



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

EDUARDO HENRIQUE DE FREITAS VIEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE *Eucalyptus* spp. SOB DIFERENTES
MANEJOS E ESPAÇAMENTOS**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

JUNHO - 2011

EDUARDO HENRIQUE DE FREITAS VIEIRA

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE *Eucalyptus* spp. SOB DIFERENTES
MANEJOS E ESPAÇAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Franklim Chichorro
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Maristela de Oliveira Bauer

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

JUNHO - 2011

Dissertação nº 00026

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

V658p Vieira, Eduardo Henrique de Freitas, 1971-
Produção de biomassa de *Eucalyptus* spp. sob diferentes manejos e espaçamentos / Eduardo Henrique de Freitas Vieira. – 2011.
54 f. : il.

Orientador: José Franklim Chichorro.
Coorientadora: Maristela de Oliveira Bauer.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto – Espaçamento. 2. Biomassa. 3. Biocombustíveis. I. Chichorro, José Franklim. II. Bauer, Maristela de Oliveira. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

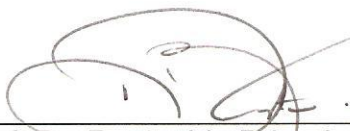
CDU: 630

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE *Eucalyptus spp.* SOB DIFERENTES
MANEJOS E ESPAÇAMENTOS**

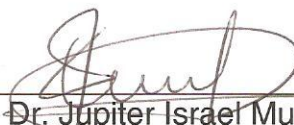
Eduardo Henrique de Freitas Vieira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 29 de Junho de 2011.



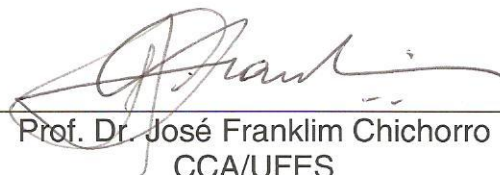
Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa
FENF/UFMT
Membro Externo



Dr. Jupiter Israel Muro Abad
Fibria Celulose S.A.
Membro Externo



Profª. Drª. Maristela de Oliveira Bauer
CCA/UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Franklim Chichorro
CCA/UFES
Orientador

A minha família Alessandra, Matheus e Pedro Henrique

Dedico.

À Heloisa Matana (EPAMIG), Luiz Dias (UFV), Pedro Burnier (Novabra) pela troca de experiências.

À professora Maristela de Oliveira Bauer (Co orientadora), Reginaldo Brito da Costa e Jupiter Israel Muro Abad, membros da Banca Examinadora, pelo apoio e orientações recebidas.

Aos amigos Daniel Pena, Hélio, Otávio, Renata, Felipe e Rafael pelos tempos de convivência e trabalhos em conjunto.

A todas essas pessoas, não há realmente como agradecer. Agradecer é muito pouco. Tenho sim, muito a comemorar com o fechamento desse nosso trabalho. Guardando por todos os sentimentos mais nobres que um ser humano pode vir a ter.

Ainda que seja muito pouco, a todos o meu MUITÍSSIMO OBRIGADO.

Obrigado, Deus! Por tudo, um grande sonho se realizou.

BIOGRAFIA

EDUARDO HENRIQUE DE FREITAS VIEIRA, filho de Domingos Vieira da Silva e Maria de Freitas Vieira da Silva, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, no dia 17 de julho de 1971.

Em 1992, ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, graduando-se Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 1996.

Sua trajetória profissional iniciou na EMATER-MG trabalhando no município de Lajinha-MG, onde atuou na extensão rural com forte concentração na cultura do café e assistência técnica aos produtores da região, atendendo a outras demandas, como silvicultura e gado de leite. Em 2000, ingressou na Aracruz Celulose S.A., na região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia, atuando como Engenheiro Agrônomo com o fomento florestal. Em 2004, transferiu-se para Aracruz-ES, na função de coordenador de recursos de campo do Centro de Pesquisa e Tecnologia (CPT), até a presente data, onde faz parte do corpo técnico da Fibria Celulose S.A., desde 2009.

Em agosto de 2008, iniciou o Curso de Mestrado em Ciências Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal do Espírito Santo, submetendo-se à defesa da dissertação em junho de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
OBJETIVO GERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. O EUCALIPTO COMO FONTE DE ENERGIA	4
2.2. MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	5
2.2.1. Etanol	6
2.2.2. Metanol	8
2.2.3. Biorredutores ±Carvão vegetal	9
2.3. TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE EUCALIPTO: ESPAÇAMENTO ..	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.2. IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	13
3.2.1. Sistema de fertirrigação	15
3.2.2. Parâmetros fisiológicos	16
3.2.3. Matéria seca de plantas	16
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E VARIÁVEIS ANALISADAS.	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM PLANTIO ADENSADO E FERTIRRIGADO	18
4.2. PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO SUPER ADENSADO E DOIS REGIMES DE MANEJO	25
4.3. FERTIRRIGAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM PLANTIO ADENSADO	28
5. CONCLUSÃO	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
7. APÊNDICE	36

RESUMO

VIEIRA, Eduardo Henrique de Freitas. **Produção de biomassa de *Eucalyptus* spp. sob diferentes manejos e espaçamentos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. José Franklim Chichorro. Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maristela de Oliveira Bauer.

Esta pesquisa objetivou avaliar a produção de biomassa, a altura e o DAP de eucalipto sobre dois regimes de manejos: fertirrigado e sequeiro, três materiais genéticos e seis espaçamentos diferentes, no estado do Espírito Santo. O delineamento adotado foi em blocos ao acaso, com repetição. Observou-se, em geral, que o maior crescimento e produtividade de biomassa ocorreram no regime fertirrigado. Foi observado, ainda, maiores produtividades nas idades iniciais para os espaçamentos mais adensados, entretanto, com o aumento da idade, os espaçamentos maiores se mantiveram mais uniformes e superaram a produtividade dos espaçamentos menores. A produção de biomassa variou em função do material genético, do espaçamento de plantio e do manejo de irrigação. O tratamento utilizando o material genético AR4 teve produtividade de 60 t/ha/ano aos 12 meses de idade no manejo fertirrigado e espaçamentos 3x1 e 3x2 m. Para os materiais clonais observou-se maior produção de biomassa (55 t/ha/ano) na interação do manejo fertirrigado com espaçamento 3x2 m, aos 12 meses de idade. O material genético 1501 produziu 45 t/ha/ano no espaçamento 3x1 m aos 12 meses de idade. O material genético 3918 na interação manejo fertirrigado e espaçamentos 3x1 e 3x2 m, produziu aos 12 meses de idade, 45 t/ha/ano. Avaliando apenas o espaçamento 1x1m (super adensado) com o material genético seminal, no manejo sequeiro, observou-se a produção de 55 t/ha/ano, aos 12 meses. Considerando um espaçamento de 1x1 e 2x1 m (casos mais extremos), a mortalidade devido à competição entre as plantas é tão alta que, ao final de dois anos, o número de plantas vivas se reduziu para aproximadamente 30%. Se forem considerados os custos adicionais de fertirrigação e de adensamento do plantio, em relação ao manejo tradicional da cultura (espaçamento 3x3 m em sequeiro), é importante avaliar a viabilidade econômica deste tipo de estratégia para fins de produção de biomassa energética.

Palavras-chave: Floresta de eucalipto, biocombustível, espaçamento.

retirada da madeira, mas principalmente de florestas nativas (MME, 2010).

Ainda considerando as ações humanas como a principal causadora do aquecimento global, via queima de combustível fóssil não-renovável, exige-se a substituição desse combustível pela queima de biomassa renovável, a fim de reduzir a quantidade de GEE (gases de efeito estufa) na atmosfera.

Os modelos de tecnologias atuais para gerar energia a partir de fontes renováveis geram apenas um produto principal, como por exemplo, o etanol da cana, biodiesel de óleos vegetais, queima de biomassa em caldeira para geração de vapor e energia elétrica. Diferentemente dessa linha a Refinaria de Biomassa (RB) é um paralelo da Refinaria de Petróleo, constituída de mais de uma tecnologia, gerando muitos produtos básicos. O fracionamento da biomassa permite valorizar as frações nobres, possibilitando que a co geração de energia elétrica seja competitiva com energias fósseis e hidrelétricas (CONTE, 2008).

Com isso, as florestas plantadas com a finalidade de produção de energia, principalmente as de curta rotação (com 2 ou 3 cortes em 7 anos), vem ganhando destaque no setor de florestal com a geração de alguns produtos e crescentes investimentos (CONTE, 2008).

Além disso, comparações recentemente feitas pelo Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo mostraram vantagens no uso da madeira (custo de produção de uma unidade energética (Gcol) da madeira de R\$ 7,05) em relação à cana (custo de produção de uma unidade energética de R\$ 13,33). Isso, considerando produtividades de 80 t/ha/ano de cana e 24 t/ha/ano de eucalipto.

Outra oportunidade de geração de energia é o uso de resíduos das florestas plantadas atuais. O processamento da madeira gera uma grande quantidade de resíduos tanto na indústria, quanto na floresta. Dados estatísticos apontam que cerca de 20% da massa de uma árvore de pinus, fica no campo após o corte. Já, na fase de transformação industrial, apenas 40 a 60% do volume da tora é aproveitado (IPEF, 2010).

Nesse caso, certamente o investimento em tecnologias que aumentem a produtividade, tende reduzir, ainda mais, os custos de produção energética para a madeira. Nesse sentido, foi realizado este estudo com as espécies híbridas de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, com os objetivos:

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O EUCALIPTO COMO FONTE DE ENERGIA

A biomassa florestal, historicamente, é reconhecida como um importante insumo energético para a humanidade, sendo hoje, devido à escassez de outras fontes energéticas, uma importante fonte de energia renovável.

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 1970, com as crises do petróleo (1973 e 1979). Na ocasião, a biomassa passou a ser considerada uma alternativa viável para atendimento às demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte. Entretanto, a partir de 1985, os preços do petróleo voltaram a cair, diminuindo novamente o interesse em energias alternativas. Mais tarde, na década de 1990, a biomassa florestal voltou a ganhar destaque no cenário energético mundial devido ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas de transformação, pela ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e pela incorporação definitiva da temática ambiental nas discussões sobre desenvolvimento sustentável. Outro fator determinante e mais recente foi a assinatura do Protocolo de Quioto em 1997, onde ficou estabelecido que os países em desenvolvimento deveriam promover reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa, indicando que a participação de energias renováveis tenderia a ocupar um lugar de destaque na matriz energética mundial (NOGUEIRA *et al.*, 2000; BARROS e VASCONCELOS, 2001).

No Brasil, as fontes renováveis de energia representam 43,8% da matriz energética, enquanto no mundo essa taxa é de 14% e nos países desenvolvidos é de 6%. Desses 43,8% de energia renovável, 14,6% correspondem à energia hidráulica e 29,2% à energia de biomassa, sendo aproximadamente 12,9% de origem florestal (lenha e carvão vegetal). A biomassa florestal representa, portanto, a terceira fonte de energia da matriz nacional. Mais especificamente, com relação à geração de energia elétrica, a fonte energética mais representativa é a hidráulica, com participação de 74,3%. Comparativamente à estrutura mundial, onde a participação da energia hidráulica é de 16,6%, nota-se que a hidroeletricidade no Brasil tem um peso bastante significativo (BRASIL, 2004).

No processo de biorrefinaria pode-se combinar a polpa para produção de papel com a produção de etanol dentro de fábricas de celulose. Embora o principal componente das árvores seja a celulose, o segundo maior componente é o polissacarídeo xilana, que é o principal componente da hemicelulose. Esse composto pode ser capturado e fermentado para produzir etanol, cujo processo envolve calor e pressão de fluxos de água sobre uma cama de cavacos de madeira para separar a celulose. Em seguida, a água é forçada através de uma membrana, que remove os açúcares e o ácido acético que são então fermentados para produzir etanol.

A tecnologia de produção de biocombustível (etanol) ocorre por meio do pré-tratamento, hidrólise e fermentação da madeira (ou da celulose diretamente). Este é um processo mais complexo se comparado ao etanol de cana-de-açúcar. O rendimento aproximado do processo é de 300l/t de madeira seca (DEMIRBAS, 2003).

Quanto aos custos de produção de etanol da madeira, ainda está em torno de R\$ 0,90 (melhor tecnologia) contra R\$ 0,35 do etanol de cana-de-açúcar.

Resíduos de biomassa disponíveis a partir de processamento de produtos agrícolas e florestais constituem uma fonte potencial para a produção de produtos químicos, como o etanol, açúcares redutores e furfural, utilizando a hidrólise ácida ou enzimática catalisada. O bioetanol pode ser produzido a partir de abundantes recursos de biomassa celulósica como plantas herbáceas, lenhosas, agrícolas e de resíduos florestais e grande parte dos resíduos sólidos urbanos (DEMIRBAS, 2003).

O etanol é o biocombustível mais utilizado e é um álcool fermentado a partir de açúcares, amidos ou de biomassa celulósica. A maioria da produção comercial do etanol é a partir da cana-de-açúcar e, como o amido e biomassa celulósica normalmente requerem caro pré-tratamento. É utilizado como fonte de energia renovável de combustível, bem como para a fabricação de cosméticos, produtos farmacêuticos e também para a produção de bebidas alcoólicas.

A hidrólise da celulose produz açúcares com cinco carbonos na cadeia, tal como a glucose, que podem ser convertidos em etanol por fermentação. Os processos que são comumente usados são o de "Bergius", que utiliza o ácido

2.2.3. Biorredutores ±Carvão vegetal

Existe atualmente uma grande demanda de madeira para produção de carvão vegetal, que pode ser utilizado diretamente na produção de energia ou como biorredutor no setor de siderurgia. A produção de carvão no Brasil representa 30% da produção mundial (COLOMBO *et al.* 2006).

O carvão vegetal é resultado de um processo de degradação parcial da madeira, sob a aplicação de energia na forma controlada. De acordo com BRITO (1990) a origem deste calor pode ser por combustão parcial ou fonte interna de energia, em que há perda de 10% a 20% do peso da carga; uso fonte externa de energia a partir do uso de aquecimento elétrico, ou ainda, da queima de outros combustíveis introduzindo o calor na carga. Em ambos os sistemas a carbonização a madeira é transformada numa fração rica em carbono – o carvão vegetal, e noutra fração composta por vapores e gases como alcatrão, pirolenhosos e gases não condensáveis (SAMPAIO e MELLO 2001) como mostrados por Pimenta (2002) na Tabela 3.

A utilização de espécies de eucalipto para a fabricação de biorredutores teve seu início baseada em espécies de alta densidade, como *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus microcorys*. A alta densidade da madeira dessas espécies (acima de 600 kg/m³), bem como a resistência mecânica e granulometria conferiam qualidade superior ao biorredutor comparado à maioria das espécies disponíveis até aquele momento.

Tabela 3 – Produtos derivados da carbonização de eucalipto

Produtos da Carbonização	% Base Seca
Carvão (80% Carbono Fixo)	33,0
Ácido Pirolenhoso	35,5
(Ácido Acético)	(5,0)
(Metanol)	(2,0)
(Alcatrão Solúvel)	(5,0)
(Água e outros)	(23,5)
Alcatrão Insolúvel	6,5
Gases Não-Condensáveis (GNC)	25,0
Total	100

Fonte: PIMENTA (2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em uma propriedade da Fibria Celulose S.A., no município de Aracruz – ES, com coordenadas geográficas 40° 05' 30" W e 19° 49' 10" S e altitude de 19,5 metros (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo em Aracruz – ES.

Para adubação de arranque foram aplicados 40 g de NPK 06-30-06+ 0,5% B por planta misturada na cova. Foram realizadas 12 adubações de manutenção intercaladas a cada três meses no período de três anos do experimento com aplicação de N, P, K e micronutrientes aplicados na projeção da copa. A dosagem e tipo de produto foram definidos de acordo com análise visual de sintomas de deficiência, análise foliar para elementos totais e avaliações de crescimento e curva de absorção de nutrientes.

O controle de plantas infestantes foi realizado em toda a área do experimento aplicando-se 4,0 litros de pós emergente a base de sal de glifosato na medida do necessário, toda vez que fosse constatada a presença de plantas germinadas em boas condições vegetativas, até o primeiro ano após o plantio.

3.2.1. Sistema de fertirrigação

Foi utilizado o sistema de fertirrigação por gotejamento. A distância dos gotejadores das mangueiras disponíveis foi ajustada de acordo com o tipo de espaçamento, colocando-se um gotejador por planta. O dimensionamento e manejo do sistema levaram em consideração os seguintes parâmetros:

- dias de rega por mês.....	30
- evapotranspiração potencial máxima.....	7,0 mm/dia
- coeficiente cultural (Kc).....	0,85
- coeficiente de sombreamento (Ks).....	1,0
- eficiência do sistema.....	90%
- jornada diária de trabalho.....	4:00h

A fertirrigação foi realizada mediante aplicação nitrato de amônia (NH₄NO₃); nitrato de potássio (KNO₃); MAP (Mono amônio fosfato); Uréia e Micromix (B 4%; Zn 6%; Cu 1%; Fe 1%; Mn 1 %; Mo 0,1%), na dosagem média mensal de 11, 14, 3, 6 e 1,5 kg, respectivamente. O controle de umidade do solo foi feito a partir da instalação de tensiômetros (sonda Diviner 2000) em cada tratamento. Os dados de precipitação, umidade relativa do ar, temperatura, velocidade e direção dos ventos foram obtidos da estação meteorológica mais próxima do local.

μ = média geral;
 W_k = efeito devido ao bloco k;
 α_i = efeito devido ao manejo i;
 β_j = efeito devido ao espaçamento j;
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = efeito devido a interação dos manejo por espaçamento;
 ε_{ijk} = erro aleatório.

As hipóteses foram:

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ vs H_1 : existe diferença entre pelo menos duas médias para efeito principal (α_i = manejo).

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ vs H_1 : existe diferença entre pelo menos duas médias para espaçamento (β_j = espaçamento).

$H_0 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij}$ vs H_1 : existe diferença entre pelo menos duas médias para interação (manejo e espaçamento).

Para a análise de variância, tanto dos efeitos principais como da interação, para cada material genético, foi utilizado o software Statistica for Windows (STATSOFT, 2010), considerando-se a significância de 5% ($P < 0,05$). Da mesma forma, a significância foi de 5% ($P < 0,05$) para a comparação de médias pelo teste de Tukey (STEEL e TORRIE, 1960).

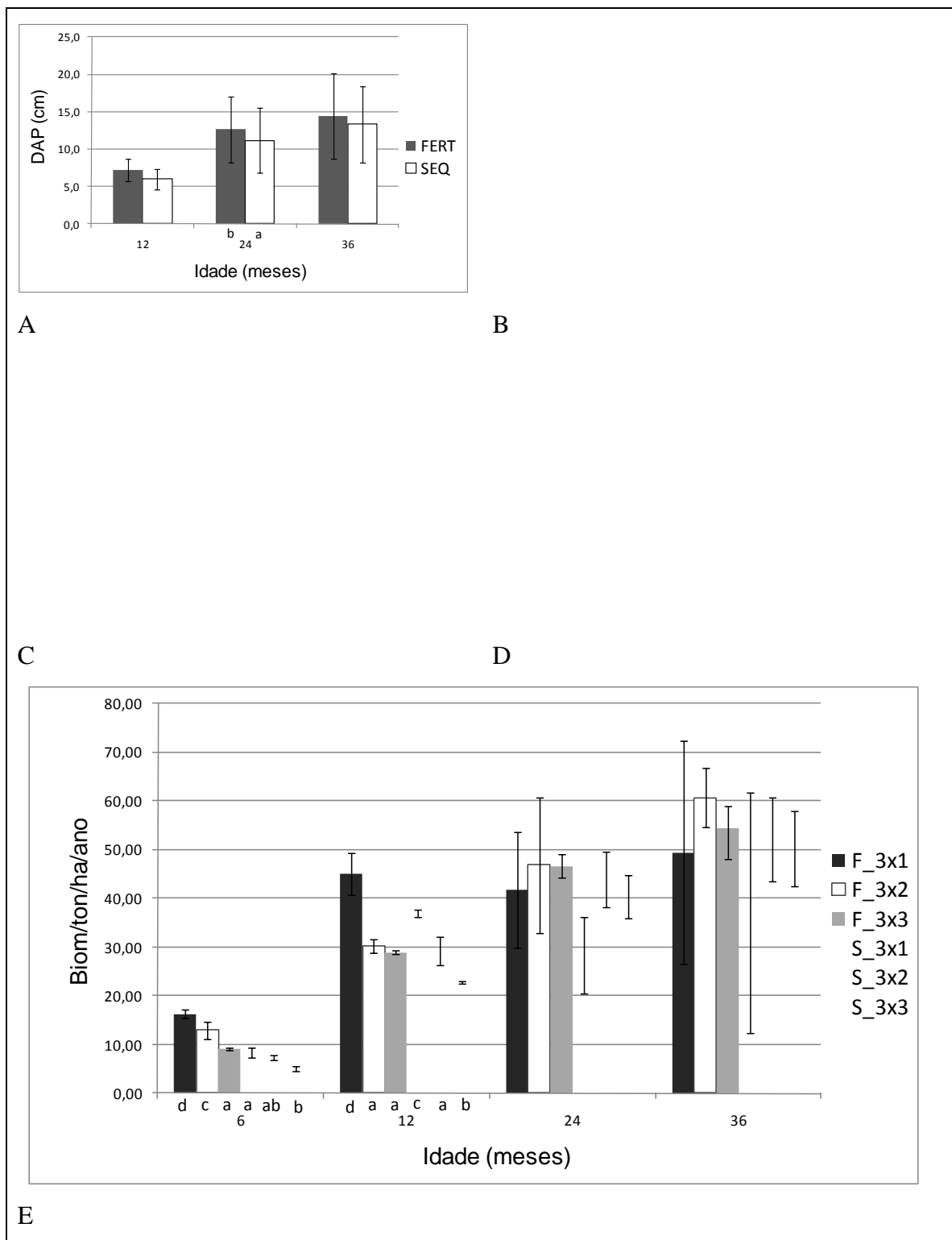


Figura 4 - Crescimento (A e B = DAP; C e D = altura; E = Biomassa) para o material genético 1501 em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

Considerando o objetivo proposto nesse trabalho, observou-se maior produção de biomassa com o material genético AR4 aos 12 meses de idade na interação do manejo fertirrigado com os espaçamentos 3x1 e 3x2 m. Para os clones 1501 e 3918, foram constatadas as maiores produtividades médias aos 36 meses, na interação do manejo fertirrigado e em espaçamento 3x2 m, com valores equivalentes a 60 e 54 t/ha/ano.

Para análise do crescimento em altura e diâmetro, constatou-se a mesma resposta para os três materiais genéticos testados, com maior desenvolvimento no espaçamento 3x3 m e em sistema fertirrigado. Em um estudo sobre efeito de três espaçamentos (3x2; 3x1,5; 3x1 m) verificou-se que o adensamento e a colheita em idades precoces tendem a ser mais econômicos para a produção de biomassa para fins energéticos. Contudo, essa estratégia de adensar os plantios tende a resultar em um balanço desfavorável entre aumento do custo de produção e aumento da produtividade por unidade de área. Os custos de exploração e de condução de brotação crescem com o aumento da densidade de plantas por hectare e o inverso ocorre para os demais grupos de custos (REZENDE, 1983).

Em um estudo realizado por Stape (2010), no qual foram testados quatro níveis de espaçamentos (3x1,5; 3x2; 3x2,5; 3x3 m) para *Eucalyptus dunnii*, observou a mesma resposta em dois formatos de parcelas, sendo obtido mais que o dobro (340 m³/ha) de produção de volume de madeira nos espaçamentos mais adensados quando comparado com espaçamento tradicional (150 m³/ha). BERNARDO *et al.* (1998) observaram que, em espaçamentos mais abertos, houve redução na proporção da biomassa do tronco em relação à biomassa total, em razão do aumento da alocação da biomassa para folhas e raízes laterais em *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, e para as raízes com diâmetro superior a 2 mm em *Eucalyptus camaldulensis*. LELES (1995) também observou que, no espaçamento 9x9 m, *Eucalyptus pellita* aloca grande parte de fotoassimilados para produção de raízes, ou seja, pode ocorrer alocação de biomassa para componentes da árvore que não são explorados comercialmente. Estudo realizado por Fonseca *et al.* (1997) para quatro espaçamentos de plantio (9,12,15 e 17 m²/planta) e quatro idades de corte (6, 7, 8 e 9 anos) mostrou um decréscimo de produtividade e um acréscimo no valor da densidade básica da madeira com o

espaçamento, manejo, material genético e idade, ou seja, de 60 t/ha/ano, pelo processo enzimático e de pré-hidrólise é possível produzir aproximadamente 19.800 L/ha de etanol considerando uma taxa de conversão de 330 L por tonelada de biomassa seca (CONTE, 2008).

Em termos de análise econômica, o uso da biomassa de eucalipto para produção de biocombustível ao custo de R\$ 0,90/litro, é menos atrativo com biomassa de cana-de-açúcar ao custo de R\$ 0,35/litro (DEMIRBAS, 2005). Diante destes resultados, acredita-se que a produção de biomassa energética a partir de plantios de eucalipto depende de melhorias do processo de transformação da matéria prima para viabilização do ponto de vista econômico, frente aos altos valores de produtividade de biomassa por unidade de área e de tempo.

4.2. PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO SUPER ADENSADO E DOIS REGIMES DE MANEJO

Com base nos resultados observou-se que as maiores produtividades de biomassa foram produzidas no sistema de manejo fertirrigado aos seis e nove meses de idade e a produtividade não diferiu nos sistemas de manejo sequeiro e fertirrigado nas idades de 12 e 24 meses conforme Figura 6A.

Para a idade de nove meses os materiais genéticos 1501 e 3918 foram as maiores produtividades de biomassa alcançadas. Considerando a idade de 12 meses as maiores produtividades de biomassa foram alcançadas com os materiais AR4 e 3918, que não diferiram entre si, mas ambos foram melhor que o material genético 1501 (Figura 6B).

Na Figura (6C) estão ilustradas a produção de biomassa da interação manejo e material genético nas diferentes idades. As maiores médias de produtividade foram observadas na interação fertirrigado com os materiais genéticos 1501 e 3918 aos nove meses de idade. Entretanto, para a idade de seis meses, a interação foi significativa para a produção de biomassa/t/ha/ano para todos os três materiais genéticos no sistema de manejo fertirrigado e não diferindo entre si. O sistema de manejo fertirrigado foi superior ao manejo de sequeiro para os três materiais genéticos estudados na idade de seis meses.

4.3. FERTIRRIGAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM PLANTIO ADENSADO

Com base nos resultados, observou-se que os maiores crescimentos de Dap e Altura ocorreram nas idades de 24 e 36 meses para os espaçamentos 3x2 e 3x3 m que foram iguais entre si (Figuras 7A e 7B). Avaliando a produção de biomassa em função do espaçamento, aos 36 meses, os mais produtivos foram 2x2; 3x1; 3x2; 3x3 m e não diferiram entre si, sendo todos melhores que o espaçamento 2x1 m (Figura 7C).

Na Figura 7D está ilustrada a produção de biomassa para os materiais genéticos AR4, 1501 e 3918. As maiores médias de produtividade foram observadas no material AR4 na idade de 12 meses (50 t/ha/ano). Aos 24 meses os materiais 1501 e 3918 foram iguais entre si, porém, mais produtivos que o AR4 (Figura 7D).

Avaliando a interação espaçamento e material genético, foi significativo aos 12 meses sendo os mais produtivos (2x1_AR4; 2x2_AR4; 3x1_AR4 e 3x2_AR4) produzindo até 60 t/ha conforme (Figura 7E).

Considerando o objetivo proposto nesse trabalho, observou-se maior produção de biomassa com o material genético AR4 na idade de 12 meses na interação do manejo fertirrigado com os espaçamentos 2x1 e 3x2m, que não diferiram entre si.

Conforme observado, a produção de biomassa vegetal foi 42% maior no manejo fertirrigado para o material genético AR4 aos 12 meses de idade no espaçamento 3x2 m, quando comparado com o regime em sequeiro. Para os clones 1501 e 3918 os ganhos de produtividade média foram de 13 e 11%, respectivamente, com o emprego da fertirrigação, na mesma idade, observado também por Araujo *et al.* (2010) em um experimento em que comparou os ganhos de produtividade para *Eucalyptus* ssp. fertirrigado e sequeiro, por meio de curvas de prognose no município de Dois Irmãos do Buriti – MS, indicando que a fertirrigação diminui em média um ano na idade de corte da floresta, aumentando em 71% a produção final de madeira, em relação a área de sequeiro.

5. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos a maior produtividade de biomassa foi observada nos tratamentos com fertirrigação.

Foi observado maiores produtividades nas idades iniciais para espaçamentos mais adensados, entretanto com o aumento da idade espaçamentos maiores se mantêm mais uniformes e superam a produtividade dos espaçamentos menores.

A maior produção de biomassa foi observada para o material genético AR4 aos 12 meses de idade no manejo fertirrigado e espaçamentos 3x1 e 3x2 m. Para os clones 1501 e 3918, constataram-se maiores produtividades médias aos 36 meses, no manejo fertirrigado e em espaçamento 3x2 m, com valores equivalentes a 60 e 54 t/ha/ano.

Foi observado para espaçamentos super adensados aos 12 meses de idade um maior potencial produtivo obtido com os materiais genéticos AR4 e 3918 chegando a 50 t/ha.

Considerando os custos adicionais de fertirrigação e para adensamento do plantio, em relação ao manejo tradicional da cultura (espaçamento 3x3 m em sequeiro), é importante avaliar a viabilidade econômica deste tipo de estratégia para fins de produção de biomassa, seja para produção de matérias-primas tradicionais ou biocombustível.

CONTRERAS-MARQUEZ, C.E. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos e eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais.** 1997. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Viçosa-MG, 1997.

COURI, S. Processo enzimático na produção de etanol, a partir de celulose. **Revista Opiniões** (Florestas energéticas), Jun a Ago, 2008. Disponível em:<<http://www.revistaopinioes.com.br>>. Acesso em: 15 jun 2009.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BACKER, F.S. **Princípios de silvicultura.** Mexico: McGraw-Hill, 1982. 492 p.

DEMIRBAS, A. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. Taylor e Francis Group: **Energy Convers**, v. 7, p. 327-337, 2003.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biofuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, n. 1, p. 1-18, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. : il.

FONSECA, S.M.; FERNANDES, D.E.; BORGES, J.F.; MARTINI,S, L.; SILVEIRA, P.N. Efeitos do espaçamento e da idade de corte sobre a produtividade e qualidade da madeira e o custo de celulose kraft de eucalipto. **O Papel**, São Paulo, v. 58, n. 9, p. 61-70, set.1997.

GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais.** 1994. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: mar 2010.

IPEF – **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.** Disponível em: <<http://www.ipef.br>>. Acesso em: mar 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

LELES, P.S.S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos.** 1995. 133 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.

MARSHALL, P.C. **A Look at the Economic Feasibility of Converting Wood into Liquid Fuel,** Cano For Servo Information report EX25, p. 14, 1975.

7. APÊNDICE

Tabela 4 – Análise de Variância para as variáveis DAP (cm), Altura Total (m), Biomassa de madeira em t/ha e Biomassa de madeira em t/ha/ano do material genético AR4(Urograndis) para as idades de 6 a 36 meses, em que: Mat Gen = Material Genético; DAP = Diâmetro à Altura do Peito (1,30m); Biom = Biomassa

Mat Gen	Idade (meses)	Fatorial	Quadrado Médio				
			Falha	DAP(cm)	Altura(m)	Biom(t/ha)	Biom(t/ha/ano)
AR4	6	Manejo	15,13 ^{ns}	x	3,65 ^{ns}	36,56*	146,24*
AR4	6	Esp.	15,13 ^{ns}	x	0,02 ^{ns}	8,58*	34,32*
AR4	6	Mane*Esp.	15,13 ^{ns}	x	0,14 ^{ns}	1,44 ^{ns}	5,77 ^{ns}
AR4	12	Manejo	3,73 ^{ns}	9,25 ^{ns}	10,58 ^{ns}	1412,28*	1412,28*
AR4	12	Esp.	11,34 ^{ns}	4,06 ^{ns}	0,01 ^{ns}	598,82*	598,82*
AR4	12	Mane*Esp.	26,58 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,40 ^{ns}	283,07*	283,07*
AR4	24	Manejo	1953,13 ^{ns}	12,70 ^{ns}	21,00 ^{ns}	70,16 ^{ns}	11,66 ^{ns}
AR4	24	Esp.	182,29 ^{ns}	58,84*	17,94*	2070,97 ^{ns}	384,43 ^{ns}
AR4	24	Mane*Esp.	338,54 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,83 ^{ns}	317,53 ^{ns}	64,37 ^{ns}
AR4	36	Manejo	0,00	14,24 ^{ns}	8,83 ^{ns}	1153,10 ^{ns}	127,13 ^{ns}
AR4	36	Esp.	729,17 ^{ns}	24,07 ^{ns}	15,68 ^{ns}	1926,10 ^{ns}	215,14 ^{ns}
AR4	36	Mane*Esp.	416,67 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1235,30 ^{ns}	137,43 ^{ns}

* = Significativo e ns = não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 7 – Análise de Variância para as variáveis DAP (cm), Altura Total (m), Biomassa de madeira em t/ha e Biomassa de madeira em t/ha/ano para o espaçamento super adensado (1x1m) para as idades de 9 a 24 meses, em que: Mat Gen = Material Genético; DAP = Diâmetro à Altura do Peito (1,30m); Biom = Biomassa

Idade (meses)	Fatorial	Quadrado Médio				
		Falha	DAP(cm)	Altura(m)	Biom(t/ha)	Biom(t/ha/ano)
9	Manejo	61,72 ^{ns}	X	5,78 ^{ns}	875,82*	1557,00*
9	Mat_Gen	61,72 ^{ns}	X	0,04 ^{ns}	67,74*	120,42*
9	Manejo x Mat gen	61,72 ^{ns}	X	0,01 ^{ns}	87,99*	156,43*
12	Manejo	151,03 ^{ns}	2,65 ^{ns}	5,45 ^{ns}	86,81 ^{ns}	86,81 ^{ns}
12	Mat_Gen	24,32 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,19 ^{ns}	145,90*	145,90*
12	Manejo x Mat gen	100,66 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,14 ^{ns}	43,05 ^{ns}	43,05 ^{ns}
24	Manejo	425,35 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,59 ^{ns}	718,66 ^{ns}	179,66 ^{ns}
24	Mat_Gen	182,29 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,16 ^{ns}	153,60 ^{ns}	38,40 ^{ns}
24	Manejo x Mat gen	321,18 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,74 ^{ns}	672,01 ^{ns}	168,00 ^{ns}

* = Significativo e ns = não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste ^ & _ X

