Componente	Adubação	
	1	2
	MJ	MJ
Com x Fuste	17,74 bA	17,62 cA
Com x Galho	17,66 bA	17,53 cA
Com x Folha	20,66 aA	19,45 bB
Sem x Fuste	17,75 bA	17,83 cA
Sem x Galho	17,78 bA	17,93 cA
Sem x Folha	20,86 aA	20,90 aA

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas foi de 0,29 e para colunas foi de 0,43

4.6 Potencial energético

O potencial energético demonstrou interação significativa entre os fatores e os componentes, onde apresentou uma diferença entre os fatores desbrota e adubação (Tabela 11). O componente fuste apresentou os maiores valores de potencial energético, com diferença significativa com a probabilidade de 5 % entre os tratamentos que receberam adubação dos que não foram adubados. As folhas e galhos em ambos os fatores não diferiram entre si e demonstraram valores até 20 vezes menores quando comparados ao fuste.

A adubação influenciou positivamente na produção de energia, principalmente no componente fuste, visto que os tratamentos com e sem adubação se diferenciaram ao se comparar apenas o componente fuste.

Tabela 10 – Comparação das médias do potencial energético, em giga-joules por hectare, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2 em relação aos componentes da árvore, aos 24 meses após a talhadia no sistema florestal de curta rotação de *Eucalyptus grandis* (Clone G21)

Desbrota x Componente	Adubação	
	1	2
	GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹
Com x Fuste	290,38 aA	262,38 aB
Com x Galho	15,93 bA	13,01 bA
Com x Folha	15,39 bA	12,17 bA
Sem x Fuste	299,32 aA	262,20 aB
Sem x Galho	18,56 bA	16,64 bA
Sem x Folha	18,16 bA	15,47 bA

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas foi de 23,03 e para colunas foi de 33,86.

Quanto a produção de energia por área em plantios de *Eucalyptus* spp., Eufrade Junior et al. (2016), trabalhando com clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em regime de alto fuste aos dois anos após o plantio, mostrou que essa espécie responde positivamente a adubação, visto que seus tratamentos com maior potencial energético são os que possuem maior adubação e menor espaçamento útil entre plantas.

O potencial energético total produzido em um hectare não mostrou diferença significativa na interação dos tratamentos (Tabela 12). Isso se deve a produção

em metros cúbicos de madeira que representa cerca de 91% do total da biomassa e nesse componente também não demonstrou diferença significativa dentre os tratamentos.

Tabela 11 – Comparação das médias do potencial energético, em giga-joules por hectare, entre os tratamentos C1, C2, S1 e S2

Desbrota	Adubação	1	2
		GJ ha ⁻¹	GJ ha ⁻¹
C		321,71 aA	287,57 aA
		σ 31,82	σ 19,54
S		336,06 aA	294,32 aA
		σ 56,15	σ 36,43

Na mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula igual, e na mesma coluna médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula igual, não diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), a diferença mínima significativa (dms) para linhas e para colunas foi de 46,15.

A produção energética reflete a produção de biomassa, visto que, quanto mais biomassa por área produzida maior é a capacidade energética da área. Desse modo, pode-se perceber que os fatores silviculturais implantados, desbrota e a adubação, não interferiram na produção energética da área. Para a adubação o que pode ter ocorrido é que a quantidade de nutrientes necessários para o crescimento da floresta havia sido introduzida ainda no primeiro ciclo (18 meses) e influenciou no crescimento do segundo ciclo de modo que, os tratamentos onde não foi realizada a adubação (C2 e S2), apresentaram uma produção que não diferenciou estatisticamente dos demais.

5 CONCLUSÕES

As operações de adubação e desbrota não influenciaram na produtividade volumétrica e de produção de biomassa florestal. Entretanto, devem-se atentar às boas práticas silviculturais no primeiro ciclo, principalmente em relação a adubação. Considera-se ainda, que estas operações são consideradas onerosas, tanto economicamente como no dispêndio energético.

A densidade da madeira e o poder calorífico superior dos componentes, foi observado que as duas propriedades não sofreram influência dos manejos silviculturais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE H. B, BENEDETTI V; MADASCHI J. C; BERNARDO V; Aumento da produtividade da segunda rotação de eucalipto em função do método de desbrota. **Série Técnica – IPEF**. v.11, n. 30, p. 105-116,1997.

ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M. D.; & BINOTI, M. L. M. D. S..Modelling the diameter distribution of *eucalyptus* stands using the Gamma function. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 307-314, 2013.

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.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MÜLLER, M.; & COUTO, L. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BARREIROS, R. M. et al. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa. MG, Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

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

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 75- 87, 2002.

BERNARDO, A. L.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BERTI, C. L. **Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma, em teste de progênes de polinização aberta de *Eucalyptus cloeziana*, aos 24 anos de idade em Luiz Antônio - SP.** 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n.16, p.63-70, 1978.

BROOKER, M. I. H.; KLEINIG, D. A., 2006. **Field Guide to *Eucalyptus***. South-eastern Australia, 3 ed. vol. 1. Melbourne: Bloomings, 2006, 356 p.

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.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; SOUZA, R. N. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 14, n. 2, p. 119-33, 1990.

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

CHRISTOPHERSON, N. S.; MATTSON, J. A. Mechanization of the operational aspects of short- rotation forestry. **Biomass**. England: Barking, v. 22, n. 1 – 4, p. 123-133, 1990.

COUTO H. T. Z.; MELLO H. A.; SIMÕES J. W.; VENCOVSKY R. Condução da brotação de *Eucalyptus saligna* Smith. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 7, p. 115-123, 1973.

COSCARELLI, E. G. V. Pequena história de uma grande floresta. In: MELLO, M.G. (Ed). **Biomassa: Energia dos trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2001, p.103-114.

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, v. 29, n. 3, p. 353 - 363, 2005.

DIGGLE, P. J.; HEAGERTY, P. J.; LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. **Analysis of Longitudinal Data**. 2ed. Oxford: Oxford University Press. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412p.

EUFRATE JUNIOR H. **Caracterização físico-química da biomassa produzida em sistemas florestais de curta rotação para geração de energia**. 2015. 119 f. Dissertação (mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

EUFRATE JUNIOR H.; MELO, R. X.; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, S. P. S.; & BALLARIN, A. W. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, v. 90, p. 15-21, 2016.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, R. C.; & TAVARES, J. A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n 35(83), p. 263-270, 2015.

GARCIA, E. A. **Qualidade energética da madeira de eucalipto em função do espaçamento, da adubação e da idade conduzida no sistema florestal de curta rotação**. 2013. 71 f. Tese (doutor em Ciência Florestal). Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

GARCIA, E. A.; GUERRA, S. P. S.; EUFRATE JUNIOR H.; SANSÍGOLO, C. A.; LANÇAS, K. P.; & YAMAJI, F. M. Análise química da madeira com casca em sistemas florestais de curta rotação. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 163-171, 2016.

GARSTANG, J.; WEEKES, A.; POULTER, R.; BARTLETT, D. **Identification and characterization of factors affecting losses in the large-scale, non-ventilated bulkstorage of wood chips and development of best storage practices**. FES B/W2/00716/RESP.DTI/Pub urn 02/1535. Prepared by First Renewables Ltd, for DTI, London. 116p. 2002.

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. et al. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

GUERRA, S. P. S.; et al. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. (org.) **Bioenergia**: desenvolvimento, pesquisa e inovação. São Paulo, Editora Unesp, 2012. p. 125 - 161.

GUERRA, S. P.; GARCIA, E. A.; LANÇAS, K. P.; REZENDE, M. A.; & SPINELLI, R. Heating value of eucalypt wood grown on SRC for energy production. **Fuel**,v. 137, p. 360-363, 2014.

HENRIQUEZ, H. P. PROJETOS NA ACESITA ENERGÉTICA S/A. **Série Técnica IPEF**, v. 5, n. 17, p. 14-20, 1988.

HIGA, R. C. V.; STURION, J. A. Efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p.77 - 83, 2000.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014. Brasília, 2015.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 24, p. 26, 1983.

KLEIN, J. E. M.; BORTOLAS E. P.; ASSIS T. F.; PERRANDO E. R. Fatores operacionais que afetam a regeneração do *Eucalyptus* manejado por talhadia. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n 30, p. 95-104, 1997.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid. **Journal of Forestry Research**, v. 21, n. 4, p. 514 - 516, 2010.

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

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three *Eucalyptus* species grown in Ethiopia. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, p. 223 - 232, 2004.

LEMO, S. V.; SARTORI, M. M. P.; EUFRATE JUNIOR, H. D. J.; RIBAS, L. C.; & GUERRA, S. P. S. Geração energética de eucalipto de curta rotação. **Energia na agricultura**, v. 30, n. 3, p. 263-268, 2015.

LI, Y.; TURNBLOM, E. C.; BRIGGS, D. G. Effects of density control and fertilization on growth and yield of young douglas-fir plantations in the Pacific Northwest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 2, p. 449-461, 2007.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: Cati, 1994.

MACHADO, F. C. **Crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* em diferentes arranjos de plantio no sistema de curta rotação**. 2014. 45 f. Dissertação (mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

MAGALHÃES, J. G. R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: USO DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS, 1982, Belo Horizonte – MG, **Anais...** Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982, p. 56-66.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; YOSHITANI JÚNIOR, M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989, 201p.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. 2004. 332f. Dissertação (Mestrado em História Social) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARTINS, F. B. **Desenvolvimento e estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith)**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MORAES, C. B. **Variabilidade genética em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* para tolerância ao frio**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba**. 2005, 108 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R.W. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**. n. 135 v. 3, p. 370 - 384, 1972.

OGURI, G. **Correlação entre biomassa e nutrientes de galhos e folhas em um plantio adensado de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2012. 35f. Dissertação (Mestre em Agronomia -Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

PAIVA, H. N.; NETO P. F.; BRANDI, R. M.; VALE, A. B. Influência das idades de corte e de desbrota e do número de brotos sobre o desenvolvimento da brotação de cepas de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, p. 1-10, 1983.

PEDROSA, T. D.; et al. **Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na região CentroOeste**. Scientia Plena, Aracaju, v. 9, p. 1 - 7. 2013. Disponível em: <<http://www.scientiaplena.org.br/ojs/index.php/sp/article/viewFile/1248/786>>. Acesso em: 15 set. 2015.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, n. 172, p. 215-227, 2003.

SANTOS, R. C. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. 2010. 173f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002, p. 119 - 140.

SARTÓRIO, I. P. **Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades**. 2014. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SEREGHETTI, G. C.; LANÇAS, K. P.; SARTORI, M. S.; REZENDE, M. A.; & SOLER, R. R. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Energia na agricultura**, v. 30, n. 3, p. 257-262, 2015.

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, 2009.

SIMÕES, J. W.; COTO, N. A. S. Efeito do número de brotos e da fertilização mineral sobre o crescimento da brotação de *Eucalyptus saligna* Smith, em segunda rotação. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 31, p. 23-32, 1985.

SOUCH, C.A.; MARTIN, P.J.; STEPHENS, W.; SPOOR, G. Effects of soil compaction and mechanical damage at harvest on growth and biomass production of short rotation coppice willow, **Plant and Soil**, v. 263, n. 1, p. 173 - 182, 2004.

SOUZA, F. C. et al. Sobrevivência e Diâmetro de Plantas Intactas e Brotações de Clones de Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n.1, p. 44 - 54, 2012.

STAPE, J. L. Fatores influentes sobre a emissão e desenvolvimento inicial de brotações de *Eucalyptus grandis* numa areia quartzosa e num latossolo vermelho escuro do Estado de São Paulo. In: **Congresso Florestal Brasileiro**, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba, SBS, 1993. p. 252-54.

STAPE, J. L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série Técnica IPEF**. Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 51 - 62, 1997.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI test methods. Atlanta: 1998. 46 p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83 - 88, 2000.

VITAL, B. R. Método de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico, SIF**, Viçosa, n. 1, p. 1 - 21, 1984.

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, n. 28, p. 843 - 852, 2004.