



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.

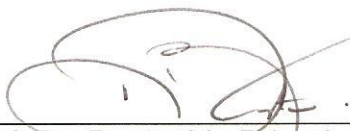
CDU: 630

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

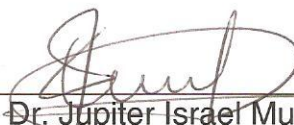
Eduardo Henrique de Freitas Vieira

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.



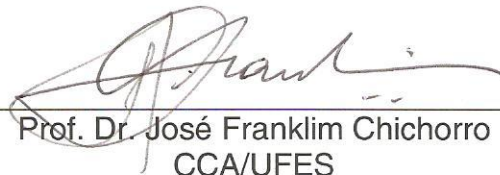
Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa
FENF/UFMT
Membro Externo



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.

AGRADECIMENTOS

UFA!!! TERMINEI!!!!

Somente aqueles que já passaram pela construtiva experiência de escrever uma dissertação ou tese e, ao mesmo tempo, ainda, com vínculo empregatício, sabem o sabor dessa frase tão exclamativa. Mas a sensação é que esse trabalho não é só meu, pois muitos foram os co-autores dessa empreitada. Então merecem mais do que um agradecimento. Gostaria de dar um abraço coletivo e dizer em conjunto: TERMINAMOS !!!

Aos meus pais, Domingos e Maria, pela educação que me proporcionaram e os valores que tenho na vida. A todos os meus irmãos Paulim, Luiz (Grêgo), Rita, Cris e em especial ao Nando (*in memorian*), pela ajuda em minha educação e formação profissional e também à Meire pelos conselhos que, mesmo de longe, demonstrou preocupação e interesse por esse estudo.

À minha família, pelo incentivo e compreensão nos momentos ausentes: à minha esposa Alessandra companheira de luta de longas datas que sempre me incentivou com conselhos e muito carinho e Matheus, que me acompanha a 15 anos, pois estava comigo em minha colação de grau, e ao Pedro Henrique, que também já compreende as minhas ausências nos finais de semana.

Ao Prof. José Franklim, pelo acolhimento, confiança e orientação durante todo o curso.

À Fibria Celulose S.A. ao Gabriel Dehon e ao Ergílio, pela compreensão e por ter aberto as portas para esse mestrado; e ao Fernando Bertolucci por ter dado continuidade e viabilização desse curso. Aos grandes colegas do Centro de Tecnologia Júpiter, Reginaldo, Sebastião, Alexandre, Pablo e Thiago pelo apoio e sugestões contínuas; ao Gilmar por “segurar a barra” na minha ausência. Ao Ricardo, Rodolfo e Robert pelo convívio e aprendizado contínuo. À toda equipe de analistas de campo pelo apoio na coleta de dados, pela troca de experiências e convívio com cada um de vocês. À Janine e Daniele (Biblioteca Ney Magno dos Santos), pela habitual colaboração na realização de pesquisas bibliográficas.

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.

“Há homens que lutam um dia e são
bons,
Há outros que lutam um ano e são
melhores.
Há aqueles que lutam muitos anos e são
muito bons.
Mas há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis.”

(Bertold Brecht)

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.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de biomassa (t/ha) para diferentes clones de eucalipto.....	6
Tabela 2 - Quantidade de energia nos combustíveis líquidos em Kcal/l.....	8
Tabela 3 - Produtos derivados da carbonização de eucalipto.....	9
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.....	36
Tabela 5 - 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 1501 para as idades de 6 a 36 meses.....	37
Tabela 6 - 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 3918 para as idades de 6 a 36 meses.....	38
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.....	39
Tabela 8 - 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 manejo fertirrigado para as idades de 6 a 36 meses.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo em Aracruz - ES.....	12
Figura 2 - Projeção da área de estudo sobre ortofoto	14
Figura 3 - Crescimento (A = DAP; B = altura; C = biomassa) para o material genético AR4 em diferentes idades.....	20
Figura 4 - Crescimento (A e B = DAP; C e D = altura; E = Biomassa) para o material genético 1501 em diferentes idades.....	21
Figura 5 - Crescimento (A e B = DAP; C e D = altura; E = Biomassa) para o material genético 3918 em diferentes idades.....	22
Figura 6 - Produtividade de biomassa (t/ha/ano) (A = em função do manejo; B = em função do material genético; C = em função da interação manejo x material genético) em diferentes idades.....	26
Figura 7 - Crescimento (A = DAP; B = altura; C = produção de biomassa em função do espaçamento; D = produção de biomassa em função material genético e E = produção de biomassa em função da interação espaçamento x material genético) em diferentes idades.....	29

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.

ABSTRACT

VIEIRA, Eduardo Henrique de Freitas. **Biomass production of *Eucalyptus* spp. under different managements and the spacing.** 2011. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Adviser: Prof. Dr. José Franklim Chichorro. Co-adviser: Prof^a. Dr^a. Maristela de Oliveira Bauer.

This study aimed to evaluate the biomass production, height and DBH of eucalyptus on two management regimes: rainfed and fertigated, three genetic materials and six different spacings, in the state of Espírito Santo. The design adopted was randomized blocks, with repetition. It was observed that, in general, the major growth and productivity of biomass occurred in the regime fertigated. We also observed, higher yields in the early ages for the dense spacing, however, with increasing age, the larger distance remained more uniform and exceeded the productivity of smaller spaces. Biomass production varied depending on the genetic material, plant spacing and irrigation. The treatment using the genetic material AR4 had productivity of 60 t/ha/year at 12 months of age in the management and spacing fertigated 3x1 and 3x2 m. For the clonal materials showed major biomass production (55 t/ha/year) in the interaction of management fertigated spaced 3x2 m at 12 months old. Genetic material in 1501 produced 45 t/ha/year in the 3x1 m spacing at 12 months of age. The genetic material in 3918, and interaction management fertigated 3x1 and 3x2 m spacings, produced at 12 months of age, 45 t/ha/year. Evaluating only the 1x1 m spacing (super dense) with the seminal genetic material in dryland management, we observed the production of 55 t/ha/year, at 12 months. Considering a spacing of 1x1 and 2x1 m (extreme cases), the mortality due to competition between plants is so high that at the end of two years, the number of live plants was reduced to approximately 30%. If we consider the additional costs of drip irrigation and planting density, compared to traditional management culture (3x3 m spacing in dry), it is important to evaluate the economic viability of this type of strategy for biomass energy production .

Keywords: Eucalyptus forest, biofuel, spacing.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto foi introduzido no Brasil em 1904, com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro na região Sudeste, passando a ser produzido na década de 50, como matéria-prima para o abastecimento das fábricas de papel e celulose. Nos anos 60 iniciaram-se os incentivos fiscais, que duraram até meados dos anos 80, sendo um marco para a silvicultura, gerando para o setor florestal a expansão em área de florestas plantadas. No entanto, ao término desses incentivos houve um crescimento marginal negativo no plantio de eucalipto para os demais segmentos do setor com exceção dos investimentos das indústrias de papel e celulose e de siderúrgicas a carvão vegetal.

Em torno de 56% da produção sustentada nacional do eucalipto se concentra na região Sudeste, evidenciando a grande importância e potencial industrial e comercial dessa região, locando as principais unidades industriais de beneficiamento da produção florestal, como indústrias siderúrgicas, de papel e celulose e de painéis reconstituídos (ABRAF, 2011). Registros do IBGE (2010) apontam que 13,5 % da produção nacional de madeira em tora, foram oriundas de exploração extrativista de florestas nativas, sendo o menor número registrado desde o ano 2000. Logo, o eucalipto encontra-se numa estratégica e fundamental posição de caráter econômico e social, fornecendo uma variedade de usos e difundindo-se como matéria-prima para muitos produtos usados no dia-dia.

Em todo o mundo, cerca de três bilhões de pessoas utilizam as florestas nativas como fonte de energia. No Brasil, as florestas plantadas são usadas como fonte de energia, não sendo permitido o uso de florestas nativas para essa finalidade (PAINEL FLORESTAL, 2010).

Atualmente as espécies mais cultivadas na formação de florestas para fins energéticos são do gênero *Eucalyptus* e a *Mimosa scabrella* (Bracatinga), na substituição de madeira nativa.

Com a crescente conscientização ambiental, no sentido de redução de gases de efeito estufa, aumentam os incentivos ao uso de energias renováveis. Dentre as mais utilizadas no Brasil, destacam-se as provenientes de biomassa, que correspondem a 31,6 % do total utilizado, sendo que a metade desta é

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:

OBJETIVO GERAL

Avaliar espaçamentos e práticas de manejo para três diferentes materiais genéticos de eucalipto, como alternativas para a produção de biomassa na região de Aracruz, Espírito Santo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar dois tipos de manejo, sequeiro e fertirrigado, para diferentes materiais genéticos clonais como forma de aumento de produtividade;
- Avaliar diferentes espaçamentos e sua interação com materiais genéticos para produção de biomassa de eucalipto;
- Avaliar a viabilidade de espaçamentos super adensados, 1x1 e 2x1 m para produção de biomassa.

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).

A produção de biomassa, proveniente do eucalipto, como alternativa de fonte de energia, é extremamente atrativa em função de seu rápido crescimento, sua rusticidade e facilidade de adaptação em diferentes regiões. Atualmente é o gênero mais plantado no Brasil para produção de madeira com diferentes usos, entre eles biomassa.

No Brasil, os principais usos da madeira de eucalipto são para a produção de celulose e papel (68%), siderurgia (21%), painéis de madeira (6,8%), outros produtos (4,2%) (ABRAF, 2011). Atualmente, para atender a essas demandas, a área plantada com essa espécie, segundo ABRAF (2011), é de 4, 754 milhões de hectares, principalmente nos Estados de Minas Gerais (29,4%), São Paulo (22%), Bahia (13,3%), Mato Grosso do Sul (8%), Rio Grande do Sul (5,7%), Espírito Santo (4,3%) e Paraná (3,4%).

Em um estudo feito por Neves (2000), que abrangeu oito materiais genéticos provenientes de híbridos clonais Urograndis (*Eucaliyptus urophylla* x *Eucaliyptus grandis*) no espaçamento 3X3 metros, na idade de 8 anos, foi feita a cubagem rigorosa e foram separados os componentes em parte aérea (folhas, galhos, casca e lenho) e em raízes. Os materiais genéticos não diferiram quanto a partição de carbono (C) para o lenho (74%), para o tronco (80%) e para as raízes (11%) (Tabela 1), variando, contudo, quanto à partição de nutrientes minerais, refletindo suas distintas eficiências nutricionais. A taxa média de acumulação de C pelos plantios foi de 13,1 t/ha/ano e a produção de biomassa de lenho e o balanço de macronutrientes ao longo do ciclo de crescimento, avaliados conjuntamente, indicaram que a antecipação da idade de corte aumenta significativamente a exportação relativa de nutrientes, em razão das menores eficiências nutricionais, sendo prejudicial à sustentabilidade da produção vegetal.

2.2. MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Dentre os diferentes usos do eucalipto, sua madeira pode ser utilizada diretamente em caldeira de biomassa para geração de energia, produção de álcoois e biorredutores, que tanto podem ser utilizados na produção de energia como biorredutores na seiderurgia.

Tabela 1 – Produção de biomassa (t/ha) para diferentes clones de eucalipto aos 8 anos de idade, para cada um dos componentes das árvores

Componente	Clone								Média
	21	34	1225	1248	1321	2130	2225	2277	
	t/ha.....								
Folhas	2,4	1,7	2,3	2,2	2,6	2,3	2,1	1,8	2,2
Galhos	5,1	3,2	6,7	5,4	6,5	4,5	5,2	8,1	5,6
Lenho	142,8	153,2	191,2	175,9	170,7	155,5	193,6	153,3	167,0
Casca	14,0	14,0	14,6	21,0	16,7	15,8	14,1	12,1	15,3
Raízes	23,4	20,6	27,7	25,2	23,7	21,5	27,6	26,2	24,5
Total	187,6	192,7	242,5	229,8	220,3	199,6	242,6	201,5	214,6
Serapilheira	10,3	11,0	19,5	19,8	5,1	9,9	13,8	7,8	12,1
TOTAL	197,9	203,8	262,0	249,6	225,4	209,5	256,4	209,3	226,7
IMA	41,0	43,1	46,1	45,8	43,5	46,3	49,3	49,5	45,6
Densidade	469	431	524	557	515	500	610	452	507

Fonte: NEVES (2000).

2.2.1. Etanol

O etanol celulósico é um tipo de combustível produzido a partir da celulose contida na biomassa das plantas, ervas, arbustos e árvores. A maior parte da massa de plantas é composta de lignocelulose, que inclui celulose, hemicelulose e lignina. Converter celulose em etanol envolve duas etapas fundamentais: 1) quebra das longas cadeias das moléculas de celulose em glicose e outros açúcares; e 2) fermentar esses açúcares em etanol. Dentre as tecnologias de conversão de biomassa em etanol, as mais estudadas envolve o uso de microrganismos para a produção de álcool e outra via biorrefinarias. Dentre os microrganismos utilizados destacam-se as bactérias chamadas *Thermoacetica moorella*, que pode ser encontrada em inúmeros lugares na natureza, incluindo vísceras de cupins e ruminantes de bovinos. As bactérias convertem os açúcares em ácido acético que é então convertido em acetato de etila. A etapa final - a produção de etanol - requer a adição de energia para o sistema na forma de hidrogênio, que pode ser obtida usando lignina, sendo convertida em uma mistura rica em hidrogênio por gaseificação. O hidrogênio é combinado com acetato de etila para fazer etanol (COURI, 2008).

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

hipoclorico e o de “Scholler”, que utiliza o ácido sulfúrico ou sulfuroso nos estágios da hidrólise. A energia consumida durante a hidrólise ácida faz com que o processo fique economicamente inviável. Devido a este fato os cientistas desenvolveram um processo que utiliza enzimas produzidas por fungo (*Trichoderma viride*) para hidrolisar a celulose (DEMIRBAS, 2005).

Os fermentos usados no processo de fermentação são capazes de digerir somente os açúcares de cinco carbonos na cadeia, como a glucose. As madeiras duras contêm grande quantidade de açúcares não fermentáveis e isto faz com que estas espécies produzam menos da metade do que podem produzir as madeiras mole (MARSHALL, 1975).

2.2.2. Metanol

Os quatro combustíveis líquidos são o metanol, etanol, isobutanol e a acetona. A partir do processamento da madeira pode-se ter o metanol e o etanol. Seus valores caloríficos são relativamente menores do que o da gasolina e óleo cru como mostra a Tabela 2. O metanol é produzido a partir da madeira pela destilação seca. O álcool é derivado dos grupos metoxil da hemicelulose e da lignina dos quais são de difícil separação, e a produção de metoxil é somente de 10 por cento. A produção potencial apresentada por Marshall *et. al.* (1975) é de 80 a 105 toneladas de metanol por tonelada de matéria-prima ou de resíduos de madeira, assumindo que o processo inclui a gaseificação necessária para quebrar as ligações da lignina. Esses autores concluíram que a produção é somente de 225 à 305 litros de metanol por metro cúbico de madeira, uma vez que a energia utilizada na parte da gaseificação já foi incluída.

Tabela 2 - Quantidade de energia nos combustíveis líquidos em Kcal/l

Combustíveis	Kcal/l
Metanol	4900
Etanol	6100
Gasolina	9500
Óleo cru	8700

Fonte: PAULILLO *et al.* (2007).

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).

2.3. TÉCNICAS DE PRODUÇÃO DE EUCALIPTO: ESPAÇAMENTO

As técnicas de produção de eucalipto, independentemente do uso final da madeira, são bem conhecidas e difundidas mundialmente, dentre elas a produção e a qualidade da muda, o preparo do solo, a fertilização, o espaçamento e os tratos silviculturais.

Em particular, a definição do espaçamento para plantio de espécies florestais é de grande importância, uma vez que pode afetar o crescimento das plantas, a exploração florestal e os custos de produção (DANIEL *et al.*, 1982; BALLONI, 1983; CONTRERAS-MARQUEZ, 1997), bem como possibilitar a otimização dos recursos luz, água e nutrientes (REIS e REIS, 1993). O espaçamento de plantio pode afetar a alocação de biomassa nos diversos componentes da planta. 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, para *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, e das raízes com diâmetro superior a 2mm, para *Eucalyptus camaldulensis*. Essa observação é reforçada por Leles (1995) que também observou que, no espaçamento 9 x 9 m, *Eucalyptus pellita* aloca grande parte de fotoassimilados para produção de raízes, ou seja, em espaçamentos muito amplos pode ocorrer alocação de biomassa para componentes da árvore que não são explorados comercialmente.

As diferenças de resposta ao espaçamento quanto à produção e partição de fotoassimilados podem ocorrer em consequência da qualidade do local, no que se refere à disponibilidade de água, nutriente e luz (PATIÑO-VALERA, 1986; REIS e REIS, 1993, GOMES, 1994). Reis *et al.* (1985) observaram variação na distribuição de biomassa entre os componentes da árvore de *Eucalyptus grandis* com a qualidade do local. A proporção da biomassa alocada para a madeira foi de 45,8%, aos 67 meses, em Carbonita-MG (local de pior qualidade) e de aproximadamente 60% em idades superiores a 51 meses, em Bom Despacho-MG (local de melhor qualidade).

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 aumento do espaçamento e da idade de corte. O rendimento de cozimento não variou com a idade de corte, porém, decresceu, juntamente com o fator de forma das árvores com o aumento do espaçamento, enquanto a porcentagem de casca do tronco das árvores aumentou. O custo de produção de celulose decresceu do espaçamento de 9 para o de 12 m²/planta, voltando a crescer para os de 15 e 17 m²/planta. Dentro de cada espaçamento, os custos de produção de celulose diminuíram com o aumento da idade de corte a uma taxa de retorno de 12% a.a.

O espaçamento a ser adotado no plantio deve ser selecionado em função do produto florestal desejado, uma vez que, em espaçamentos mais amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira, por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro, enquanto em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos (OLIVEIRA NETO, 2003).

Estudando três espaçamentos para produção de madeira (3X2; 3X1,5 e 3X1 m) Rezende (1983) verificou que espaçamento mais fechados tendem a ser mais econômicos para a produção de fitomassa para fins energéticos, contudo espaçamentos menores devem aumentar os custos de produção mais que proporcionalmente à produtividade por 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.

Atualmente os espaçamentos de 3 x 3m e 3 x 2m em média, são os mais utilizados para produção de madeira para celulose e carvão vegetal. Isso tem sido verificado, ser mais adequado para esses fins, garantindo melhores produtividades por unidade de área na idade de corte de 6 a 8 anos.

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).

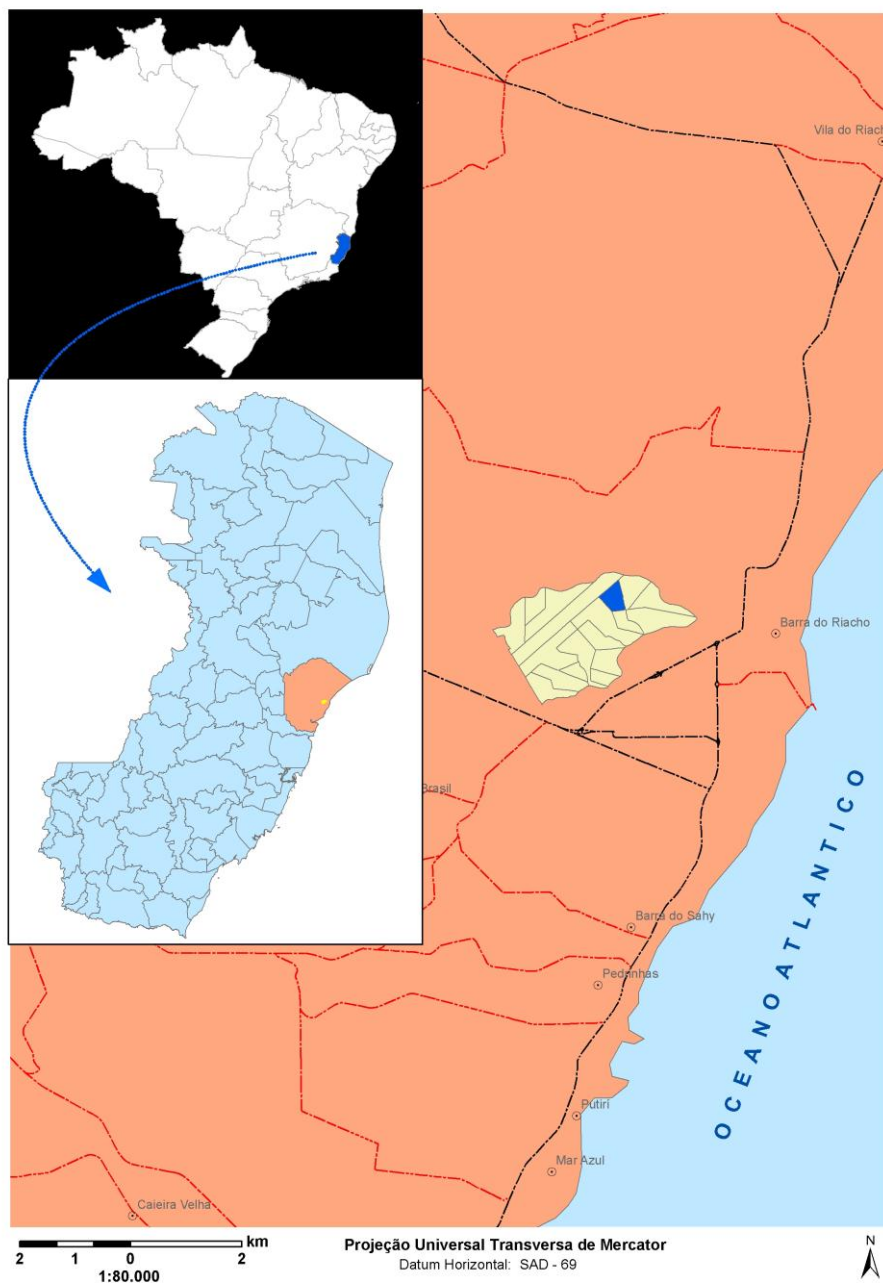


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo em Aracruz – ES.

O clima da região é tropical úmido, tipo Aw , com inverno seco e verão chuvoso, conforme classificação de Köppen (1928). A temperatura média anual é de 21,6 °C na estação mais fria e 26,9 °C na estação mais quente. A precipitação média anual é de 1.255 mm, concentrada principalmente nos meses de outubro a março, com precipitações médias mensais próximas a 60 mm, nos meses mais secos, segundo observações da Fibria S.A. O solo predominante na área é do tipo Argissolo Amarelo, textura média/argilosa, relevo plano (EMBRAPA, 2006).

O talhão utilizado para a coleta de dados possui área de 3,24 ha. A área utilizada com fertirrigação foi de 1,94 ha e o talhão utilizado para o plantio sem fertirrigação foi de 1,30 ha, com parcelas de 270 m² e área útil de 108 m² (12,0 X 9,0 m).

A propriedade e os limites da área de estudo podem ser visualizados na Figura 2.

3.2. IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em setembro de 2004, constituído pelo plantio de mudas clonais de dois híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* (clone 3918 e clone 1501) e um originário de semente de híbrido de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* (AR 4).

O preparo da área constituiu na retirada dos restos de madeira, brotações e cepas com uso de ancinho e coleta manual. Em seguida, foi realizado o preparo do solo com dupla subsolagem (subsolador com haste de 60 cm) e dupla gradagem cruzada (grade 28'). Em condições favoráveis de umidade de solo, foram aplicados 4,0 litros/ha de pré-emergente a base de oxifluorfena na linha de plantio.

Com base na análise do solo a adubação inicial foi realizada anteriormente à gradagem, na qual foram aplicados 3500 kg/ha de cinza de biomassa da caldeira, quantidade suficiente para elevar o valor da saturação de bases para 70%. Além disso, foram aplicados 600 kg de superfosfato simples/ha, cuja dosagem foi suficiente para elevar a concentração de P₂O₅ disponível para 60 ppm. A aplicação foi realizada a lanço em área total.

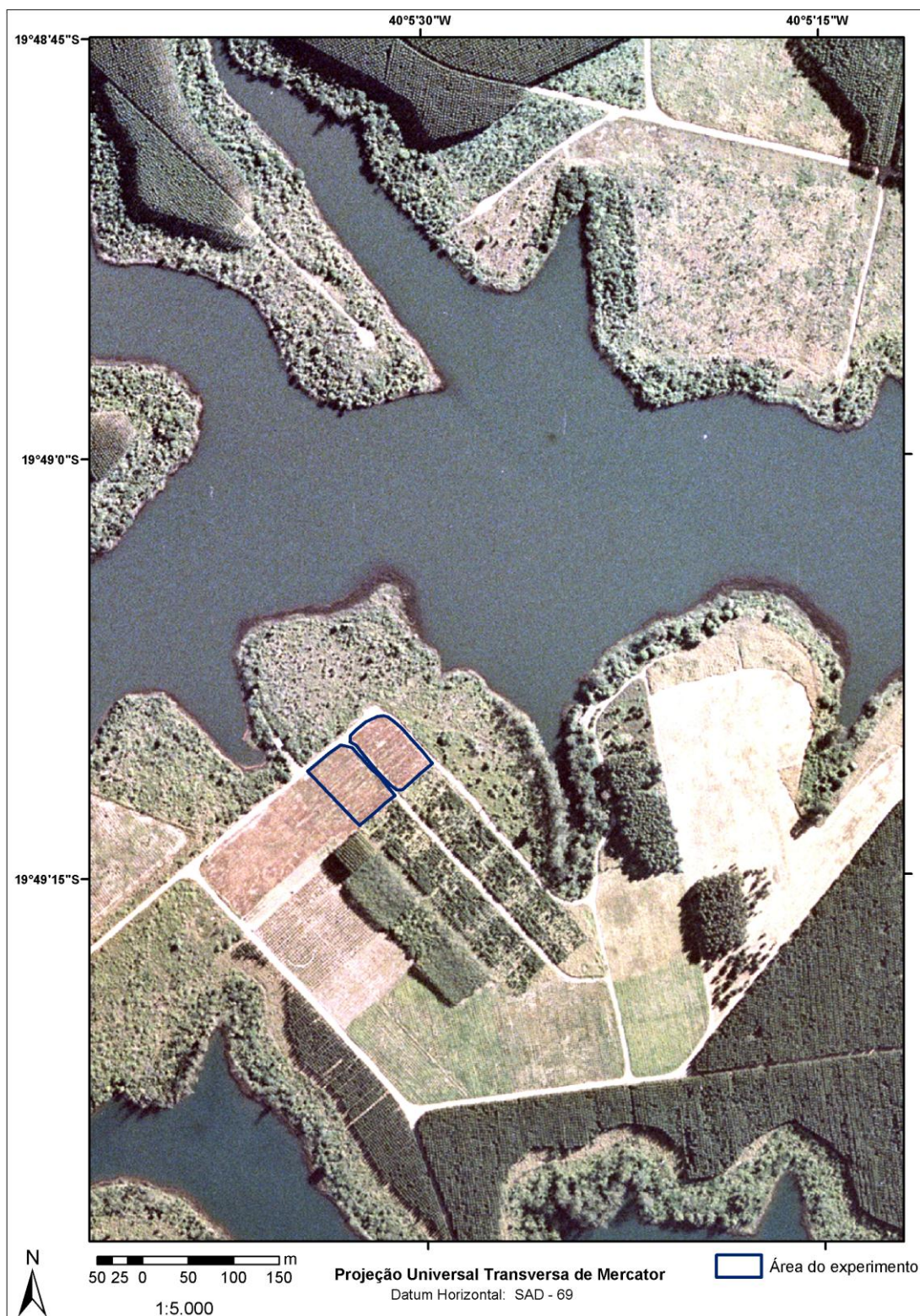


Figura 2 – Projeção da área de estudo sobre ortofoto. *Fonte:* FIBRIA (2010). Organização: Thiago Rizzo.

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.

3.2.2. Parâmetros fisiológicos

Com o objetivo de fazer um ajuste fino da demanda hídrica do eucalipto foram feitas medidas regulares para os seguintes parâmetros:

- a) potencial hídrico foliar;
- b) dimensões foliares (área foliar e peso foliar específico);
- c) número de folhas por planta;
- d) condutância estomática ao vapor d'água; e
- e) taxa de transpiração foliar.

3.2.3. Matéria seca de plantas

Simultaneamente às medições de altura e DAP foram coletadas amostras de três plantas por tratamento em área plantada especificamente para fins de biomassa.

Foi determinada a biomassa total nos seguintes intervalos: 6, 12, 24 e 36 meses. Amostras de cada fração da planta foram coletadas para análise química de elementos totais e determinação da curva de absorção de nutrientes para correções das dosagens de fertilizantes aplicados via fertirrigação.

3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E VARIÁVEIS ANALISADAS

O experimento foi instalado com 18 tratamentos em três repetições para o sistema de manejo com fertirrigação com os seguintes espaçamentos: 1x1; 2x1; 2x2; 3x1; 3x2 e 3x3m e 12 tratamentos em três repetições para o sistema de manejo sem fertirrigação com os seguintes espaçamentos: 1x1; 3x1; 3x2 e 3x3 m. Foi instalado um bloco adicional para coleta de plantas para avaliação da biomassa.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, seguindo a metodologia de Steel e Torrie (1960), representado para o caso a seguir.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + W_k + \varepsilon_{ijk},$$

Y_{ijk} = observação da produção de (DAP em cm, altura em m ou biomassa em t/ha), do manejo i e espaçamento j no bloco k , conforme o caso em análise;

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).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE EUCALIPTO EM PLANTIO ADENSADO E FERTIRRIGADO

A maior produtividade de biomassa foi observada nos tratamentos com fertirrigação. Observou-se que o plantio fertirrigado teve maior crescimento em diâmetro e altura quando comparado com o plantio em sequeiro aos 24 meses para os clones 3918 e 1501, porém não houve diferença entre os regimes de manejo para o plantio do material genético AR4, em nenhuma das idades avaliadas. Também se observou redução da uniformidade com o aumento da idade dos plantios (Figuras 3A e 4A). Diferentemente das variáveis primárias de DAP e Altura, a biomassa anual (t/ha/ano) foi significativa na idade inicial de 12 meses para todos os materiais. Isto está relacionado ao período de crescimento sem competição entre árvores. Com o aumento da competição a mortalidade influenciou na significância do teste F em decorrência do aumento do erro. A fertirrigação resultou em maior crescimento em altura das plantas aos 24 meses para os clones 1501 e 3918, mas não afetou o desenvolvimento do material genético AR4 em nenhuma das idades avaliadas (Figuras 4C e 5C). Para a variável altura, de forma similar ao observado para diâmetro, constatou-se redução da uniformidade do plantio com o aumento da idade para ambos os fatores estudados.

Em um estudo prévio, no qual foram testados tratamentos de irrigação e de adubação de forma separada, foi observado aumento de 28% em média do incremento anual de produção de madeira, em relação ao manejo e às taxas operacionais de fertilização (STAPE *et al.*, 2010). Em um estudo realizado por Santana (2008), no qual diferentes regiões foram comparadas em termos de potencial produtivo, foi observada uma variação relacionada com a disponibilidade de água. A produção de biomassa foi três vezes menor nas regiões com maior déficit hídrico. Conforme observado nesse trabalho, 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.

Para o fator espaçamento, a mesma tendência de resultados foi observada com o dos sistemas de manejo sequeiro e fertirrigado. Ou seja, para espaçamentos mais adensados as maiores produtividades foram observadas nas idades iniciais e com o passar do tempo espaçamentos menos adensados foram superiores.

Observou-se maior desenvolvimento em diâmetro no espaçamento 3x3 m para os clones 1501 e 3918 aos 24 meses. Para o plantio seminal (AR 4) não houve diferença de DAP para os espaçamentos 3x2 e 3x3 m, no mesmo período. Em geral houve redução da uniformidade do desenvolvimento em diâmetro com o aumento da idade (Figuras 3A, 4B e 5B). Para a variável altura, observou-se que o material genético AR4 apresentou maior crescimento no espaçamento 3x3 m aos 24 meses, enquanto os clones 1501 e 3918 apresentaram maiores desenvolvimentos nos espaçamentos 3x2 e 3x3 m aos 24 e 36 meses de idade (Figuras 3B, 4D e 5D).

Considerando a interação entre manejo e espaçamento, a maior produtividade de biomassa foi obtida para o material genético AR4 aos 12 meses de idade, com média de 60 t/ha/ano para o regime de manejo fertirrigado nos espaçamentos 3x1 e 3x2 m, os quais não diferiram entre si. A uniformidade do crescimento em diâmetro, altura e produção de biomassa aumentou a partir de 24 meses, independentemente da interação entre regime e espaçamento (Figura 3C). Para o clone 1501 observou-se maior produtividade na interação do manejo fertirrigado no espaçamento 3x1m aos 6 e 12 meses de idade. Para as demais idades não houve diferença entre os tratamentos testados, porém observou-se em média maior produtividade aos 36 meses do plantio. A redução da uniformidade do crescimento e da produção de biomassa ocorreu de forma similar ao observado para o material genético AR4 (Figura 4E). Para o clone 3918 a tendência de maior produtividade foi obtida a partir de 24 meses para o tratamento fertirrigado em espaçamento 3x2 m. Na idade de 12 meses os melhores tratamentos foram no regime fertirrigado nos espaçamentos 3x1 e 3x2 m. As menores variações de uniformidade em função da idade foram observadas para o clone 3918 (Figura 5E).

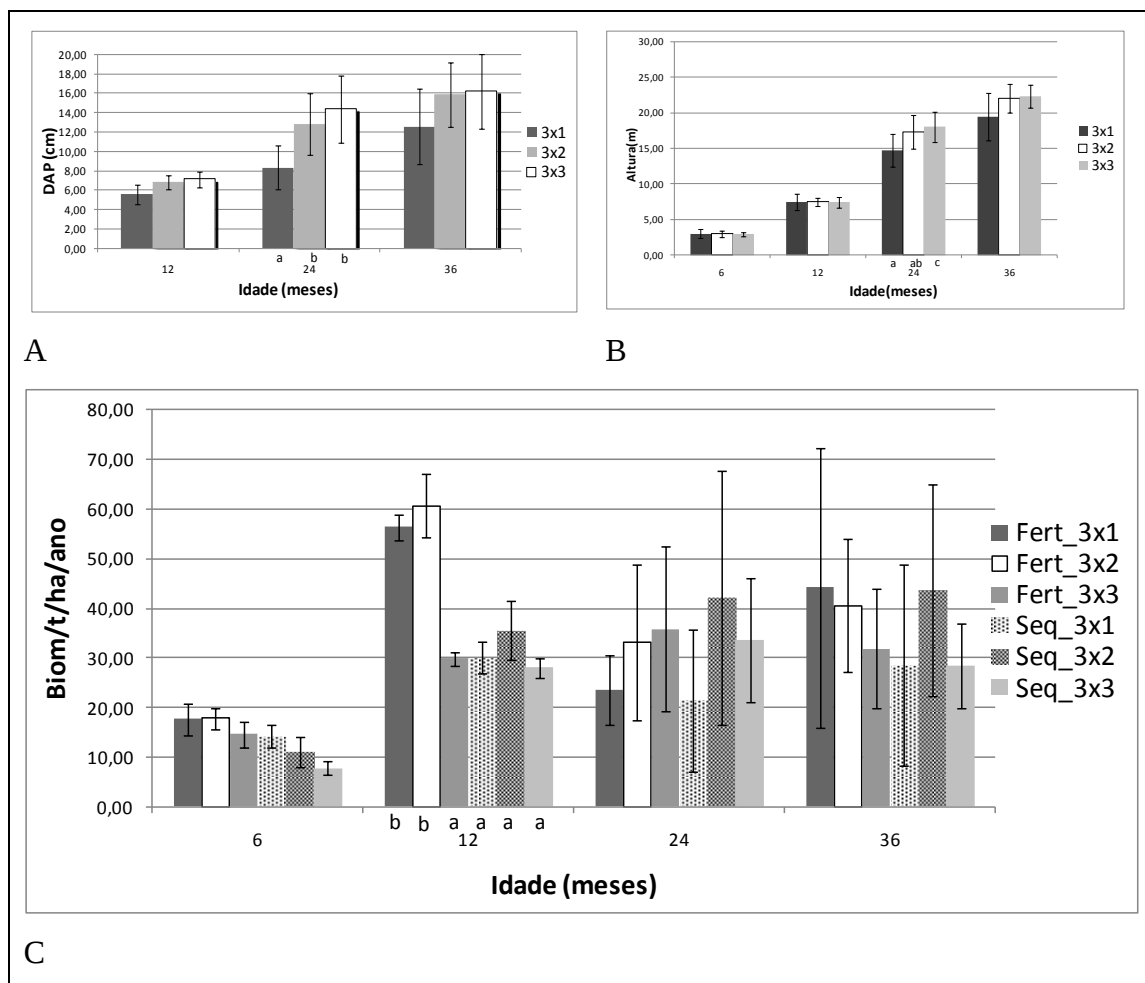


Figura 3 - Crescimento (A = DAP; B = altura; C = biomassa) para o material genético AR4 em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

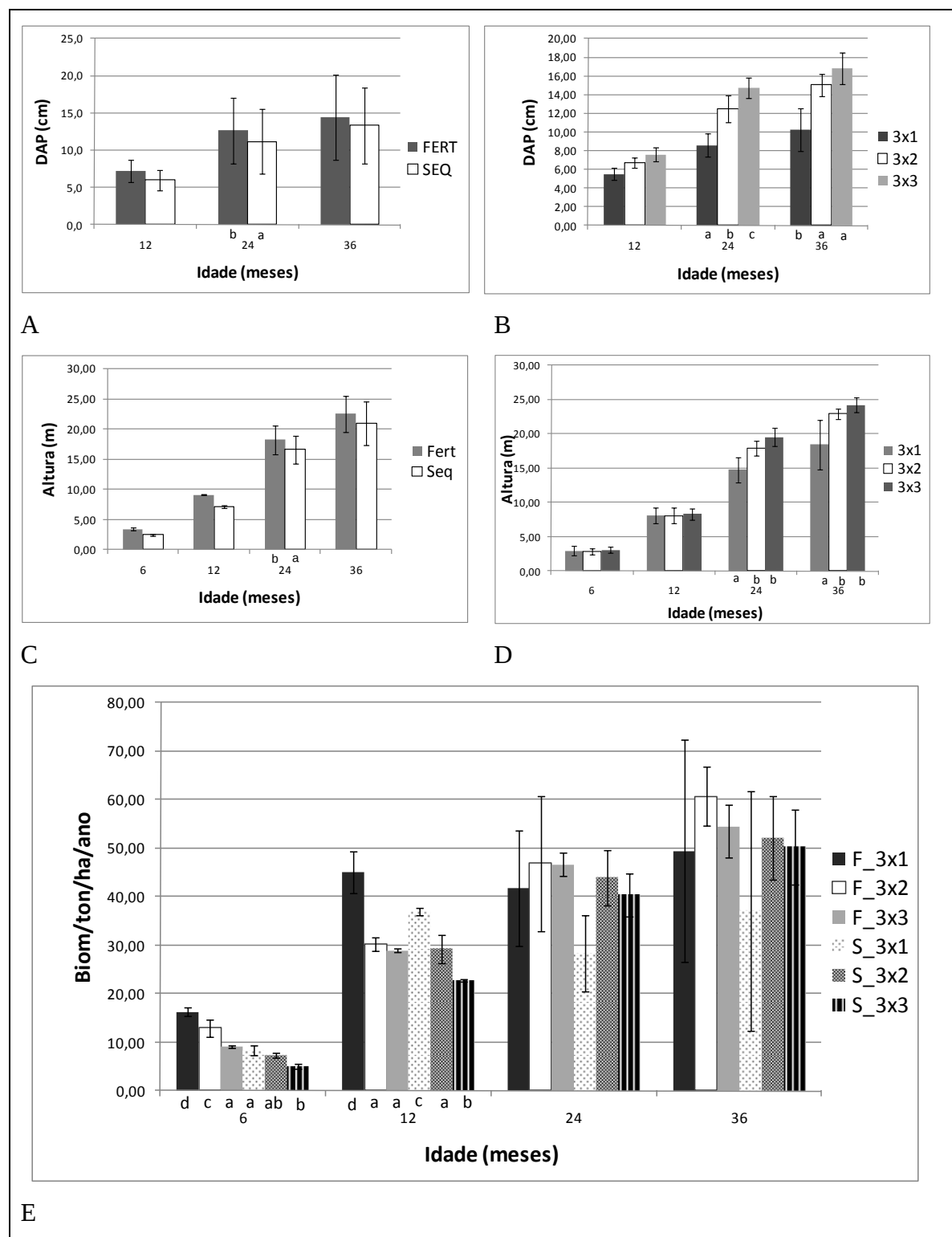


Figura 4 - Crescimento (A e B = DAP; C e D = altura; E = Biomassa) para o material genético 1501 em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

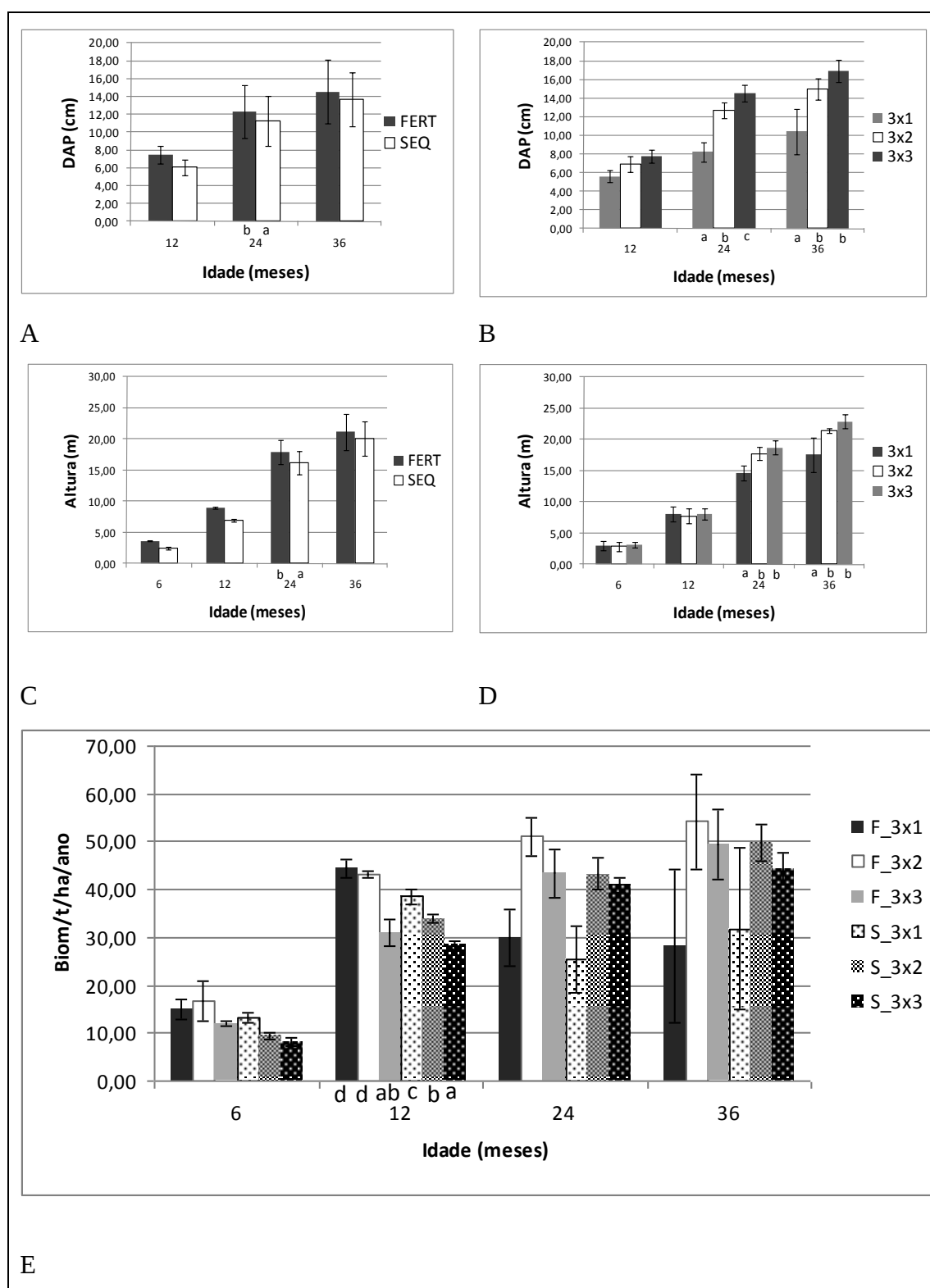


Figura 5 - Crescimento (A e B = DAP; C e D = altura; E = Biomassa) para o material genético 3918 em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

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

aumento do espaçamento e da idade de corte. Segundo Campos (1990), o espaçamento 3x2 m é mais indicado que espaçamento 3x1,5 m, quando a utilização da madeira for para celulose ou energia, compatibilizando assim a produção de árvores de tamanho mais adequado a uma maior produção por unidade de área na idade de corte.

No presente estudo foram constadas maiores produtividades médias de biomassa em idades de 12 (AR4) e entre 24 e 36 meses (clones 1501 e 3918). Essa duração de rotação difere do normalmente empregado para eucalipto, que atualmente é de 6 a 7 anos. Embora tenham sido obtidos valores elevados de produtividade, em taxas de 60 t/ha/ano, é importante frisar que a antecipação da idade média de corte tem implicações diretas sobre a sustentabilidade. Em um estudo de alocação de carbono e de partição de biomassa para oito materiais genéticos distintos, foi obtida uma taxa média de acumulação de C de 13,1 t/ha/ano. Nesse mesmo trabalho, em uma avaliação do balanço de macronutrientes indicou maior exportação relativa, em função das menores eficiências nutricionais, o que foi apontado como prejudicial à manutenção da produção vegetal (NEVES, 2000).

Foi observado o aumento da heterogeneidade dos plantios com o aumento da idade, o que pode estar relacionado com o adensamento e aumento da competição entre as plantas. Em um estudo no qual foi simulado diferentes níveis de heterogeneidade por meio de plantios escalonados, foi observada uma redução de até 14% biomassa de madeira em relação a um plantio uniforme tanto para o tratamento irrigado quanto para o sequeiro aos seis anos de idade (RYAN *et al.*, 2010). Conforme constatado por Boyden *et al.* (2008) um aumento de 50% no índice de competição com base na biomassa de árvores vizinhas reduziu o crescimento da árvore clonal de 20-30%, em comparação com uma redução inferior a 10% na árvore de origem de semente, corroborando com o resultado desse trabalho mostrando uma maior produtividade de material de origem seminal em relação ao clonal nas mesmas condições.

Além da utilização de madeira de eucalipto para produção de celulose, carvão vegetal e para produtos sólidos, pesquisas têm sido realizadas no intuito de utilizar a biomassa florestal para produção de biocombustível. Considerando a produtividade máxima obtida na melhor combinação de

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.

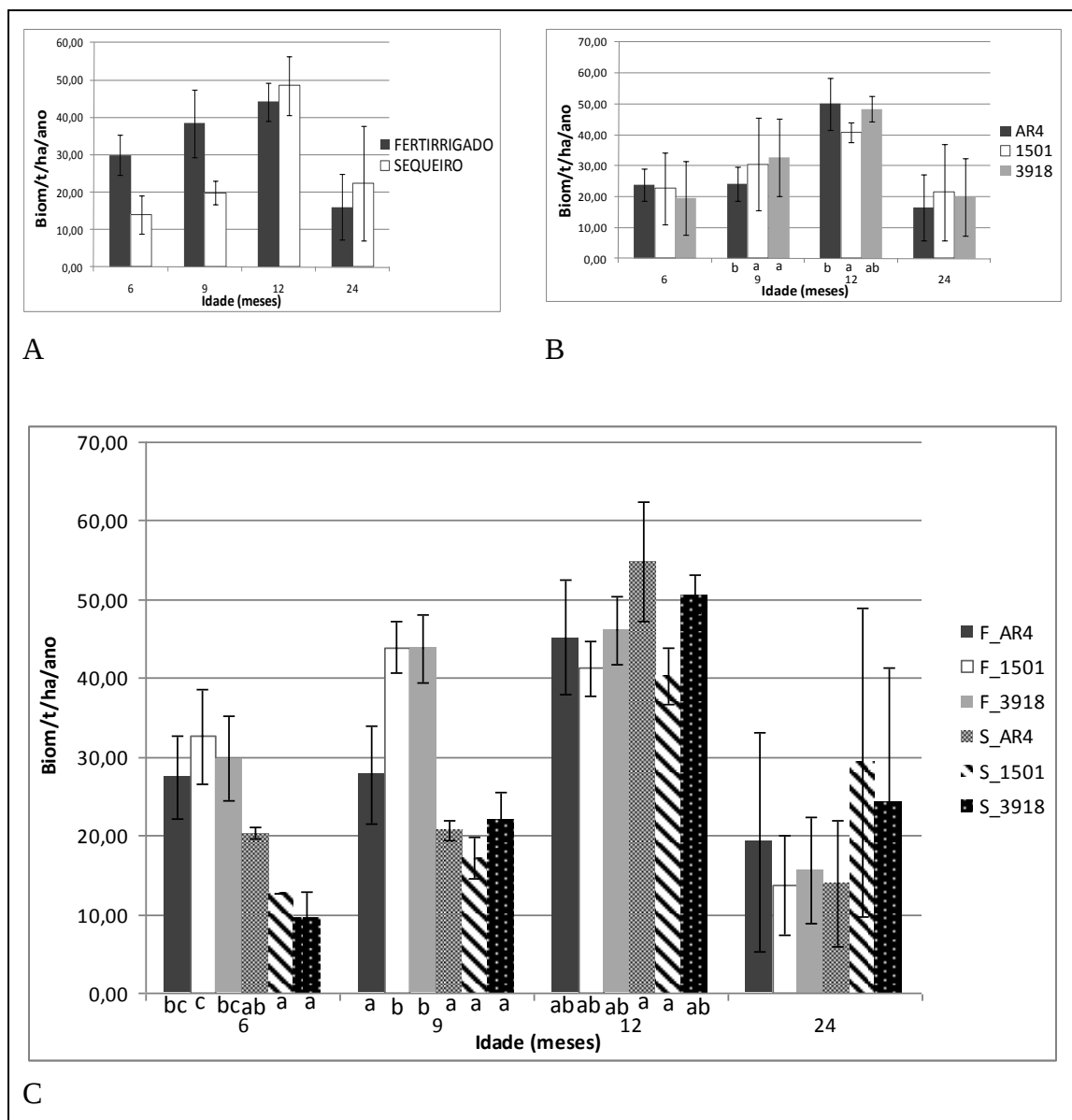


Figura 6 – Produtividade de biomassa (t/ha/ano) (A = em função do manejo; B = em função do material genético; C = em função da interação manejo x material genético) em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

Considerando o objetivo proposto nesse trabalho, observou-se maior produção de biomassa com os materiais genéticos 1501 e 3918 no sistema de manejo fertirrigado aos nove meses de idade.

Para o sistema de manejo integrado os materiais genéticos AR4 e 3918 se desenvolveram muito bem no sequeiro, aos 12 meses (Figura 6C). Verifica-se que houve perda de biomassa aos 24 meses, não havendo diferença estatística entre os tratamentos. Isso se justifica pelo alto índice de falhas no sistema fertirrigado chegando a 58% aos 12 meses.

Grande parte da maior produtividade que normalmente ocorre em plantios clonais de *Eucalyptus* spp., em relação a plantações de origem de sementes, pode resultar de maior uniformidade de tamanhos de árvore ao invés de aspectos genéticos (BINKLEY *et al.*, 2002). As interações de uniformidade e da genética são provavelmente complexas. Por exemplo, Boyden *et al.* (2008) analisaram os efeitos competitivos de vizinhos sobre o crescimento em massa (kg) de árvores individuais, de dois povoamentos, um de origem clonal e o outro de sementes. O crescimento médio (75 kg massa de madeira) de árvores de origem clonal, rodeado por árvores do mesmo clone, foi melhor do que o crescimento de árvores originárias de sementes, também cercada por árvores originárias de sementes. Com o passar do tempo, aumentou a pressão da concorrência das árvores clonais e, com isso, o crescimento dessas árvores, foi abaixo do crescimento das árvores de origem de semente. Ainda nesse estudo, os autores destacaram que o aumento de 50% no índice de competição entre as árvores de origem clonal, reduziu o seu crescimento entre 20 e 30%, em comparação com uma redução em crescimento de menos de 10% na árvore de origem de semente.

A redução de biomassa ocorrida dos 12 para os 24 meses de idade pode ser explicada devido à heterogeneidade de plantio provocado pelo alto percentual de falha, conforme estudo feito por Ryan *et al* (2010) em que a heterogeneidade de plantio resultou em uma redução de 14% de biomassa de madeira em relação a um plantio uniforme, tanto para o tratamento irrigado quanto para o sequeiro, na idade de seis anos.

Em estudo feito por Muller e Couto (2006), eles observaram que o crescimento em área basal por hectare apresentou relação direta com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maior densidade de plantas por hectare foram observados os maiores valores de área basal. Estes valores decresceram com a diminuição dessa densidade. A mesma tendência foi observada para as variáveis volume e biomassa.

Objetivando a maior produção de biomassa, chega-se a 50 t/ha/ano com os materiais genéticos AR4 e 3918 aos 12 meses de idade em espaçamento super adensado.

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.

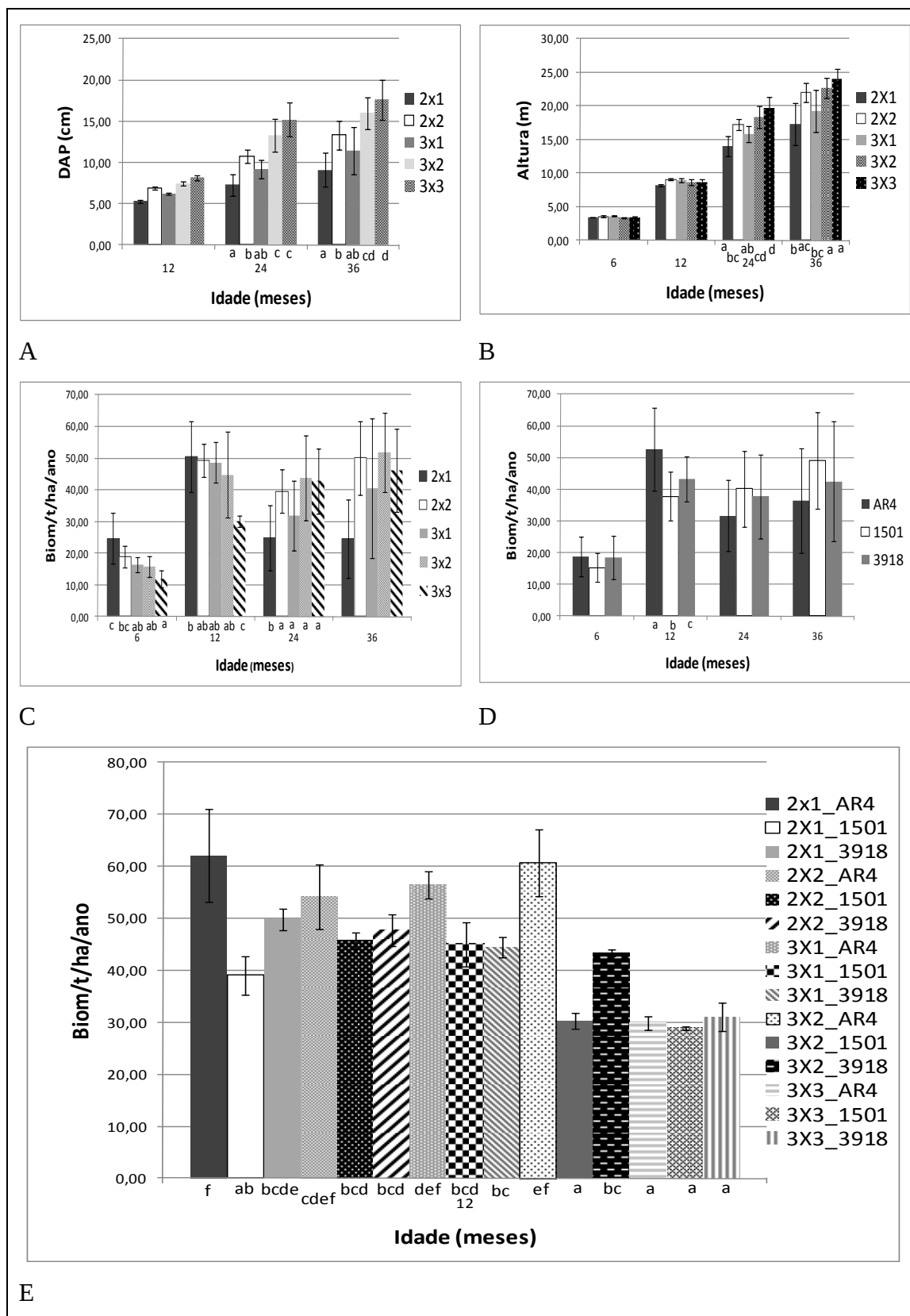


Figura 7 - Crescimento (A = DAP; B = altura; C = produção de biomassa em função do espaçamento; D = produção de biomassa em função material genético e E = produção de biomassa em função da interação espaçamento x material genético) em diferentes idades. Médias com letras iguais não diferem entre si (Tukey, 5%).

Em um estudo feito por Souza *et al.* (2006), os autores analisaram a produtividade de povoamentos de eucaliptos, localizados na Bacia do Rio Doce, em Minas Gerais e identificaram que, para um aumento de 100 mm de precipitação na estação chuvosa de um ano para outro, o aumento no incremento periódico mensal foi, em média, de $0,445 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$, enquanto para uma redução de 100 mm a diminuição no incremento periódico mensal foi de $0,64 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mês}^{-1}$.

Oliveira Neto *et al.* (2010) comparou o crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos (3 m entre as linhas e de 2, 3, 4 e 5 m entre plantas, na linha) e níveis de adubação, na região de cerrado de Minas Gerais, em que o crescimento em diâmetro apresentou comportamento linear crescente com o aumento da área útil, por planta e efeito quadrático em relação aos níveis de adubação. O crescimento em altura apresentou comportamento quadrático em relação à área útil por planta e níveis de adubação, com maior crescimento estimado para a área de 12 m^2 por planta. A estimativa da distribuição diamétrica variou em função do espaçamento e dos níveis de adubação.

Em um experimento correlato a este trabalho, Stape (2002) concluiu que o aporte hídrico foi o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus uroplhylla*) e do uso de recursos naturais, assim como, em períodos de déficit hídrico, a produção de madeira é significativamente afetada, mostrando como neste trabalho que o fator aporte hídrico é de fundamental importância para o incremento anual de madeira.

Objetivando a maior produção de biomassa se consegue 60 t/ha/ano com o material genético AR4 aos 12 meses de idade na interação manejo fertirrigado com os espaçamentos 2x1 e 3x2m, conforme observado na Figura 7E.

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.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARAUJO, H.B.; EPIPHANIO, P.P.D.; CRUZ, R.L.; SILVA, J.M.S. Ganhos de produtividade para eucalipto fertirrigado e sequeiro. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 16, n. 1, 2010.

BALLONI, E.A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 558-592, 1983.

BARROS, D.M.; VASCONCELOS, E.C. Termelétricas a lenha. In: MELLO, M.G. (Ed.). **Biomassa**: energia dos trópicos em Minas Gerais. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, p. 221-241, 2001.

BERNARDO, A.L.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; HARRISON, R.B. 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.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BARNARD, H.R.; FOWNES, J.H. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, v. 5, p. 58–67, 2002.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J.L. Competition among Eucalyptus trees depends on genetic variation and resource supply. **Ecology**, v. 89, p. 2850–2859, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. Brasília: MME, 169 p., 2004.

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. USP/ESALQ. – Documentos Florestais: Piracicaba (9): 1-19, maio 1990.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; SOUZA, R.N.; VITAL, B.R. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 14, n. 2, p. 119-133, 1990.

COLOMBO, S.F.O.; PIMENTA, A.S.; HATAKEYAMA, K. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. XIII SIMPEP – Bauru. **Anais..** São Paulo, 6 a 8 de novembro de 2006, 8 p.

CONTE, R.A. Refinaria de biomassa viabiliza florestas energéticas. **Revista Opiniões** (Florestas energéticas), Jun a Ago, 2008. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php.id=15>. Acesso em: 15 jun 2009.

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.

MULLER, M.D.; COUTO, L. Avaliação de densidade de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa – **RENABIO**, Viçosa-MG, 2006. 58 p.: il.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 25 ago 2010.

NEVES, J.C.L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e híbridos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Campos dos Goytacazes, UENF, 2000. 191 p.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000. 144 p.

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

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

PAINEL FLORESTAL, **Florestas Energéticas**. Disponível em: <<http://painelflorestal.com.br/noticias/geral/4436/>>. Acesso em: 14 jul 2010.

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

PAULILLO, L.F.; VIAN, C.E. de F.; SHIKIDA, P.F.A.; MELLO, F.T. de. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis?. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 531-565, 2007.

PIMENTA, A.S. **Curso de atualização em carvão vegetal**. Apostila, documento interno – Viçosa-MG: UFV/DEF, 2002.

REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C.; BARROS, N.F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Resumos**. 1993. p. 161-172.

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

RYAN, M.G.; STAPE, J.L.; BINKLEY, D. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1695–1703, 2010.

SAMPAIO, R.S. Produção de metais com biomassa plantada. In: MELLO, M.G. **Biomassa - Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001. p. 163-178.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B.; NOVAIS, R.F. Estimativa de Biomassa de Plantios de Eucalipto no Brasil, **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, 2006.

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantation in northeastern Brazil**. 2002. 225 f. Tese (Pós Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade do Colorado, Fort Collins, 2002.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D. Insights from full-rotation Nelder spacing trials with Eucalyptus in São Paulo, Brazil. **Southern Forests**, v. 72, p. 90–97, 2010.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684–1694, 2010.

STATSOFT **Statistica for Windows** – computer program manual. Tulsa: StatSoft, 2010. 782 p.

STEEL, R.G. e TORRIE, J.A. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1960. 481p.

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 5 – 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 1501 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)
1501	6	Manejo	x	x	4,21 ^{ns}	39,50*	158,02*
1501	6	Esp.	x	x	0,14 ^{ns}	10,17*	40,67*
1501	6	Mane*Esp.	x	x	0,13 ^{ns}	1,41*	5,65*
1501	12	Manejo	x	6,48 ^{ns}	16,82 ^{ns}	116,11*	116,11*
1501	12	Esp.	x	6,66 ^{ns}	0,10 ^{ns}	369,15*	369,15*
1501	12	Mane*Esp.	x	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}	20,32*	20,32*
1501	24	Manejo	34,72 ^{ns}	9,93*	11,84*	1339,90 ^{ns}	256,40 ^{ns}
1501	24	Esp.	34,72 ^{ns}	57,75*	34,88*	1034,00 ^{ns}	182,48 ^{ns}
1501	24	Mane*Esp.	34,72 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,58 ^{ns}	214,60 ^{ns}	45,09 ^{ns}
1501	36	Manejo	8,01 ^{ns}	9,65 ^{ns}	14,69 ^{ns}	2639,00 ^{ns}	283,63 ^{ns}
1501	36	Esp.	171,13 ^{ns}	67,03*	53,77*	2329,30 ^{ns}	270,14 ^{ns}
1501	36	Mane*Esp.	7,44 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,77 ^{ns}	234,60 ^{ns}	22,62 ^{ns}

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

Tabela 6 – 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 3918 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)
3918	6	Manejo	x	x	6,48ns	20,49*	81,96*
3918	6	Esp.	x	X	0,14ns	6,51*	26,03*
3918	6	Mane*Esp.	x	X	0,11ns	2,96*	11,82 ^{ns}
3918	12	Manejo	3,86 ^{ns}	8,41ns	18,00 ^{ns}	160,75*	160,75*
3918	12	Esp.	3,86 ^{ns}	7,04ns	0,16 ^{ns}	224,67*	224,67*
3918	12	Mane*Esp.	3,86 ^{ns}	0,07ns	0,11 ^{ns}	17,27*	17,27*
3918	24	Manejo	8,68 ^{ns}	5,31*	13,52*	756,60*	147,48*
3918	24	Esp.	494,79 ^{ns}	62,36*	26,76*	3464,40*	642,22*
3918	24	Mane*Esp.	8,68 ^{ns}	0,05ns	0,11 ^{ns}	25,90 ^{ns}	4,40 ^{ns}
3918	36	Manejo	0,00	3,52ns	4,82 ^{ns}	571,80 ^{ns}	62,03 ^{ns}
3918	36	Esp.	1883,68 ^{ns}	66,77*	45,68*	7777,30*	871,60*
3918	36	Mane*Esp.	26,04 ^{ns}	0,66ns	1,09 ^{ns}	601,00 ^{ns}	71,07 ^{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 “F”.

Tabela 8 – 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 manejo fertirrigado para as idades de 6 a 36 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)
6	Esp.	x	x	0,11 ^{ns}	49,62*	198,48*
6	Mat_Gen	x	X	0,07 ^{ns}	13,93 ^{ns}	55,70 ^{ns}
6	Esp x Mat gen	x	X	0,05 ^{ns}	3,25 ^{ns}	12,99 ^{ns}
12	Esp.	37,86 ^{ns}	10,69 ^{ns}	0,98 ^{ns}	643,71*	643,71*
12	Mat_Gen	5,62 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,61 ^{ns}	843,88*	843,88*
12	Esp x Mat gen	2,11 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	112,72*	112,72*
24	Esp.	508,68 ^{ns}	88,77*	43,49*	3131,50*	577,38*
24	Mat_Gen	2815,97 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1521,10*	286,01 ^{ns}
24	Esp x Mat gen	237,85 ^{ns}	0,84 ^{ns}	1,96 ^{ns}	776,10 ^{ns}	153,90 ^{ns}
36	Esp.	2218,75 ^{ns}	104,84*	66,65*	9779,90*	1098,58*
36	Mat_Gen	4513,89 ^{ns}	10,76 ^{ns}	8,16 ^{ns}	5386,60 ^{ns}	595,04 ^{ns}
36	Esp x Mat gen	299,48 ^{ns}	1,43 ^{ns}	2,76 ^{ns}	1883,00 ^{ns}	210,39 ^{ns}

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