

JORGE LUIS MEJIA RAMIREZ

**CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE E MASSA
ESPECÍFICA DE MADEIRA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M516c
2013

Mejia Ramirez, Jorge Luis, 2014-
Condições edafoclimáticas na produtividade e massa
específica de madeira de eucalipto / Jorge Luis Mejia Ramirez. –
Viçosa, MG, 2013.
xvii, 134 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Energia elétrica -
Produção. 3. Eucalipto. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 630.2515

JORGE LUIS MEJIA RAMIREZ

**CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE E MASSA
ESPECÍFICA DE MADEIRA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

Aprovada em 10 de outubro de 2013.

Helton Maycon Lourenço

Rodolfo Araújo Loos

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(Coorientadora)

Aristides Ribeiro
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antonio e Irma e à minha irmã Lina, por seu apoio e ensinamentos constantes na minha vida.

À minha namorada Camila, pela amizade e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiro dar graças a DEUS, por estar comigo em cada passo que dou, por fortalecer meu coração e iluminar minha mente, por ter colocado no meu caminho a todas as pessoas maravilhosas que conheci em Brasil.

Aos meus pais Luis Antonio Mejia e Maria Irma Ramirez e à minha irmã Lina Piedad e seu esposo Jhon Manuel por todo apoio, carinho, compreensão, dedicação e por serem um guia neste capítulo da minha vida.

À minha namorada Camila por estar sempre de meu lado em todo momento, apoiando-me e dando-me forças para chegar aos meus objetivos propostos.

Ao meu orientador e professor Aristides Ribeiro por sua paciência, dedicação, apoio e ensino.

À Professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro por abrir suas portas, pelo acolhimento e dedicação.

À toda minha família por torcer por meus bons sucessos.

À Universidade Federal de Viçosa por seu acolhimento e pela oportunidade.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola pelo ensino.

À empresa Veracel, por abrir suas portas.

A todos que, de algum modo, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

JORGE LUIS MEJIA RAMIREZ, filho de Luis Antonio Mejia e Maria Irma Ramirez, nasceu o 15 de maio de 1986, na cidade de Bogotá, Colômbia.

No ano de 2005 ingressou no curso de Agronomia na Universidade de Caldas, em Manizales, Caldas, Colômbia, concluindo-o em julho de 2011.

Em agosto de 2011, ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na área de Energia na Agricultura, na Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE QUADROS	XI
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XVI
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Contexto energético mundial	5
3.1.1. Visão geral da energia brasileira	6
3.2. O Eucalipto	7
3.2.1. <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>	8
3.3. Crescimento da árvore de <i>Eucalyptus</i>	8
3.3.1. Fatores que afetam o crescimento da árvore	9
3.4. Propriedades da madeira	10
3.4.1. Massa Específica	12
3.4.2. Poder calorífico superior	13
3.5. Modelos ecofisiológicos	14
3.5.1. O modelo 3-PG	14
4. REFERÊNCIAS	19
CAPITULO I	30
INFLUENCIA EDAFOCLIMÁTICA E IDADE NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS	30
RESUMO	30
1. INTRODUÇÃO	33
2. OBJETIVOS	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. Área de Estudo	35
3.2. Material	38
3.2.1. Incremento Médio Anual	41
3.2.2. Determinação da Massa Específica	41
3.2.3. Massa Seca da Madeira	42
3.2.4. Poder Calorífico Superior	42
3.2.5. Estimativa da Energia	42

3.2.6. Delineamento experimental	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. Incremento Médio Anual	44
4.1.1. Efeito da idade e da área no Incremento Médio Anual	45
4.1.2. Efeito da idade e do clone no Incremento Médio Anual...	46
4.1.3. Efeito da área e do clone no Incremento Médio Anual	47
4.2. Massa Específica da madeira	50
4.2.1. Efeito da idade e da área na Massa Específica da madeira	52
4.2.2. Efeito da idade e do clone na Massa Específica da	53
4.2.3. Efeito da área e do clone da Massa Específica da madeira	54
4.3. Massa Seca da madeira de eucalipto	56
4.3.1. Efeito da idade e da área da Massa Seca da madeira	58
4.3.2. Efeito da idade e do clone da Massa Seca da madeira ...	59
4.3.3. Efeito da área e do clone da Massa Seca da madeira.....	59
4.4. Poder Calorífico Superior.....	61
4.4.1. Efeito da idade e da área do Poder Calorífico Superior...	63
4.4.2. Efeito da idade e do clone do Poder Calorífico Superior .	64
4.4.3. Efeito da área e do clone no Poder Calorífico Superior ...	65
4.5. Potencial Energético	67
4.5.1. Efeito da idade e da área no Potencial Energético	69
4.5.2. Efeito da idade e do clone no Potencial Energético	70
4.5.3. Efeito da área e do clone no Potencial Energético	70
5. CONCLUSÕES	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPITULO II	79
INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NAS PROPRIEDADES	
DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS	79
RESUMO	79
1. INTRODUÇÃO	81
2. OBJETIVOS	83
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	84
3.1. Áreas de estudo e dados utilizados	84
3.2. Modelo 3-PG.....	86
3.2.1. Parametrização do modelo 3-PG.....	87
3.2.2. Calibração do modelo 3-PG.....	87
3.2.3. Validação do modelo 3-PG	87
3.2.4. Simulações	88

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
4.1.	Parametrização do modelo 3-PG.....	91
4.2.	Calibração do modelo 3-PG.....	92
4.3.	Validação do modelo 3-PG	95
4.4.	Simulações	102
4.4.1.	Incremento Corrente Mensal	102
4.4.2.	Cenários de simulação	106
5.	CONCLUSÕES	120
6.	CONCLUSÃO GERAL.....	121
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
9.	ANEXO.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação geral do modelo 3-PG, indicando os cinco compartimentos e as respectivas variáveis e parâmetros.....	34
Figura 2. Localização das duas áreas de estudo com seus respectivos sítios de coleta de amostras e municípios.....	55
Figura 3. Temperatura Máxima (Tmax) e Mínima (Tmin) e Amplitude Térmica (TΔ) média mensal correspondente aos anos de estudo do eucalipto nas áreas oeste (quadrado) e leste (pontos).....	56
Figura 4. Séries temporárias de Precipitação pluvial mensal (barras) e Umidade Relativa média mensal correspondente aos seis anos de estudo das áreas oeste (quadrados e barras brancas) e leste (pontos e barras pretas).....	56
Figura 5. Esquema da forma de amostragem dos discos ao longo de cada árvore.....	58
Figura 6. Esquema de amostragem das cunhas para determinação da Massa Específica com a respetiva identificação, e, detalhe da amostra restante para a determinação do Poder Calorífico Superior.....	59
Figura 7. Incremento médio anual da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. Os pontos pretos correspondem à média das três idades para cada clone.....	62
Figura 8. Massa Específica da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto corresponde à média das três idades para cada clone.....	68
Figura 9. Massa Seca da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.....	75
Figura 10. Poder Calorífico Superior de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.....	80

Figura 11. Potencial Energético da biomassa de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.....	86
Figura 12. Condições climáticas da área Oeste correspondente aos seis anos de estudo com a média mensal de temperatura máxima (bolás) e mínima (quadrados), precipitação pluvial (barras), déficit de pressão de vapor (pontos) e radiação solar (triângulo).....	103
Figura 13. Condições climáticas da área Leste correspondente aos seis anos de estudo com a média mensal de temperatura máxima (bolás) e mínima (quadrados), precipitação pluvial (barras), déficit de pressão de vapor (pontos) e radiação solar (triângulo).....	104
Figura 14. Valores médios observados e estimados de Volume por hectare do clone P- (a) e do clone P+ (b) nas duas áreas de estudo (AO e AL).....	111
Figura 15. Correlação dos dados observados e simulados do Incremento Médio Anual (IMA) da área AO (a) e AL (b) para cada clone (P+ e P-).....	112
Figura 16. Valores médios observados e estimados da Massa Específica do clone P- (a) e do clone P+ (b) nas duas áreas de estudo (AO e AL).....	112
Figura 17. Incremento mensal da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventario para a área AO e o clone P- (a); para a área AL e o clone P- (b); para a área AO e o clone P+ (c) e para a área AL e o clone P+ (d).....	114
Figura 18. Incremento Médio Anual da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventario para a área AO e o clone P- (a); para a área AL e o clone P- (b); para a área AO e o clone P+ (c) e para a área AL e o clone P+ (d).....	116
Figura 19. Massa Especifica da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventario para a área AO e o clone P- (a); para a área AL e o clone P- (b); para a área AO e o clone P+ (c) e para a área AL e o clone P+ (d).....	118
Figura 20. Correlação entre os dados de Incremento Médio Anual observado e estimado pelo 3-PG para as áreas e clones.....	119
Figura 21. Valores médios de volume de madeira (ha) observado e estimado pelo modelo 3-PG para a área oeste (a) e a área leste (b).....	119

Figura 22. Variação dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 e DEZ/2012 na área oeste.....	120
Figura 23. Variação da média móvel dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área.....	122
Figura 24. Variação dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área leste.....	123
Figura 25. Variação da média móvel dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área leste.....	123
Figura 26. Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos do ciclo produtivo estimado para as condições mais secas e mais úmidas sob o aspecto de disponibilidade hídrica.....	125
Figura 27. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 9 a 20, correspondentes a restrição hídrica na Fase I e variação das restrições na Fase II.....	129
Figura 28. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 21 a 32, correspondentes à, sem restrição hídrica na Fase I e variação das restrições hídricas na Fase II.....	129
Figura 29. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 33 a 40, correspondentes à, restrição hídrica na Fase II e variação das restrições hídricas na Fase II.....	130
Figura 30. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 41 a 48, correspondentes à, sem restrição hídrica na Fase II e variação das restrições hídricas na Fase I.....	130
Figura 31. Variação do Potencial Energético ao longo dos seis anos de estudo dos cenários com maior disponibilidade hídrica e maior restrição hídrica.....	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Dados médios de temperatura e precipitação pluvial das áreas e municípios de estudo com a respectiva localização geográfica.....	54
Quadro 2. Características do solo de cada localidade onde foram coletadas as amostras.....	54
Quadro 3. Delineamento experimental.....	57
Quadro 4. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da idade e da área ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).....	64
Quadro 5. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da idade e do clone ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).....	65
Quadro 6. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 24 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).....	66
Quadro 7. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 48 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).....	66
Quadro 8. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 72 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).....	67
Quadro 9. Valores médios da Massa Específica em função da idade e da área ($g cm^{-3}$).....	71
Quadro 10. Valores médios da Massa Específica em função da idade e do clone ($g cm^{-3}$).....	72
Quadro 11. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 24 meses ($g cm^{-3}$).....	73
Quadro 12. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 48 meses ($g cm^{-3}$).....	73
Quadro 13. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 72 meses ($g cm^{-3}$).....	74

Quadro 14. Valores médios de Massa Seca em função da idade e da área ($T ha^{-1} ano^{-1}$).....	76
Quadro 15. Valores médios de Massa Seca em função da idade e do clone ($T ha^{-1} ano^{-1}$).....	77
Quadro 16. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 24 meses ($T ha^{-1} ano^{-1}$).....	78
Quadro 17. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 48 meses ($T ha^{-1} ano^{-1}$).....	78
Quadro 18. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 72 meses ($T ha^{-1} ano^{-1}$).....	79
Quadro 19. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da idade e da área ($kcal kg^{-1}$).....	82
Quadro 20. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da idade e do clone ($kcal kg^{-1}$).....	83
Quadro 21. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 24 meses ($kcal kg^{-1}$).....	83
Quadro 22. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 48 meses ($kcal kg^{-1}$).....	84
Quadro 23. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 72 meses ($kcal kg^{-1}$).....	85
Quadro 24. Valores médios do Potencial Energético em função da idade e da área ($Mwh ha^{-1} ano^{-1}$).....	87
Quadro 25. Valores médios do Potencial Energético em função da idade e do clone ($Mwh ha^{-1} ano^{-1}$).....	88
Quadro 26. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 24 meses ($Mwh ha^{-1} ano^{-1}$).....	89
Quadro 27. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 48 meses ($Mwh ha^{-1} ano^{-1}$).....	89
Quadro 28. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 72 meses ($Mwh ha^{-1} ano^{-1}$).....	90
Quadro 29. Diferentes cenários de simulação pelo modelo 3-PG, detalhando a Fase I e Fase II, para os períodos de alta e baixa pluviosidade, ao longo dos seis anos de estudo, para as diferentes condições edafoclimáticas de cada área e clone.....	107

Quadro 30. Principais parâmetros do Modelo 3-PG com as parametrizações de Almeida <i>et al.</i> (2004), Silva <i>et al</i> (2013), e a utilizada neste estudo para as áreas e clones.....	109
Quadro 31. Valores médios de IMA para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.....	125
Quadro 32. Incremento Corrente Anual (ICA) para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones ao longo do ciclo de seis anos.....	131
Quadro 33. Variação da Massa Específica para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.....	134
Quadro 34. Variação do Potencial Energético para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.....	135

RESUMO

RAMIREZ, Jorge Luis Mejia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro 2013. **Condições edafoclimáticas na produtividade e massa específica de madeira de eucalipto.** Orientador: Aristides Ribeiro. Co-orientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Delly Oliveira Filho.

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a influência das condições climáticas sobre a produtividade e as propriedades da madeira de dois clones híbridos do urograndis para produção de energia em duas áreas do extremo Sul da Bahia. Utilizou-se também a modelagem ecofisiológica para simular a variação da produção de energia dos materiais genéticos estudados para distintas condições de precipitação pluvial, alternando períodos secos e úmidos durante o ciclo de desenvolvimento dos plantios. O experimento foi desenvolvido em duas áreas climaticamente contrastantes do extremo Sul da Bahia, área Leste (AL) e Oeste (AO), sendo a primeira com maior índice de sítio com total anual de chuva de 1.500 mm e a segunda com reduzida chuva total de 1.000 mm. Em cada área foram coletadas árvores de dois clones híbridos de urograndis, com diferentes potenciais produtivos, para três distintas idades (24, 48 e 72 meses) e, seis repetições. Em cada planta amostrada foram retirados discos a 0, 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial do tronco para as análises da ME e PCS. A MS por hectare foi calculada com os resultados de IMA e ME, e o potencial energético por hectare foi calculada com base nos resultados de PCS e MS. Utilizou-se o modelo 3-PG após realizada sua parametrização, calibração e validação com dados biométricos obtidos em inventário florestal realizados para as áreas e clones de estudo. Os resultados mostraram a mesma tendência verificada em outros estudos, em que é observada uma relação inversa entre IMA e ME. O clone menos produtivo (P-) obteve melhores propriedades da madeira para fins energéticos que o clone mais produtivo (P+), enquanto que o clone P+ mostrou maior potencial produtivo. Por outro lado, a área leste, apesar de apresentar a maior

disponibilidade hídrica ao longo do ano, a maior produtividade de biomassa e energia por hectare foi mostrada na área com maior restrição hídrica. De igual forma, os maiores valores de Massa Específica foram verificados na mesma área. Assim, para obter uma maior produtividade e qualidade da madeira é mais importante à seleção do material genético que a localização da área, mas sem desmerecer a influencia das condições edafoclimáticas sobre o potencial genético de cada material. O modelo 3-PG simulou satisfatoriamente o IMA e a ME, sendo possível identificar a amplitude de variação do potencial energético em função das variações climáticas entre diferentes cenários simulados. A precipitação pluvial é o fator que mais limita o incremento médio anual e, por conseguinte o potencial energético. Quando nos três últimos anos de idade acontece uma precipitação pluvial menor que nos três primeiros anos, ocorre um limitante no acúmulo de biomassa.

ABSTRACT

RAMIREZ, Jorge Luis Mejia, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September 2013. **Environmental conditions on productivity and density of eucalyptus wood.** Advisor: Aristides Ribeiro. Co-Advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Delly Oliveira Filho.

This study analyzed the productivity and wood properties of two urograndis hybrid clones for energy production. Two genetic materials were compared and are represented by (P+), higher production, and (P-), lower production. Trials took place in two climatically contrasting areas of southern Bahia, Brazil. Samples were collected at ages 24, 48, and 72 months. Six replicates were analyzed. In each sampled plant, disks were removed at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of the trunk for analysis of Specific Mass (ME) and Power Calorific Value (PCS). ME was determined by removing the two sampled wedges diametrically opposite of each disks, and the PCS was determined with sawdust taken from the unused part of the disk. The Dry Mass (MS) per hectare was calculated with the values of Mean Annual Increment (IMA) and ME. The potential energy per hectare was calculated using PCS and MS values. Ecophysiological modeling was used to simulate the variation of the energy production of genetic materials for different rainfall conditions, alternating wet and dry periods during the development cycle of crops. Area East (AL) received an annual rainfall of 1,500 mm while area West (AO) only received 1,000 mm. Results showed an inverse relationship between IMA and ME. The results show clone P+ having the highest potential for biomass production and energy per hectare, but the clone P- show larger values of gross calorific value and density. This verifies that the clone with better yield is not always the one that gives the best woody characteristics to be used as energy. Despite Area East (AL) having higher water availability throughout the year, the highest biomass productivity and energy per hectare was collected in Area

West (AO). Moreover, higher density values were observed in Area West (AO). This study shows selection of genetic material was more important than location to achieve higher productivity and wood quality. The study still accounts for the influence of environmental conditions, regardless of the genetic potential of each material. The 3-PG model satisfactorily simulated the IMA and the ME, making it possible to identify the range of variation of the energy potential due to climatic variations between the sites. We conclude that rainfall is the main factor that limits the mean annual growth and therefore, the energy potential. When the last three years happens less than in the first three years rainfall, a limiting occurs in the accumulation of biomass.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Em 2012, a área total de florestas plantadas no Brasil foi de 6,66 milhões de hectares, sendo que deste total, 5,1 milhões eram de eucalipto e 1,56 milhões de pinhos. Este segmento econômico gerou R\$ 7,60 bilhões em tributos nesse mesmo ano (ABRAF, 2013).

Nos últimos anos, as recomposições de áreas florestais de eucalipto e pinhos vêm crescendo mais rápido que outras espécies, como as nativas brasileiras, já que essas espécies exóticas fornecem maior quantidade de biomassa em menor tempo (PÉREZ *et al.*, 2008), o que corrobora com um incremento das áreas plantadas de eucalipto entre 2005 e 2012 de 40 % (ABRAF, 2013).

Esse crescimento é respaldado pela inovação tecnológica na floresta e indústria, pelo alto incremento médio anual de biomassa, pelo baixo custo de produção e pelas pesquisas impulsionadas pela forte integração entre empresas, universidades e governo (MONTEBELLO & BACHA, 2009). Este aspecto origina diretamente uma alta oferta de diversos produtos derivados dessa matéria prima, como a celulose, o carvão, a energia, os painéis, dentre outros.

Por outro lado, com o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional, há um aumento na demanda de bens e de serviços nos últimos anos, como por exemplo, o consumo de energia. No Brasil, o consumo de energia no ano 2011 foi de 2,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), e apresentou um crescimento de 38,22% no período compreendido entre 2002 e 2011, dos quais a biomassa florestal participou como fonte de energia com 6,6%. Da produção total de biomassa florestal, cerca de 84,9 milhões de toneladas, apenas 924 mil toneladas foram utilizadas para o fornecimento de eletricidade (BRASIL, 2012).

Os usos de florestas tendem a ser atrativos devido ao seu incremento e acúmulo de biomassa em menor tempo, além de gerar facilmente, por meio de processos termoquímicos (gaseificação, combustão, pirólise e liquefação),

calor e energia elétrica para as indústrias e residências, com fácil adaptação para lugares remotos que, não tem acesso a energia.

Para uma eficiente geração de energia a partir da biomassa de eucalipto é preciso avaliar diferentes elos que influenciam na produção da qualidade da madeira para fins energéticos, como é o caso do clima, que tem sido estudado sua influência na qualidade da madeira (ANFODILLO *et al.*, 1998; BUCKLEY, 2005; CARNEIRO *et al.*, 2008; TONELLO & TEIXEIRA FILHO, 2011).

Uma das ferramentas que ajuda no planejamento de atividades florestais constitui-se de modelos de crescimento, os quais estimam a produtividade dos plantios, dependendo das condições edafoclimáticas em relação ao potencial genético de cada material. O objetivo do uso destes modelos é auxiliar na tomada de decisão da implementação e da condução dos plantios, sendo, portanto, uma ferramenta útil na otimização dos processos produtivos.

No caso recente de crescimento de plantas comerciais para a produção de energia, a modelagem pode contribuir nos estudos que busquem determinar a produtividade potencial nas diferentes regiões do país, sendo possível determinar os locais mais produtivos e a área de plantio necessária ao planejamento do negócio.

Normalmente, esses modelos devem ser submetidos a uma parametrização, calibração e validação para uma boa estimativa de produção, sendo necessária uma base de dados bem definida sobre solo, clima e fisiologia da planta de determinada localização geográfica. O modelo 3-PG – “Physiological Principles Predicting Growth” (LANDSBERG & WARING, 1997) é uma ferramenta de fácil utilização e entendimento para as estimativas de biomassa de madeira em distintas condições edafoclimáticas.

As pesquisas realizadas com o modelo 3-PG têm sido aplicadas em diferentes países (SANDS & LANDSBERG, 2002; LANDSBERG *et al.*, 2003) e estados do Brasil: Bahia (STAPE *et al.*, 2004); Espírito Santo (ALMEIDA *et al.*, 2004a,b); Minas Gerais (SILVA *et al.* 2013); Rio Grande do Sul (LONDERO, 2011); e Amazônia (RASCON, 2012).

Nesse contexto é importante estudos que visem perscrutar a influência de fatores de clima no desenvolvimento do material genético do eucalipto para a obtenção de energia, analisando quais fatores afetam diretamente no comportamento da espécie, em sua acumulação, produtividade líquida e

propriedade físico-química, servindo assim, como ferramenta para opções de manejo, decisões gerenciais e estratégicas.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar a influência das condições climáticas sobre a produtividade e qualidade da biomassa de dois clones híbridos de urograndis em duas áreas no extremo sul da Bahia.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar o Poder Calorífico Superior e a Massa Específica dos clones híbridos de eucalipto.
- Ver o efeito do sitio na produtividade e propriedades físicas dos clones híbridos de eucalipto.
- Ver o efeito do clone na produtividade e propriedades físicas da madeira de eucalipto.
- Determinar a relação área-clone-idades na produtividade e propriedades físicas da madeira de eucalipto.
- Determinar a produção de massa seca e energia por hectare.
- Parametrizar, calibrar e validar o modelo ecofisiológico 3-PG.
- Simular produções de biomassa de eucalipto para condições climáticas contrastantes, cobrindo anos mais chuvosos e mais secos.
- Estimar a produção de energia por hectare.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Contexto energético mundial

Desde a Revolução Industrial o consumo de energia se intensificou influenciado pela competitividade econômica dos países e pela qualidade de vida de seus cidadãos, fazendo com que suas economias se posicionem melhor quanto ao acesso de recursos energéticos de baixo custo e impacto ambiental, o que gerou importantes vantagens comparativas entre países (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

Em 2005, o acesso à eletricidade doméstica e industrial girou em torno de 90 % do total de casas na maioria das regiões em desenvolvimento, com a exceção de Ásia meridional, em que apenas 40 % dos lares conta com eletricidade, e África, onde só pouco mais de 20 % dos lares tem serviço elétrico (CNE, 2008).

No ano 2004, a capacidade elétrica mundial à base de biomassa atingia os 36.000 MW, equivalente a 0,89 % do total. Estima-se que no ano 2030 chegará a 129.000 MW, equivalentes ao 1,6 % da capacidade elétrica mundial. No ano 2005, a quarta parte da população mundial carecia de acesso à eletricidade, e cerca de 2.400 milhões de habitantes cozinhavam ou esquentavam seus lares com fontes de energia primária como carvão, lenha, biomassa e esterco. Com avanços tecnológicos foi permitido reduzir os impactos ambientais, aumentar a eficiência da combustão da lenha e desenvolver melhores indústrias para a matéria prima, como é o caso dos pellets (CNE, 2008).

Quando utilizada em processos de transformação eficientes, a madeira se converte em um produto com alto potencial renovável e produtivo, notando-se uma expressão de matriz energética ambientalmente mais saudável e socialmente mais justa, se comparada com os combustíveis fósseis, pois é uma das fontes de energia que possibilita uma das maiores taxas de geração de emprego por recurso monetário investido (BRITO, 2007).

3.1.1. Visão geral da energia brasileira

Entre 1940 e 1950, com uma população de 41 milhões de habitantes, dos quais 69 % se concentravam no meio rural, o consumo brasileiro de energia primária era de apenas 15 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep). Já em 1970, com uma população de 93 milhões de habitantes, o Brasil experimentou um intenso desenvolvimento econômico que se refletiu numa crescente necessidade de energia e conduziu a uma demanda inferior a 70 milhões de tep com apenas duas fontes, petróleo e lenha, que respondiam pelos 78 % do consumo. No ano 2000 a demanda energética triplicou, alcançando 190 milhões de tep com uma população de 170 milhões de habitantes, momento em que três fontes respondiam pelos 74 % do consumo: petróleo, lenha e energia hidráulica (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

Em 1979, o Brasil dependia da importação de 85 % do petróleo de que necessitava, o que provocou a reação do setor energético brasileiro, gerando três ações políticas energéticas, a ELETROBRÁS, que priorizou a construção das grandes e medianas hidroelétricas, como Itaipu, Tucuruí e outras, a PETROBRAS, que priorizou a prospecção de petróleo no mar, com descobertas importantes na Bacia de Campos e, mais recentemente, no Pré-Sal, tendo desenvolvida a tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas, além do Pro-Álcool, que viabilizou os derivados energéticos da cana-de-açúcar como opção renovável, como a segunda fonte energética nacional, depois do petróleo (VENTURA FILHO, 2012).

O uso eficiente de energia e o aumento na incorporação de fontes renováveis no Brasil têm crescido significativamente, já que o governo federal tem políticas de incentivo, tais como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), o Programa de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), o Programa Brasileiro de Etiquetagem, a Lei de Eficiência Energética, o Programa Nacional do Biodiesel e o Programa do Álcool e medidas complementares a elas, como linhas de financiamento favoráveis a essas formas de energia e incentivos à cogeração (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

O uso da madeira plantada para fins energéticos no país remonta ao final do século XIX, quando se verificou a necessidade da Companhia Paulista de Estradas de Ferro de replantar suas terras com árvores de rápido crescimento para o fornecimento de madeira às locomotivas a vapor, que na época se tratavam do mais importante meio de transportes de passageiros e de carga (MAGALHÃES, 2001). Basicamente, os quatro setores no Brasil que consomem madeira para energia são transformação, residencial, industrial e agrícola (BRITO & CINTRA, 2004).

Em 1980 se conceituou o termo florestas energéticas com grande número de árvores por hectare e, conseqüentemente, de curta rotação, que tem como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo (MAGALHÃES, 2001).

3.2. O Eucalipto

O Eucalipto foi descoberto em 1770 e, atualmente, são reconhecidas aproximadamente 800 espécies do gênero *Eucalyptus* (BROOKER, 2002). Este gênero pertence à família Myrtaceae (Subfamília Leptospermoidae) e possui uma ampla plasticidade e dispersão mundial, pois cresce satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, passando desde áreas pantanosas até muito secas, de solos arenosos, de baixa à de alta fertilidade, ocupando, portanto, ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto temperaturas (SANTOS *et al.*, 2001; SCHUMACHER *et al.*, 2005; HASSE, 2006).

O eucalipto foi introduzido na América do Sul provavelmente em 1823, em regiões próximas ao Chile. Presume-se que as introduções dos primeiros eucaliptos no Brasil tenham sido feitas por Frederico de Albuquerque, em 1868, no Rio Grande do Sul e no Rio de Janeiro (SAMPAIO, 1961). Até o início do século XX, as espécies de *Eucalyptus* eram utilizadas apenas como arborização de ruas ou como quebra-ventos, sendo iniciada a cultura em larga escala apenas em 1903, no estado de São Paulo (SILVEIRA, 2004).

Segundo Schumacher *et al.* (2005), no Brasil destacam-se as espécies *Eucalyptus alba*, *E. botryoides*, *E. longifolia*, *E. robusta*, *E. umbellata*, *E.*

tereticornis, *E. globulus*, *E. microcorys*, *E. pilularis*, *E. trabutie* e *E. viminalis*, e de acordo com Santos (2010), as espécies utilizadas para plantações de florestas energéticas são *E. grandis*, *E. saligna*, *E. camaldulensis* e *E. urophylla*, por possuírem características diferenciadas quanto às exigências de utilização.

A estrutura anatômica, composição química e as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* spp. são essenciais para a produção de energia (CAMPOS, 2008), sendo a seleção de espécies para a produção de florestas energéticas um fator importante para sua produtividade, fazendo-se necessário, por conseguinte, o melhoramento das madeiras de eucalipto que têm elevado potencial produtivo, alta densidade, maior poder calorífico, alto teor de carbono fixo e de lignina (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

3.2.1. *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*

O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, conhecido também como urograndis, tem características de crescimento do *E. grandis*, e leve aumento da massa específica características do *E. urophylla* (ALZATE, 2004). Além disso, se bem se bem selecionado, o híbrido apresenta crescimento mais rápido e grande quantidade de secreções de defesa contra patógenos, micro-organismos e, possivelmente contra herbivoria, em relação às espécies parentais (BRISOLA & DEMARCO, 2011).

3.3. Crescimento da árvore de *Eucalyptus*

O crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica dendrométrica, como diâmetro, altura, área basal e volume, causado pela atividade fisiológica da planta (SCOLFORO, 1994).

O crescimento primário de árvores é dado pela atividade do meristema apical ou terminal que, através de sucessivas divisões celulares, novas células são acrescentadas para baixo, enquanto o tecido meristemático vai sendo

deslocado para cima, sendo o responsável pelo crescimento em altura, localizando-se no ápice do tronco e ramos (BURGER & RICHTER, 1991).

O crescimento secundário refere-se ao aumento do diâmetro de uma árvore em um determinado período de tempo (ENCINAS *et al.*, 2005) e é gerado pelo meristema cambial, que representa uma camada de células localizadas entre o floema e o alburno. A formação de novas células se dá a partir de uma célula do câmbio (célula mãe ou inicial) que irá originar duas outras absolutamente idênticas a ela. Uma das células mantém o seu caráter embrionário e sofre um aumento de tamanho tornando-se uma célula mãe original. A outra irá se diferenciar em um elemento constituinte, ou do xilema ou do floema (BURGER & RICHTER, 1991).

O crescimento pode variar em função de diversos fatores como os genéticos das espécies e suas interações com o ambiente, os climáticos (temperatura, precipitação, vento, insolação, geada, etc.), pedológicos (características físicas, químicas e biológicas dos solos), topográficos (inclinação, altitude e exposição), biológicos (pragas e doenças) e pela própria competição com outras árvores e outros tipos de vegetação (ENCINAS *et al.*, 2005).

As plantações de eucalipto no Brasil têm as maiores taxas de crescimento registrado na vegetação florestal (WHITEHEAD & BEADLE, 2004), sendo atribuído o domínio no crescimento pela eficiência no uso de recursos como água, nutrientes no solo, radiação, temperatura, entre outros (WARING *et al.*, 1980).

3.3.1. Fatores que afetam o crescimento da árvore

São muitos os fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento de uma planta, como por exemplo, a densidade do plantio, que, quando poucas plantas por hectare, pode prejudicar o potencial do sítio em termos de luz, nutrientes e água disponível no ponto, e, quando muitas plantas por hectare, estes elementos, muitas vezes, não são suficientes para garantir o bom desenvolvimento das árvores (SCHNEIDER *et al.*, 1998).

Por sua vez, a influência de fatores internos (genéticos) e externos (ecológicos) a que está exposta a planta, também afeta diretamente o ritmo de crescimento através do tempo, sendo mais sensível ou resistente nos diferentes estados fisiológicos (ENCINAS *et al.*, 2005). Um exemplo é a transpiração de *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) que, em condições ideais de água diminui com a idade, passando de 2,2 mm dia⁻¹ aos 14 anos de idade, para 1,4 mm dia⁻¹ aos 45 anos e chegando até a 0,8 mm dia⁻¹ aos 160 anos de idade (Roberts *et al.*, 2001).

Outro fator é a fertilidade, que dependendo da espécie, da característica do local e das práticas silvícolas, respondem em maior ou menor grau como limitante (FORRESTER *et al.*, 2010). Como exemplo, Lima & Garcia (2011), encontraram influência na fertilização e no desbaste na porcentagem de casca de *Eucalyptus grandis*.

No caso brasileiro, o crescimento do *E. grandis* está fortemente afetado pelo clima. Um exemplo consta da distribuição das chuvas que afeta a disponibilidade de água no solo, ou o déficit de pressão de vapor, que restringe o crescimento através do fechamento dos estômatos (STAPE *et al.*, 2004, ALMEIDA *et al.*, 2004a e ALMEIDA *et al.*, 2007).

Do mesmo modo que diferentes fatores tenham influência no crescimento de uma planta, também há influência no comportamento anatômico da madeira, já que existem variações na composição química e física em função da idade e de fatores genéticos e ambientais. Trugilho *et al.* (1996), verificou a influência da idade sobre as características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*, encontrando que existe uma redução da taxa de incremento bem acentuada dos 36 para os 48 meses de idade para a densidade básica, comprimento da fibra, diâmetro do lúme, teor de cinzas, teor de lignina, extrativos totais e holocelulose.

3.4. Propriedades da madeira

As principais propriedades físicas da madeira para interesse energético são massa específica, conteúdo de umidade (intrínseca e extrínseca), poder

calorífico, proporções de carbono fixo e voláteis, conteúdo de cinzas, conteúdo de metal alcalino e teor de lignina (MCKENDRY, 2002).

Ocasionalmente, a época de colheita das árvores é determinada pelo volume de madeira por hectare e não pela qualidade das mesmas. Como consequência pode-se tomar como exemplo a mistura de madeiras com massas específicas distintas, gerando dificuldades na manufatura da madeira para determinados fins. No Brasil, usualmente, as árvores atingem dimensões de comercialização ainda muito jovens, que diferem de características de árvores mais velhas (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000), sendo que em algumas espécies madeireiras a maturação gira em torno de um período de 60 anos (PANSIN & DE ZEEUW, 1980).

O uso adequado de espécies florestais melhoradas, isto é, com qualidades na madeira, na taxa de crescimento, na forma, resistentes a pragas e doenças, e na adaptabilidade ajudam na obtenção de madeiras com propriedades mais desejáveis (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000).

As propriedades da madeira e, conseqüentemente, sua qualidade, variam conforme a espécie, a idade, posição geográfica, clima e das condições do solo em que a floresta foi plantada (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000). De acordo com Raglandet *et al.* (1991), algumas propriedades da madeira também sofrem variações devido às condições de crescimento da árvore. Até mesmo a procedência da semente pode influenciar as propriedades da madeira (KELLISON, 1981).

Nesse sentido, por meio de técnicas de manejo florestal pode-se controlar as propriedades da madeira, analisando as características da planta em relação ao ambiente (espaçamento, proporção de copa viva e taxa de crescimento) (REMADE, 2003; LIMA, 2005). Como exemplo, a poda dos galhos nas árvores aumenta a qualidade das madeiras devido à redução da presença de nós (Kellison, 1981).

Desta forma, é necessário conhecer as propriedades da madeira, pois, assim é possível inferir sobre a qualidade do produto final. Dessa forma, entende-se que as características de um determinado produto estão diretamente relacionadas com a qualidade da madeira de origem (ARANTES, 2009).

3.4.1. Massa Específica

A densidade ou massa específica é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, sendo um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais propriedades desta (SHIMOYAMA, 1990). Em se tratando de madeira, a densidade pode ser absoluta, expressa em g cm^{-3} ou em kg m^{-3} (VITAL *et al.*, 1984), podendo variar de 0,13 a $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ (BURGER & RICHTER, 1991).

No gênero *Eucalyptus*, a massa específica pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore em função, principalmente, do ciclo de vida da árvore e das condições edafoclimáticas do povoamento (VITAL *et al.*, 2006). Assim, a densidade pode variar de forma indireta, ou seja, através da modificação de outras características da própria madeira em detrimento das características da espécie ou, então, da influência em que o meio ambiente em que ela se desenvolve exerce, e segundo as intervenções na silvicultura (KEINERT, 1980).

O espaçamento também influencia na densidade durante o desenvolvimento da plantação. Nos primeiros anos, antes do fechamento dos talhões, as árvores com maior espaçamento apresentaram uma maior densidade, porém, após o fechamento dos mesmos, a densidade diminui (CLARK & SAUCIER, 1989). A possível explicação para estas tendências é a de que o crescimento de árvores jovens em espaçamentos maiores sofre uma menor competição, e, portanto, produz mais fotossíntese e lenho inicial mais denso do que árvores em espaçamentos reduzidos (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000).

A massa específica é o resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Assim, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (PANSHIN & ZEEUW, 1980).

3.4.2. Poder calorífico superior

Segundo Jara (1989) e Nogueira *et al.* (2000), o poder calorífico é a quantidade de calor (energia térmica) liberado por uma substância ou volume do combustível durante a combustão completa, com excesso de oxigênio e a uma pressão e uma temperatura determinada. No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma (BRIANE & DOAT, 1985).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. É superior aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada, além do fato de o calor que é derivado desta condensação seja recuperado (BRIANE & DOAT, 1985). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

O poder calorífico superior dos biocombustíveis é uma das propriedades fundamentais e de maior interesse da biomassa, sendo influenciada pela composição química, em sua maioria pelos átomos de C, O e H (LESTANDER *et al.*, 2009). Os valores caloríficos são diretamente proporcionais ao conteúdo de carbono e inversamente proporcionais ao conteúdo de cinzas (LLORENTE & GARCIA, 2008). O conteúdo de umidade na biomassa lenhosa afeta o poder calorífico do combustível (LESTANDER & RHEN, 2005).

A lignina é o componente da madeira mais estável termicamente, quando comparada com a celulose, com as hemiceluloses e com a própria madeira. Este fato está relacionado com a estrutura química complexa e com os tipos de ligações presentes na estrutura da macromolécula lignina (SARKANEN & LUDWIG, 1971; OLIVEIRA *et al.*, 1982), fazendo com que o poder calorífico seja influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina (JARA, 1989; BURGER & RICHTER, 1991).

3.5. Modelos ecofisiológicos

A modelagem de crescimento de plantas permite agrupar de forma organizada e estruturada os processos e interações que determinam a produtividade das culturas. Em outras palavras, os modelos são ferramentas importantes para sintetizar o conhecimento científico, bem como para melhorar a compreensão sobre a ecofisiologia dos vegetais, podendo servir como instrumento para redução do tempo e do custo da experimentação de campo (SILVA *et al.*, 2013).

A modelagem pode ser entendida como a construção de uma representação matemática de sistemas biológicos, que incorporam conhecimentos sobre mecanismos fisiológicos e ecológicos por meio de algoritmos preditivos (GOMES & VARRIALE, 2004). Devido à complexidade do crescimento e desenvolvimento dos vegetais, os modelos não consideram a totalidade dos processos e variáveis envolvidas no crescimento das culturas, ou seja, eles são apenas uma simplificação da realidade, apesar de muitos apresentarem ótimos resultados (SILVA *et al.*, 2013).

Alguns modelos baseados em processos ecofisiológicos são, BIOMASS (MCMURTRIE *et al.*, 1992), CENTURY (PARTON *et al.*, 1993), PnET (ABER & FEDERER, 1992), FOREST-BCG (RUNNING & GOWER, 1991) e 3-PG (LANDSBERG & WARING, 1997), os quais têm sido idealizados para estimar a produtividade de povoamentos florestais.

3.5.1. O modelo 3-PG

O modelo de crescimento 3-PG, *Physiological Principles in Predicting Growth* (Princípios Fisiológicos de Predição do Crescimento), baseado em processos ecofisiológicos, utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade florestal em plantios monoespecíficos e equiâneos. O 3-PG prevê o desenvolvimento do cultivo, a disponibilidade de água no solo ao longo do tempo e a transpiração com uma periodicidade mensal, calculando ao mesmo tempo, variáveis de interesse para o planejamento florestal como o índice de

área foliar, a área basal, o diâmetro quadrático médio, o volume por hectare e o incremento médio anual (LANDSBERG & WARING, 1997).

O 3-PG pode ser facilmente parametrizado para que se obtenha uma estimativa realista do crescimento florestal (LANDSBERG & WARING, 1997), requerendo, relativamente, poucas variáveis de entrada para a determinação do crescimento do eucalipto (ALMEIDA *et al.*, 2004b).

A vantagem do modelo 3-PG, em relação a outros, é a de que ele incorpora submodelos que interagem de forma a abranger os processos que venham a interferir no desenvolvimento das plantas. Tais submodelos são: *produção de biomassa; distribuição de biomassa entre folhas, raízes e lenho; balanço de água no solo e planta; Alocação de biomassa entre variáveis de interesse para o crescimento florestal; e caracterização dendométrica* (Figura 1).

Essencialmente, o 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, absorvida pelo dossel vegetativo da planta (RFAA) por meio da lei de Beer, considerando que esta radiação (RFA) seja 50% da radiação solar (RS). A lei de Beer descreve o decréscimo exponencial da luz, ao percorrer verticalmente toda extensão da cobertura vegetal, por meio da equação (1); apresentada por Larcher (2000).

$$I_z = I_0 \cdot e^{-k \cdot IAF} \quad (1)$$

em que

- I_z - Intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal, ($W \cdot m^{-2}$);
- I_0 - Intensidade de radiação no topo da cobertura vegetal (RFA), ($W \cdot m^{-2}$);
- k - Coeficiente de extinção ou atenuação, adimensional;
- IAF - Área total da superfície foliar, de cima para abaixo, até a altura z , por unidade de área de solo (índice de área foliar acumulado), ($m^2 \cdot m^{-2}$).

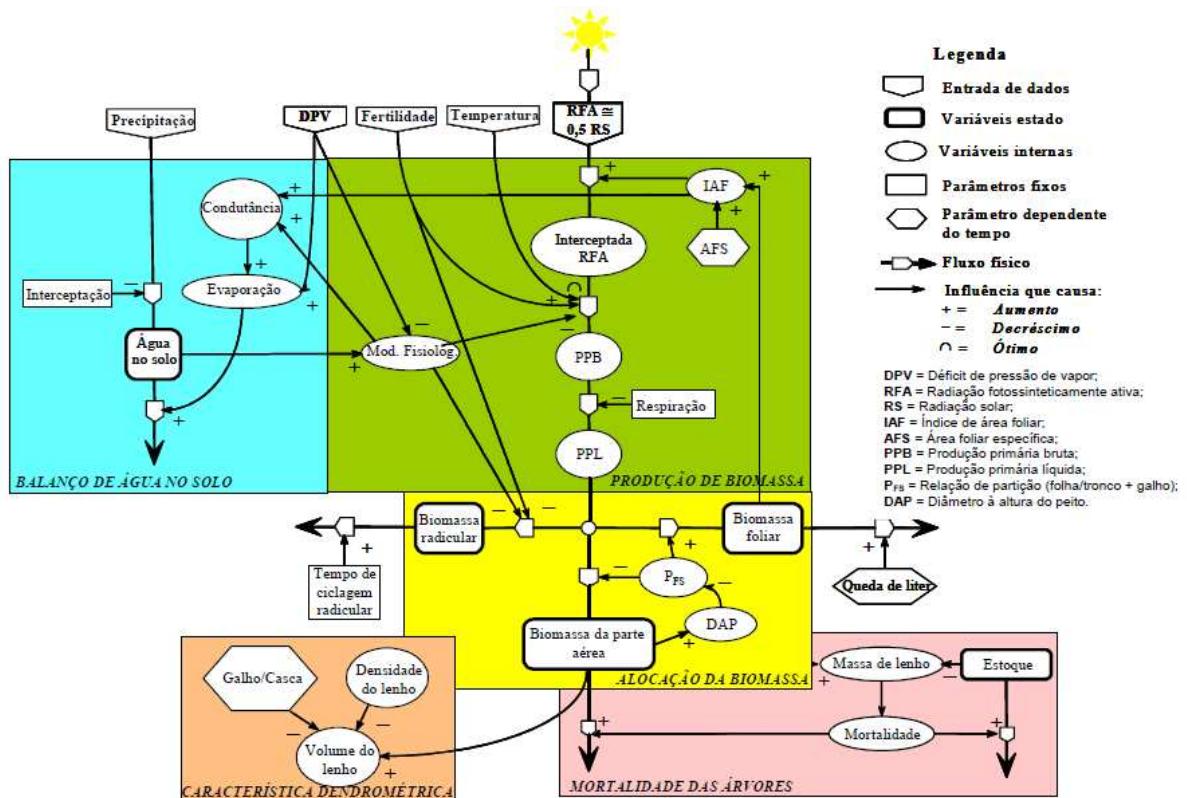


Figura 1. Representação geral do modelo 3-PG, indicando os cinco compartimentos e as respectivas variáveis e parâmetros.

Fonte: Adaptado de Silva (2006).

Os principais parâmetros de entrada para programar o modelo 3-PG são: variáveis climatológicas (médias mensais de temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar global, precipitação pluvial, déficit de pressão de vapor e número de dias de ocorrência de geadas); variáveis do solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); variáveis da planta (população de árvores, biomassa inicial de folha, lenho e raízes, e relações alométricas). A partir desses dados, o modelo estima, em intervalos de tempo, a quantidade de biomassa do fuste (tronco e galhos), folhas e raízes, diâmetro de caule, área basal do povoamento, balanço de água no solo, índice de área foliar, massa específica, volume do lenho, dentre outros.

O modelo calcula a produção primária bruta a partir da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e da eficiência quântica do dossel (α). A quantidade de radiação utilizada na biossíntese é controlada pelas condições ambientais, por meio de modificadores cujos valores variam entre 0 (condições de alta limitação) e 1 (condições sem limitação). Os modificadores (f) são

quatro: *modificador por déficit de pressão de vapor* (f_{DPV}), *modificador de temperatura* (f_T), *modificador por déficit hídrico* (f_θ) e *modificador em função da idade da árvore* (f_i).

- Modificador por déficit de pressão de vapor (f_{DPV})

O modelo 3-PG prevê um modificador para as trocas de vapor de água e CO_2 entre o sistema solo-planta e a atmosfera baseado na estimativa da condutância superficial. Entretanto, o cálculo da condutância superficial é função do déficit de pressão de vapor de água, uma vez que para climas temperados essa variável influencia grandemente as trocas de superfície. Esse modulador apresenta variação entre 0 e 1, em que 1 é a ausência de estresse e 0, o máximo possível de penalização.

- Modificador por temperatura (f_T)

O modelo considera a temperatura somente em termos de ocorrência de congelamento, assumindo que a fotossíntese é paralisada nessas condições. Nas condições subtropicais, tropicais e simulações mensais, este modulador tem menos importância, uma vez que nessas regiões as plantas são mais afetadas pelo déficit de pressão de vapor, radiação solar e umidade do solo.

- Modificador por déficit hídrico (f_θ)

$$f_\theta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - r_\theta}{C_\theta} \right)^{n_\theta}} \quad (2)$$

em que

- f_θ - Modificador por déficit hídrico, (adimensional);
- r_θ - Razão de umidade, (adimensional);
- C_θ - Parâmetro relacionado às características do solo, (adimensional);

n_0 - Parâmetro relacionado às características do solo, (adimensional).

O parâmetro r_0 é estimado utilizando a equação (3).

$$r_0 = \frac{LAA + \Delta ARM}{DTA} \quad (3)$$

em que

LAA - Lâmina atual de água no solo, (mm);

ΔARM - Variação do armazenamento de água no solo, (mm);

DTA - Disponibilidade total de água no solo, (mm).

- Modificador em função da idade da árvore (f_I)

$$f_I = \frac{1}{1 + \left(\frac{f\alpha}{0,95} \right)^{n_i}} \quad (4)$$

em que

f_I - Modificador em função da idade, (adimensional);

$f\alpha$ - Idade relativa (relação entre a idade atual e a idade máxima provável a ser atingida pela floresta), (adimensional);

n_i - Potencializador (valor arbitrário para dar a conformação adequada à relação que se deseja representar), (adimensional).

Assim, as pesquisas realizadas com o modelo 3-PG têm sido aplicadas em diferentes países: Austrália (LANDSBERG *et al.*, 2003), Nova Zelândia (WHITEHEAD *et al.*, 2002), EUA (LANDSBERG *et al.*, 2001) e África do Sul (DYE, 2004). No Brasil, o desenvolvimento do modelo tem sido avaliado em diferentes condições edafoclimáticas, sendo usado nos seguintes estados: Bahia (STAPE *et al.*, 2004); Espírito Santo (ALMEIDA *et al.*, 2004a,b; BAESSO, 2011); Minas Gerais (SILVA *et al.*, 2013; BORGES, 2009); Rio Grande do Sul (LONDERO, 2011); Centro-sul do Mato Grosso (PONTES, 2011); e Amazônia (RASCON, 2012).

4. REFERÊNCIAS

ABER, J.D.; FEDERER, C.A. **A generalised, lumped-parameter model of photosynthesis, evapotranspiration and net primary production in temperate and boreal forest ecosystems.** Springer-Verlag, Oecologia, 1992, v. 92, p. 463-474.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012. Disponível em: <www.abraflor.org.br>. Acesso em: 18 de Oct de 2013.

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J.; AMBROGI, M. S.; FONSECAS, S.; BARDDAL, S. M.; BERTOLUCCI, F. L. **Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing *Eucalyptus* plantations.** Elsevier. Forest Ecology and Management v. 193, 2004b, p. 167-177

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. **Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production.** Elsevier. Forest Ecology and Management v. 251, 2007, 10–21.

ALMEIDA, A.; LANDBERG, L.; SANDS, P. G. **Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations.** Elsevier. Forest Ecology and Management. v. 193, 2004a, p. 179-195.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla*.** Tese (Doutorado em Recursos Florestais – Tecnologia de Produtos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo: Piracicaba, SP. 2004, 133 p.

ANFODILLO, T.; RENTO, S.; CARRARO, V.; FURLANETTO, L.; URBINATI, C.; CARRER, M., *Et al.* **Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst And *Pinus cembra* L.** Paris: Annales des Sciences Forestières, 1998, v.55, p.159-172.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Lavras - Lavras MG. 2009, 137 f.

BAESSO, R. C. E. **Efeito da CO₂ na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG.** Tese (Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2011, 130 p.

BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2009, 77 p.

BRASIL – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. Brasília: MME, 2012, 19-36 p.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois.** Aix-en-Provence: ÉDISUD. 1985, 180p.

BRISOLA, S. H.; DEMARCO, D. **Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *urophylla*:** desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. Piracicaba: Sci. For., set. 2011, v. 39, n. 91, p. 317-330.

BRITO, J. O. & CINTRA, T. C. **Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demanda de ações.** Renabi Biomassa & Energia, 2004, v. 1, n. 2, p. 157-163..

BRITO, J. O. **O uso energético da madeira.** São Paulo. Estudos avançados 21, 2007. V. 59, p 185-193.

BROOKER, I. Botany of the eucalyptus. In: **Eucalyptus The genus Eucalyptus.** London. Taylor & Francis Group. ISBN 0-415-27879-1. 2002, 450p.

BUCKLEY, T. N. **The control of stomata by water balance.** Oxford: New Phytologist, 2005, v.168, n.2, p.275-292.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991, 157 p.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de Eucalyptus:** efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG. 2008, 118 f.

CARNEIRO, R. L. C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C. A. M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G. C.; NEVES, J. C. L. **Consumo de água em plantios de eucalipto:** parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. Viçosa: Revista Árvore, 2008, v.32, n.1, p.1-10.

CLARK III, A. & SAUCIER J. R. **Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile formation in southern pine.** Forest products journal. For Prod J July/Aug, 1989, v. 39, pag 42 – 48.

CNE – COMISION NACIONAL DE ENERGIA. Política Energética: Nuevos Lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad. Gobierno de Chile. Comisión nacional de energía, 2008.

DYE, P.J. **Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve *Eucalyptus* plantations stands in Zululand, South Africa.** Forest Ecology and Management, 2004, 193:197-218.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores.** Comunicações Técnicas Florestais. Brasília: UNB, 2005, 43p, v. 7, n. 1.

FORRESTER, D.I., MEDHURST, J.L., WOOD, M., **Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: an Australian perspectiva.** For. Ecol. Manage, 2010, 259, 1819–1835.

GOMES, A. F.; VARRIALE, M. C. **Modelagem de ecossistema: uma introdução.** Santa Maria: UFSM, 2004, 503 p. 2. ed.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal.** Porto Alegre: JA Editores, 2006, 127 p.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. (Comunicação Técnica, 1797). 1989.

KEINERT JR., S. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board.** Dissertação (Doctor of Philophy) - Department of Forestry, Michigan State University. Michigan, 1980.

KELLISON, R. C. **Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification.** 170 IUFRO Word Congress. Japão, 1981, pag. 77 - 87.

LANDSBERG, J. J.; JOHNSEN, K. H.; ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; MCKEAND, S. E. **Applying 3-PG, a sample process-based model designed to produce practical results, to data from loblolly pine experiments.** Science Forest, 2001, 47:43-51.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. **A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning.** Forest Ecology and Management. 1997, v. 95, p. 209-228.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H.; COOPS, N. C. **Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types.** Elsevier. Forest Ecology and Management. 2003, 172:199-214.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal.* São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LATORRACA, J. V. DE F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. DE. **Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira.** Floresta e Ambiente. Jan./dez. 2000, v. 7, n. 1, p. 279 – 291.

LESTANDER, T.A. JOHNSON, B. GROTHAGE, M. **NIR techniques create added values for the pellet and biofuel industry.** Bioresour Technol, 2009, 100 (4), pp. 1589–1594.

LESTANDER, T.A. RHEN, C. Multivariate NIR spectroscopy models for moisture, ash and calorific content in biofuels using bi-orthogonal partial least squares regression. **Analyst**, 130, pp. 1182–1189. (8) 2005.

LIMA, I. L. DE; GARCIA, J. N. **Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*.** Curitiba: **Floresta**, abr./jun. 2011, v. 41, n. 2, p. 305-312.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005, 137 p.

LLORENTE, M. J. F.; GARCIA, J. E. C. **Suitability of thermo-chemical corrections for determining gross calorific value in biomass**. *Thermochim Acta*, 2008, v. 468 (1-2), pp. 101-107.

LONDERO, E. K. **Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba**. 2011. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MAGALHÃES, J. R. A energia que vem da floresta. In: **BIOMASSA; Energia que vem dos trópicos em Minas Gerais**. 2001, p. 133-144.

MCKENDRY, P. **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. *Bioresour Technol*, 2002, v. 83 (1), pp. 37-46.

McMURTRIE, R. E.; COMINS, H. N.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; WANG, Y. P. **Modifying existing Forest growth models to take account of effects of elevated CO₂**. *Australian journal Botanic*, 1992, v. 40: 657-677.

MONTEBELLO, A. E. S.; BACHA, C. J. C. **Avaliação das pesquisas e inovações tecnológicas ocorridas na silvicultura e na produção industrial de celulose no Brasil**. Piracicaba: RESR, abr/jun 2009, vol. 47, nº 02, p. 485-517.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

OLIVEIRA, J. B. de.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R.(ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC, 1982, p.60-73.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. Ribeirão Preto: Revista Opiniões, n. 15, jun./ago. 2008. Disponível em: <www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15>. Acesso em: 30 de maio 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: 1980, 4 ed., 722p. ISBN 0-07-048441-4.

PARTON, W.J.; SCURLOCK, J.M.O.; OJIMA, D.S.; GILMANOV, T.G.; SCHOLS, R.J.; SCHIMEL, D.S.; KIRCHNER, T.; MENAUT, J.; SEASTEDT, T.; GARCIA MOYA, E.; KAMNLRUT, A.; KINYAMARIO, J.I. **Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide**. Global Biogeochem. 1993, v. 7, p. 785 – 809.

PÉREZ, S.; RENEDO, C. J.; ORTIZ, A.; MAÑANA, M. **Energy potential of waste from 10 forest species in the North os Spain (Cantabria)**. Bioresource Technology, 2008, v. 99, p. 6339–6345.

PONTES, M. S. **Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L. f.) e dos sistemas Ferti-UFV e Nutri-UFV para subsidiar o seu manejo nutricional**. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2011.

RAGLAND, K. W.; AERTS, D. J.; BAKER, A. J. **Properties of Wood for Combustion Analysis**. Bioresource Technology. USDA Forest Service. Madison, Wisconsin: **Forest Products Laboratory**, 1991, p. 161-168.

RASCON, N. J. L. **Modelagem ecofisiológica do desenvolvimento do Eucalito na Amazônia**. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2012.

REMADE. EUCALIPTO, pesquisa amplia usos. Revista da Madeira, agosto (Edição especial). 2003, 138p.

ROBERTS, S.; VERTESSY, R.; GRAYSON, R. **Transpiration from *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) forests of different age.** Forest Ecology and Management, 2001, v. 143, p. 153-161.

RUNNING, S. W.; GOWER, S. T. FOREST-BGC. **A general model of forest ecosystem processes for regional applications**, II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets. Tree Physiology, 1991, v. 9, p.147-160.

SAMPAIO, A. N. História. In: ANDRADE, E. N. **O Eucalipto.** Jundiaí, SP: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961, 47-64.

SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. **Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*.** Forest Ecology and Management, 2002, v. 163, p.273-292.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil:** identificação e controle. Embrapa: Circular Técnica. Colombo, Junho, 2001.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** Tese (Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG. 2010, 122 f.

SARKANEN, K.V. & LUDWIG, C.H. **Lignins:** occurrence, formation, structure and reation. New York: John Wiley & Sons, 1971, 916p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M.; DRESCHER, R.; SCHEEREN, L. W.; MAINARDI, G.; FLEIG, F. D. **Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste.** Santa Maria: Ciência Florestal, 1998, v.8, n.1, p. 129-140.

SCHUMACHER, M.V.; CALIL, F.N E VOGEL, H. L.M. **Apostila de silvicultura aplicada**. Santa Maria: UFSM, maio 2005.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal, parte 1**. Lavras: ESAL, FAPE, 1994, 188p.

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990, 93p.

SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2006, 116 p.

SILVA, W. C. M. da; RIBEIRO A.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. **Water balance model and eucalyptus growth simulation in the rio roce basin, Brazil**. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 35, n. 4, p. 403-412, Oct.-Dec., 2013.

SILVEIRA, R. L. V. A. Evaluation of the nutritional status of Eucalypts: visual and foliar diagnosis and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004, p. 85-111.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. **Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil**. For. Ecol. Manage, 2004, 193, 17–31.

STAPE, P. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. **Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural and**

manipulated supplies of water and nutrients. Forest ecology and Management, 2004, v. 193, p. 219-234.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A; GORINI, R. **Matriz energética brasileira Uma prospectiva.** Novos estudos, 2007, v.79, p. 47-69.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. **Efeito das variáveis ambientais no comportamento ecofisiológico de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*:** condições de campo. Piracicaba: **Sci. For.**, dez. 2011, v. 39, n. 92, p. 419-431.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** Lavras-MG: R. Cerne, 1996, v.2, n.1.

VENTURA FILHO, A. ESTUDOS E PESQUISAS Nº 444. **Hidroeletricidade e Outras Energias Renováveis: A Situação Brasileira no Contexto Internacional.** Rio de Janeiro: Fórum Nacional (Sessão Especial). 19 e 20 de setembro de 2012.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; LUCIA, R. M. D. **Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*.** Viçosa, MG: Revista Árvore, Julho-Agosto, 2006, vol.30, n. 4.

WARING, R.H., THIES, W.G., MUSCATO, D. **Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigor.** For. Sci., 1980, v. 26, p.112–117.

WHITEHEAD, D.; HALL, G.M.J.; WALCROFT, A.S.; BROWN, K.J.; LANDSBERG, J.J.; TISSUE, D.T.; TURNBULL, M.H.; GRIFFIN, K.L.; SCHUSTER, W.S.F.; CARSWELL, F.E.; TROTTER, C.M.; JAMES, I.L.

NORTON, D.A. **Analysis of the growth of rimu (*Dacrydium cupressinum*) in South Westland, New Zealand, using process-based simulation models.** *Int. J. Biometeorol*, 2002, v. 46, p. 66–75.

WHITEHEAD, D. & BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, 2004, 193: 113-140.

CAPITULO I

INFLUENCIA EDAFOCLIMÁTICA E IDADE NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de dois clones híbridos de eucalipto em áreas com distintas precipitações pluviárias na produtividade e qualidade da madeira nas idades 24, 48 e 72 meses. Este estudo comparou dois materiais genéticos, representados por clones híbridos de urograndis, sendo um menos produtivo (P-) e outro mais produtivo (P+), em três idades e duas condições edafoclimáticas. As amostras de madeira foram coletadas em duas áreas com condições edafoclimáticas distintas no extremo sul da Bahia. Em cada área foram coletadas as amostras dos dois clones em três idades distintas (24, 48 e 72 meses), tomando seis plantas por repetições. Em cada planta foram retirados discos a 0, 25, 50, 75 e 100 % de altura comercial das árvores para a determinação da Massa Específica (ME) e Poder Calorífico Superior (PCS). A ME foi determinada retirando duas cunhas amostradas diametralmente opostas de cada disco e, o PCS, foi determinado com a serragem feita com a parte inutilizada do disco. A Massa Seca (MS) por hectare foi calculada com os valores de Incremento Médio Anual (IMA) e ME, e a energia por hectare foi calculada tomando como base os valores de PCS e a MS da madeira. Os resultados mostraram que o clone P+ apresentou o maior potencial produtivo para a produção de biomassa e energia por hectare, mas o clone P- mostrou as maiores tendências de Poder Calorífico Superior e Massa Específica, verificando-se que o clone que apresenta melhores condições produtivas, nem sempre é o mesmo que apresenta as melhores características da madeira para ser usada como energia. Por outro lado, a área leste apesar de apresentar a maior disponibilidade hídrica ao longo do ano, a maior produtividade de biomassa e energia por hectare foi mostrada na área com maior restrição hídrica. De igual forma, os maiores valores de Massa Específica foram verificados na mesma área. Assim, para obter uma maior produtividade e qualidade da madeira é mais importante a seleção do material genético que a

localização da área, mas sem desmerecer a influencia das condições edafoclimáticas sobre o potencial genético de cada material.

CHAPTER I

EDAPHOCLIMATIC INFLUENCES AND AGE IN PROPERTIES OF EUCALYPTUS WOOD ENERGY FOR PURPOSES

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the behavior of two eucalypt clones in areas with different rainfall on productivity and quality of wood at ages 24, 48 and 72 months. This study compared two genetic materials, represented by hybrid clones *urograndis*, being one less productive (P-) and other more productive (P+), in three ages and two environmental conditions. The wood samples were collected from two areas with different climatic conditions in the south of Bahia. In each area were the samples collected from two clones in three different ages (24, 48, and 72 months), taking six plants per repetition. In each plant were discs removed at 0, 25, 50, 75 and 100% commercial tree height to determine the Specific Mass (ME) and Power Calorific Value (PCS). The ME was determined by removing the two sampled wedges diametrically opposite of each disk, and the PCS was determined with sawdust taken with the unused part of the disk. The Dry Mass (MS) per hectare was calculated with the values of Mean Annual Increment (IMA) and ME, and energy per hectare was calculated on the basis of the values of PCS and MS of wood. The results showed that the clone P+ showing the highest potential for biomass production and energy per hectare, but the clone P- showed the biggest trends of gross calorific value and density, verifying that the clone that features the best production conditions is not always the same as that gives the best characteristics of wood to be used as energy. On the other hand, the area east despite having the highest water availability throughout the year, the highest biomass productivity and energy per hectare was shown in the area with higher water restriction. So for achieve higher productivity and wood quality is more important to the selection of genetic material than the location of the area, but without disparaging the influence of environmental conditions about the genetic potential of each material.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a madeira de eucalipto é utilizada para fins como lenha para cozimento de alimentos, fabricação de carvão vegetal, compensados para móveis, polpa para celulose e papel, extração do princípio ativo para essências, entre outros. Cada uma dessas transformações deve estar acompanhada de uma análise das qualidades e homogeneidades das propriedades físicas e químicas da madeira para que se tenha um maior aproveitamento como matéria prima. Como exemplo, pode-se observar que madeiras com maior poder calorífico, densidade e conteúdo de lignina são preferíveis para produção de energia.

Por outro lado, as propriedades físicas e químicas variam entre espécies, entre plantas da mesma espécie, em função da idade, de fatores externos (edáfico-ambiente), internos (genético), entre outros. Assim, estudos que avaliem a influência das condições climáticas sobre os materiais genéticos são importantes para que possa avaliar qual desses fatores tem maior influencia na produtividade e qualidade das propriedades da madeira.

Portanto, as florestas plantadas com eucalipto, tornam-se uma alternativa viável para estudo e exploração, devido a seu acúmulo de biomassa em menor tempo, adaptabilidade a distintas condições edafoclimáticas, fácil manipulação e controle em campo, auxiliando assim, na minimização da heterogeneidade das qualidades da madeira em distintas condições de campo.

Observa-se que existe uma escassez de trabalhos que abordam a influência de áreas com distintas condições climáticas como precipitações pluviais na produtividade e qualidade das propriedades físicas de clones híbridos de eucalipto. Deste modo, este trabalho visa estudar a influência e as possibilidades de controle das propriedades físicas e químicas por meio das condições edafoclimáticas.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento de dois clones híbridos de eucalipto em áreas com distintas precipitações pluviárias na produtividade e qualidade da madeira nas idades 24, 48 e 72 meses.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar o Poder Calorífico Superior e a Massa Específica da madeira.
- Ver o efeito do sitio na produtividade e propriedades físicas dos clones híbridos.
- Ver o efeito da idade na produtividade e propriedades físicas da madeira.
- Ver qual é a melhor área na produtividade e propriedades físicas da madeira.
- Ver qual é o melhor clone na produtividade e propriedades físicas da madeira.
- Determinar a produção de massa seca e energia por hectare.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O projeto foi desenvolvido em duas áreas com condições edafoclimáticas distintas, situadas no extremo Sul do estado da Bahia, Brasil, pertencentes à empresa Veracel. Em cada área foram escolhidos três sítios, nos quais foram coletadas as amostras das árvores. A área 1, chamada de Oeste (AO), está localizada nos municípios de Itagimirim e Guaratinga. A área 2, chamada de Leste (AL) está localizada nos municípios de Belmonte e Santa Cruz Cabrália (Figura 2 e Quadro 1).

Os municípios de Itagimirim e de Guaratinga têm uma temperatura média anual de 23 e 21,9 °C, e uma precipitação total anual de 1.111 e 1.238 mm, respectivamente. No caso dos municípios de Belmonte e Santa Cruz Cabrália, a temperatura média mensal é de 24 °C, e uma precipitação total anual variando entre 1.683 e 1.407 mm (INMET, 2013) (Quadro 1).

As condições de temperatura máxima e mínima, amplitude térmica, umidade relativa e precipitação mensal de cada área correspondente aos seis anos de estudo (JAN/2007 a DEZ/2012) estão descritas nas Figuras 3 e 4.

Os tipos de solos na área oeste variam de médio argiloso a muito argiloso, e seu relevo vai de plano a ondulado. No caso da área leste, o tipo de solo varia de muito argiloso a médio arenoso, e o relevo é de plano a suave ondulado (Quadro 2).

Quadro 1. Dados médios de temperatura e precipitação pluvial das áreas e municípios de estudo com a respectiva localização geográfica.

Área	Municípios	Temperatura Média (C°)	Precipitação (mm)	Sítio	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Oeste	Itagimirim	23	1.111	OL1	-16,079	-39,778	240
	Guaratinga	21,9	1.238	OL2	-16,2106	-39,838	290-390
				OL3	-16,3603	-39,8228	240-300
Leste	Belmonte	24,3	1.683	LL1	-15,9823	-39,0583	50
				LL2	-16,0705	-39,2382	80
	Santa Cruz Cabralia	24,9	1.407	LL3	-16,1246	-39,1829	90

Os valores de latitude, longitude e altitude de cada área são dos pontos médios onde foram coletadas as amostras.

Quadro 2. Características do solo de cada localidade onde foram coletadas as amostras.

Área	Sítio	*Fertilidade		Tipo de solo	Textura	Relevo
		0 a 20	20 a 40			
Oeste	OL1	1,82	1,19	Cambissolo háplico	Média/ argilosa	Ondulado
				Latossolo amarelo	Média/argilosa	Plano
	OL2	11,26	9,08	Latossolo amarelo	Argilosa/muito argilosa	Plano
				Cambissolo háplico	Argilosa ou muito argilosa cascalhenta	Ondulado
	OL3	42,82	21,86	Latossolo amarelo	Argilosa/muito argilosa	Plano
				Latossolo amarelo	Média/argilosa ou muito argilosa	Ondulado
Leste	LL1	8,22	2,89	Argissolo amarelo	Média/argilosa ou muito argilosa	Suave ondulado
				Espodossolo ferrocárbico	Arenosa/média	Plano
	LL2	1,66	1,32	Argissolo amarelo	Arenosa/média/argilosa	Plano
				Argissolo amarelo	Média/argilosa ou muito argilosa	Suave ondulado
	LL3	2,1	1,1	Argissolo amarelo	Arenosa/média/argilosa	Plano
				Argissolo amarelo	Média/argilosa ou muito argilosa	Plano

*A fertilidade está na escala de 0 a 100 % nas profundidades no solo de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm.

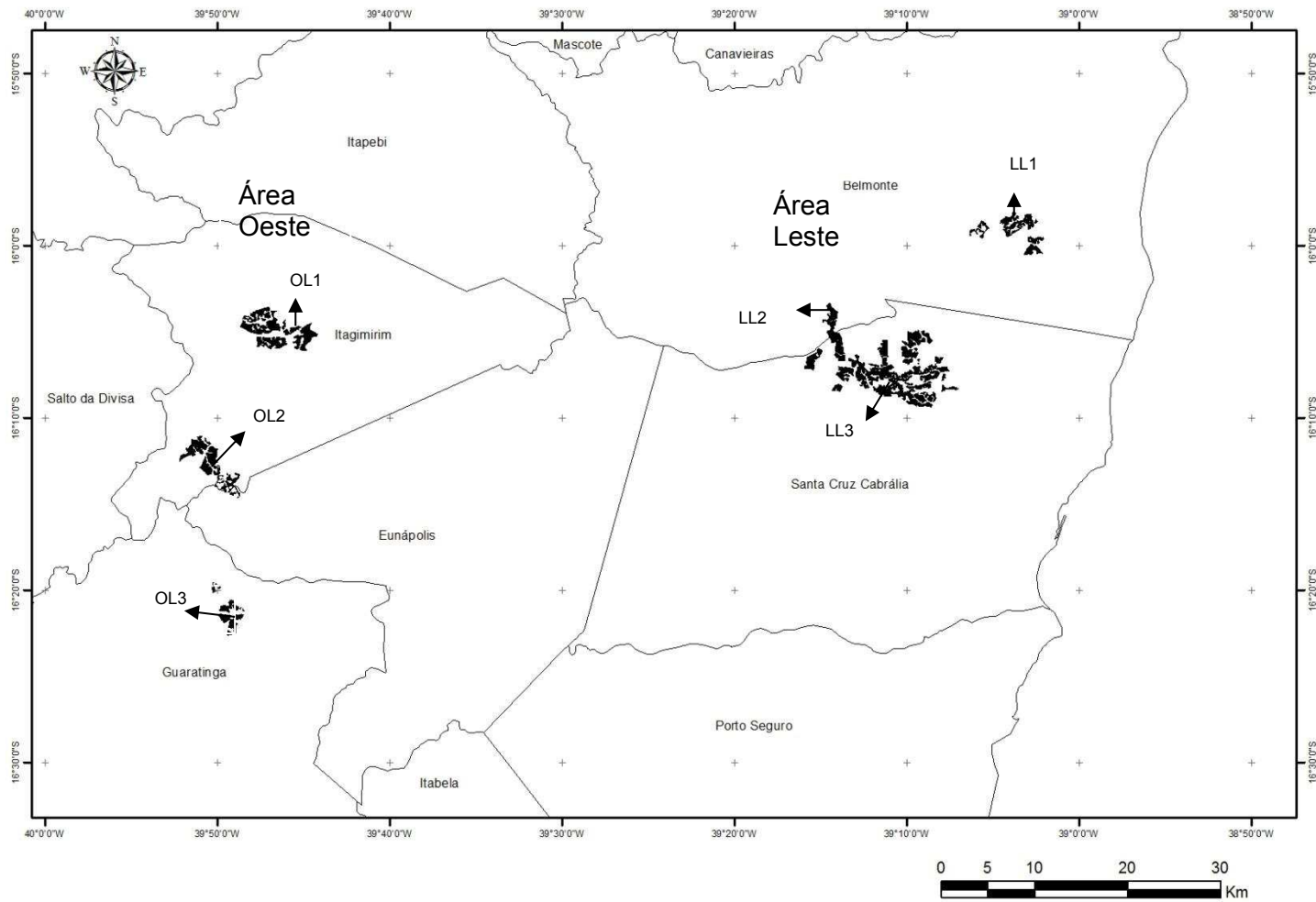


Figura 2. Localização das duas áreas de estudo com seus respectivos sítios de coleta de amostras e municípios.

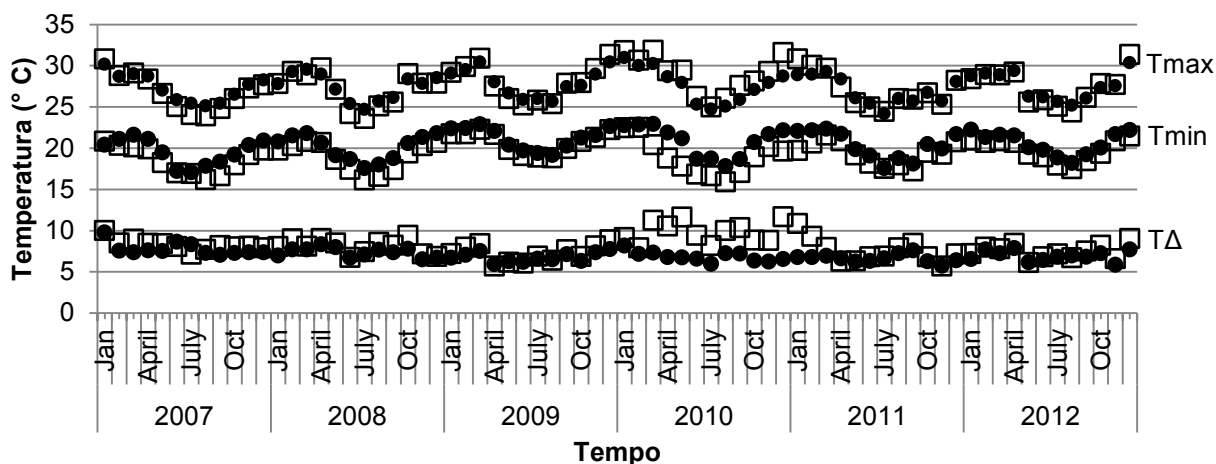


Figura 3. Temperatura Máxima (Tmax) e Mínima (Tmin) e Amplitude Térmica (TΔ) média mensal correspondente aos anos de estudo do eucalipto nas áreas oeste (quadrado) e leste (pontos).

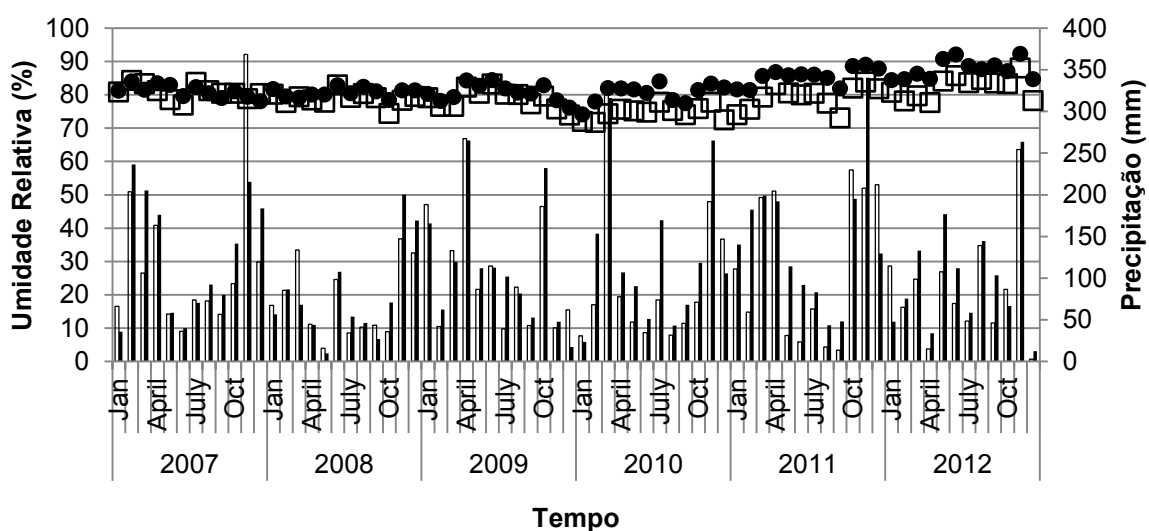


Figura 4. Séries temporárias de Precipitação pluvial mensal (barras) e Umidade Relativa média mensal correspondente aos seis anos de estudo das áreas oeste (quadrados e barras brancas) e leste (pontos e barras pretas).

3.2. Material

Para a realização deste estudo foram selecionadas duas áreas com condições edafoclimáticas distintas, localizadas no extremo sul da Bahia. Esta

região foi escolhida porque é o lugar onde se apresentam as maiores áreas por sitio de eucalipto do mundo (produtividade) e porque em pequenas distâncias espaciais se apresentam variações de precipitação muito distantes (de 1.000 a 1.800 mm por 100 quilômetros).

Em cada uma das áreas escolhidas (oeste e leste do extremo sul da Bahia) foram utilizados dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (urograndis) nas idades de 24, 48 e 72 meses, pertencentes à empresa VERACEL. Foram selecionadas seis árvores de diâmetro médio para cada área, clone e idade, totalizando 72 árvores amostrais (Quadro 3). A seleção foi feita conforme a distribuição e tamanho dos talhões e as parcelas medidas em campo dentro dos parâmetros da empresa, e excluindo árvores que apresentavam defeitos visuais e aqueles que estavam nas bordas.

Os plantios de eucalipto onde foram coletadas as amostras estavam a um espaçamento de 4 x 3 m, totalizando 833 plantas por hectare. Essa densidade de plantas é menor se comparada com as densidades das florestas energéticas, devido a que o estudo foi desenvolvido em florestas com finalidades de exploração de celulose e papel.

Cada árvore foi derrubada com motosserra, aproximadamente a 10 cm do solo. A seguir, foram retirados cinco discos amostras correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial do tronco, considerando-se até um diâmetro mínimo de seis cm (Figura 5).

Quadro 3. Delineamento experimental.

Tratamento	Área	Clone	Idade (meses)
1	Oeste	P-	24
2	Oeste	P-	48
3	Oeste	P-	72
4	Oeste	P+	24
5	Oeste	P+	48
6	Oeste	P+	72
7	Leste	P-	24
8	Leste	P-	48
9	Leste	P-	72
10	Leste	P+	24

11	Leste	P+	48
12	Leste	P+	72

Em cada disco amostra, foram retiradas duas cunhas opostas, utilizadas para a determinação da Massa Específica (ME) da madeira, nomeadas de cunha A e B (Figura 6). O restante do disco foi seccionado para a determinação de Poder Calorífico Superior (PCS). Essas análises foram feitas no laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal, LAPEM, da Universidade Federal de Viçosa.

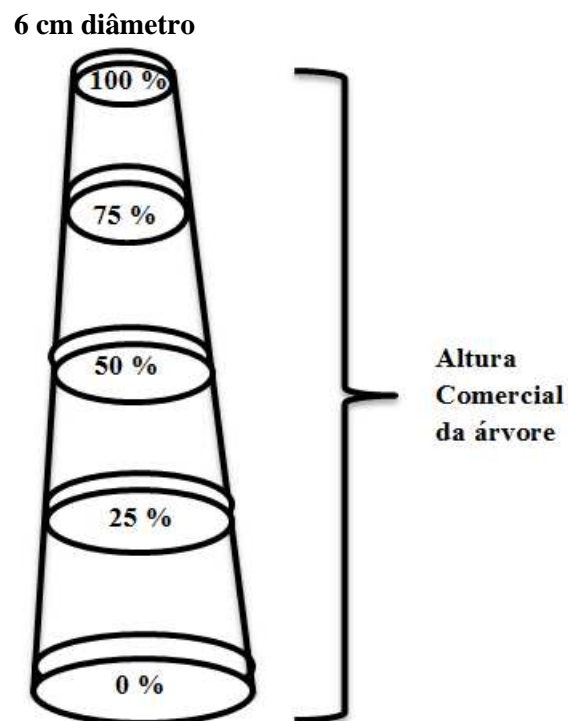


Figura 5. Esquema da forma de amostragem dos discos ao longo de cada árvore.

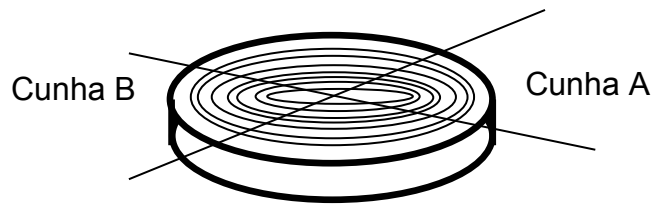


Figura 6. Esquema de amostragem das cunhas para determinação da Massa Específica com a respetiva identificação, e, detalhe da amostra restante para a determinação do Poder Calorífico Superior.

3.2.1. Incremento Médio Anual

O valor de Incremento Médio Anual (IMA) foi obtido para cada área, clone e idade a partir dos dados de inventario florestal da empresa. Foi determinada pela divisão do volume da árvore pela idade a partir do tempo zero, conforme Equação 2.

$$IMA = \frac{\text{volume_da_árvore}}{\text{idade}} \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

3.2.2. Determinação da Massa Específica

A Massa Específica (ME) da madeira foi determinada de acordo com o método de imersão em água, proposto por Vital (1984), usando as cunhas obtidas na separação de cada disco amostra (Figuras 6 e 7). O método consiste basicamente em saturar as cunhas de água para a determinação do volume deslocado em um Baker com água. Posteriormente, as mesmas são secadas em uma estufa a $\pm 100-105 \text{ C}^\circ$ por 48 horas, para, em seguida, serem pesadas a fim de calcular a ME com a relação massa/volume. Os valores foram calculados com a média ponderada das massas específicas das respectivas amostras, conforme Trugilho (2009).

3.2.3. Massa Seca da Madeira

A determinação da Massa Seca da Madeira (MS) produzida em um ano e em um hectare de eucalipto foi obtida multiplicando o IMA da madeira pela Massa Específica da mesma, conforme a Equação 3.

$$MS = (IMA).(ME) \quad (3)$$

em que*

- MS* - Quantidade de massa seca da madeira (kg ha^{-1});
- IMA* - Incremento médio anual da madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
- ME* - Massa específica da madeira (kg m^3).

3.2.4. Poder Calorífico Superior

A metodologia para a determinação do Poder Calorífico Superior foi baseada na norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300.

Para a análise foi utilizada a fração serragem da madeira que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante.

3.2.5. Estimativa da Energia

A análise do potencial energético da biomassa de eucalipto foi estimada em função da quantidade de MS e do PCS quantificado em cada tratamento.

Para o cálculo do potencial energético da biomassa de eucalipto por hectare, expressa em kcal, utilizou-se a Equação 7.

$$E = (MS).(PCS) \quad (4)$$

em que*

<i>E</i>	- Quantidade de energia da biomassa (kcal ha ⁻¹);
<i>MS</i>	- Quantidade de massa seca da madeira (kg ha ⁻¹);
<i>PCS</i>	- Poder calorífico superior da madeira (kcal ha ⁻¹).

*Nota: 1cal = 4,184J ; 1kWh = 860,42065kcal

3.2.6. Delineamento experimental

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial de 2 x 2 x 3, com seis repetições, totalizando 72 plantas, com interações entre os fatores clone-área-idade.

A análise estatística foi interpretada com auxílio da análise de variância (ANOVA), a nível 5 % de probabilidade. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de significância com a ajuda do software Statistic 7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Incremento Médio Anual

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação clone-área-idade utilizado no estudo (Anexo 1).

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) para cada área, clone e idade são apresentados na Figura 7.

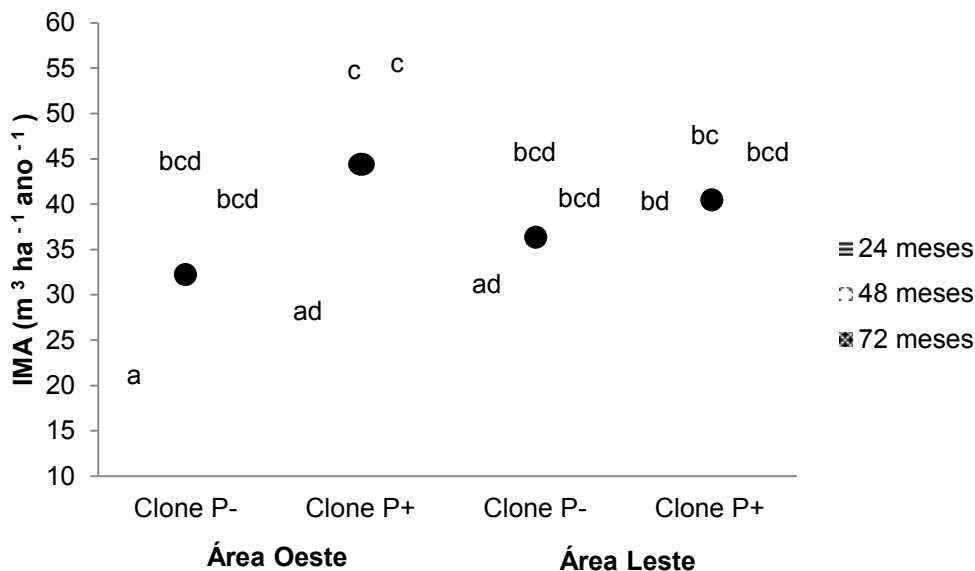


Figura 7. Incremento médio anual da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. Os pontos pretos correspondem à média das três idades para cada clone.

Médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste Tukey.

Analisando-se o IMA em função das áreas, observa-se que não há diferenças significativas entre elas. Entretanto, na área oeste (AO), para os dois clones nas idades de 24 e 48 meses, os valores do IMA apresentaram resultados muito distantes, sendo muito baixo aos 24 meses e muito alto aos 48 meses, fato que corresponde a diferenças altamente significativas entre essas idades. Caso contrário aconteceu na área leste (AL), no qual a

proporção de variação entre essas duas idades foi menor, sem apresentar diferenças significativas entre elas (Figura 7). Esse comportamento pode ser devido às diferenças de precipitação pluvial das duas áreas (Figura 3), em que, maiores precipitações no princípio do período vegetativo, conforme observado, estimulam a formação da biomassa inicial em maior proporção (WIMMER & DOWNES, 2003; OLIVAR *et al.*, 2013).

Na Figura 7, observa-se que os clones P- e P+ não mostraram diferenças significativas entre as idades 48 e 72 meses, mas pode-se notar uma leve tendência de superioridade do clone P+ nas duas áreas. Essa superioridade do clone P+ pode ser devido às condições genéticas do material, em que, para as condições edafoclimáticas de estudo mostrou um maior potencial produtivo.

O IMA na idade de 72 meses não apresentou diferenças significativas entre os clones e as áreas, mas o clone P+ na área AO foi quem mostrou as maiores tendências em comparação com os outros tratamentos. Baesso *et al.* (2010) encontraram em plantações de eucalipto aos 7 anos de idade, localizadas no norte de Espírito Santo e sul de Bahia, um IMA que variou entre 23 e 42 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, com valores inferiores aos encontrados neste estudo (Figura 7).

4.1.1. Efeito da idade e da área no Incremento Médio Anual

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–área utilizado no estudo (Anexo 2).

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) em função da idade e da área são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da idade e da área ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Idade (meses)	Área	
	Oeste (AO)	Leste (AL)
24	22,07 Aa	31,23 Ba
48	47,54 Ab	43,52 Ab
72	45,00 Ab	40,71 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as áreas e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 4 pode-se observar que só na idade de 24 meses se apresentou diferença significativa entre as duas áreas de estudo, sendo o maior valor para a área com maior precipitação pluvial (AL). Este comportamento se relaciona ao dito por Wimmer & Downes (2003) e Olivar *et al.* (2013), em que, nas primeiras etapas de desenvolvimento das plantas de eucalipto com altas precipitações pluviais apresentam crescimento acelerado.

Por outro lado, para ambas às áreas, na idade de 48 e 72 meses não se apresentaram diferenças significativas, sendo os maiores valores de Incremento Médio Anual na área com menores valores de precipitação pluvial, o que pode ser devido as melhores condições de solo e a melhor distribuição das chuvas ao longo do ano na área oeste (Quadro 2 e 4).

Do mesmo modo, para as idades de 48 e 72 meses não se apresentaram diferenças significativas, sendo isso devido à estabilidade na curva de crescimento nessas idades, o que se relaciona as atividades recentes da empresa, em que, as colheitas da madeira estão sendo feitas em média aos 60 meses de idade (Quadro 4).

4.1.2. Efeito da idade e do clone no Incremento Médio Anual

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–clone utilizado no estudo (Anexo 3).

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) em função da idade e do clone são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da idade e do clone ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Idade (meses)	Clone	
	P-	P+
24	24,84 Aa	30,28 Aa
48	42,33 Ab	48,73 Bb
72	37,98 Ab	47,73 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 5 pode-se observar que na idade de 24 meses não se apresentaram diferenças significativas entre os dois clones de estudo, mas na idade de 48 e 72 meses, sim se apresentaram diferenças significativas entre os clones (P- e P+), sendo em todas as idades os maiores valores para o clone P+.

No Quadro 4 e 5 observa-se que a variável Incremento Médio Anual é mais dominada pelo fator clone que pelo fator área, já que existe diferença significativa entre os clones e não entre as áreas nas idades de 48 e 72 meses.

Ao igual que no Quadro 4, no Quadro 5, se pode observar que a estabilidade do crescimento está entre as idades de 48 e 72 meses, o que corrobora as colheitas feitas pela empresa aos 60 meses de idade.

4.1.3. Efeito da área e do clone no Incremento Médio Anual

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação área–clone nas três idades de estudo (Anexo 4.1, 4.2 e 4.3).

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) em função das áreas e dos clones na idade de 24 meses são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 24 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	18,08 Aa	25,06 Aa
Leste (AL)	28,22 Ab	37,24 Ba

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 6 pode-se observar um aumento dos valores de IMA ao passar da área oeste (AO) para a área leste (AL) e ao passar do clone P- para o clone P+. Assim, se corrobora que existe uma influencia das precipitações pluviais no maior acumulo de biomassa para ambos os clones na idade de 24 meses, sendo em maior proporção, para o clone com maior potencial produtivo (P+). No mesmo quadro, também se pode observar que não há diferenças significativas entre os clones na área oeste e sim entre a área AL. De igual forma, não se apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas para o clone P+ e sim entre o clone P-.

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) em função das áreas e dos clones na idade de 48 meses são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 48 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	41,84 Aa	51,81 Ba
Leste (AL)	42,81 Aa	44,62 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 7 pode-se observar que os valores de IMA do clone P- aumentaram ao passar da área com menor precipitação pluvial (AL) para a área com maior precipitação pluvial (AO), mas sem apresentar diferenças significativas entre os mesmos.

Por outro lado, o clone P+, ao passar da área oeste para à área leste, apresentou uma diminuição dos valores de IMA sem apresentar diferenças significativas. O anterior, poder ter acontecido devido às melhores condições de solo, em textura e fertilidade, da área oeste (Quadro 2), sendo mais favoráveis para o clone P+, devido, a uma possível resistência e adaptação as condições de solo da área oeste, podendo assim, mostrar o potencial produtivo nessa área a partir da idade de 48 meses (Quadro 7).

Os valores de IMA do Quadro 7 aumentaram ao passar do clone menos produtivo para o mais produtivo, sendo com diferenças significativas para a área AO e sem diferenças significativas para a área AL.

Os valores médios de Incremento Médio Anual (IMA) em função das áreas e dos clones na idade de 72 meses são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Valores médios de Incremento Médio Anual em função da área e do clone na idade de 72 meses ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	37,65 Aa	52,35 Ba
Leste (AL)	38,30 Ab	43,11 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

De igual forma que no Quadro 7, no Quadro 8, pode-se observar o aumento dos valores de IMA ao passar do clone P- para o clone P+ em ambas as áreas. Mostrando uma vez mais a dominância da variável clone sobre a variável área. Por outro lado os valores de IMA dos dois clones apresentaram diferenças significativas entre as áreas.

No clone P-, os maiores valores de Incremento Médio Anual (IMA), nas três idades, foram encontrados na área com maior precipitação pluvial (AL), e os menores valores na área com menor precipitação pluvial (AO) (Quadros 6, 7 e 8). Souza *et al.* (2006) correlacionando séries históricas de inventário florestal com dados edafoclimáticas verificaram existir um aumento do periódico mensal

de biomassa em média de $0,44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para cada 100mm na chuva na estação úmida.

O clone P+ mostrou maiores valores de IMA nas idades de 48 e 72 meses na área oeste, em que, as médias de precipitação são inferiores as da área leste (Quadro 1), mas a distribuição das chuvas é mais homogênea (Figura 4) e as condições de solo (Quadro 2) são melhores, contribuindo assim, a um melhor desenvolvimento e crescimento do clone P+ na área AO.

4.2. Massa Específica da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação clone-área-idade utilizado no estudo (Anexo 5).

Na Figura 8 estão apresentados os valores médios da Massa Específica (ME) da madeira de eucalipto para cada área, clone e idade.

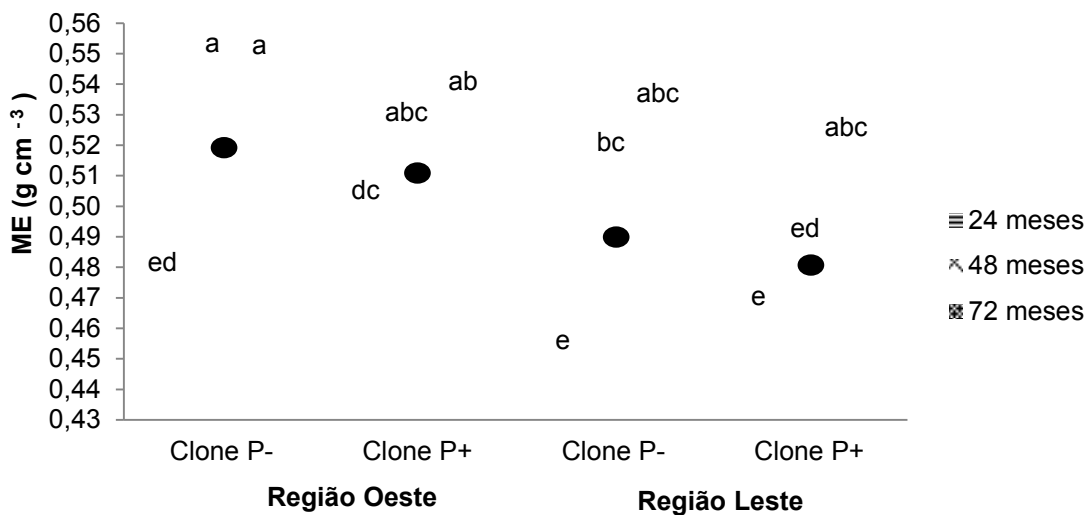


Figura 8. Massa Específica da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto corresponde à média das três idades para cada clone.

Médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste Tukey.

O comportamento da ME foi semelhante ao encontrado em vários trabalhos (FERREIRA, 1972; FERREIRA *et al.*, 1978; FERREIRA & KAGEYAMA, 1978; TRUGILHO *et al.*, 1996; CASTRO, 2011), em que, a ME aumenta com o acréscimo da idade. A ME da madeira tende a aumentar com a idade devido à ampliação da espessura da parede celular e diminuição do lume das células, ou seja, à medida que diminui a proporção de madeira juvenil no tronco da árvore aumenta a sua densidade (FERREIRA & KAGEYAMA, 1978).

Os maiores valores de ME foi verificada na área oeste (AO) para os dois clones e três idades (Figura 8). Embora a área AO mostre os maiores valores de ME, não se apresentaram diferenças significativas entre as áreas na idade de 72 meses. Esse comportamento pode ser devido a menor disponibilidade hídrica na área oeste ao longo do ciclo.

As precipitações pluviiais anuais das áreas estudadas são superiores na área leste (AL) que na área oeste (AO) nos seis (06) anos de estudo, sendo no ano 2007 superior em 117 mm, no ano 2008 superior em 62 mm, no ano 2009, 2010, 2011 e 2012 superior em 77, 365, 390 e 179 mm, respectivamente (Figura 4). Estes eventos climáticos também contribuíram na influência dos menores valores de Massa Específica da área AL. Distintos autores (GILMORE, 1968; WIMMER & DOWNES, 2003; OLIVAR *et al.*, 2013) verificaram a relação negativa entre ME e precipitações, afetando positivamente a produção da madeira, mas negativamente na densidade.

Trovati & Ferraz (1984), encontraram que a ME máxima dos lenhos é superior quando as condições ambientais são entre verão-outono, e que, a precipitação pluvial de fevereiro e as temperaturas de dezembro e abril são os fatores mais limitantes, permitindo inferir que um suprimento de água não favorável e temperaturas elevadas, no final do verão e no início do outono, induzem a formação de lenho de baixa densidade.

Distintos autores (THOMASA *et al.*, 2004; BOURIAUD *et al.* 2005) encontraram uma relação positiva entre o aumento da temperatura com o aumento da ME, uma vez que exerce um efeito negativo no crescimento. Neste caso, pode-se observar que a área em média, com maior temperatura foi à AL (Quadro 1), mas foi a área que apresentou os menores valores de Massa Específica (Figura 8). Assim, pode-se observar que o fator precipitação pluvial

é mais dominante que o fator temperatura para obter maiores valores de Massa Específica, já que os menores valores de precipitação pluvial estão na área com os maiores valores de ME.

Fernandes *et al.* (2011), analisando a influência de sitio na ME para 15 clones híbridos de eucalipto com idades de sete anos no sul da Bahia verificaram valores variando em média entre 0,51 e 0,48 g cm⁻³, para as regiões oeste e norte respectivamente e, entre 0,48 e 0,46 g cm⁻³, para as regiões centro e sul respectivamente. Os mesmos autores encontraram resultados semelhantes às deste trabalho, em que se verifica a relação inversa entre IMA e ME. De modo geral, o clone que mostrou maiores valores de ME mostrou menores valores de IMA, corroborando o dito por Ferreira *et al.* (1978), que concluem que as populações com incrementos menores produzem madeiras com maior densidade básica média.

Frederico (2009) estudou a ME aos três anos de idade para clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, em função das diferentes condições edafoclimáticas. O estudo comparou plantios desses clones nas regiões de Guanhães, Ipaba e Santa Bárbara em Minas Gerais, não sendo verificada diferença significativa (5 % de significância pelo teste Tukey) em dois dos clones.

4.2.1. Efeito da idade e da área na Massa Específica da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–área utilizado no estudo (Anexo 6).

Os valores médios da Massa Específica (ME) em função da idade e da área são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9. Valores médios da Massa Específica em função da idade e da área (g cm^{-3}).

Idade (meses)	Área	
	Oeste (AO)	Leste (AL)
24	0,485 Aa	0,453 Ba
48	0,532 Ab	0,489 Bb
72	0,538 Ab	0,521 Bc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as áreas e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 9 pode-se observar que existem diferenças significativas entre a área oeste e leste em todas as três idades de estudo, sendo os maiores valores de ME para a área onde mais se apresentam precipitações pluviais (oeste) ao longo do ano. Assim, se corrobora a influência negativa entre a precipitação pluvial e a Massa Específica.

Na área leste se apresentaram diferenças significativas em todas as três idades de estudo, mostrando, como previsto, o aumento proporcional da Massa Específica com o aumento da idade (Quadro 9).

A área oeste, não apresentou diferença significativa entre as idades 48 e 72 meses, mas sim entre a idade de 24 meses. Nesta área, pode-se observar a existência da estabilidade da ME entre as idades 48 e 72 meses, já que o aumento da Massa Específica entre essas idades é mínimo, sem apresentar diferenças significativas (Quadro 9).

A influência do sitio do plantio na ME pode ser observada na Figura 9 e Quadro 9, em que se demonstra haver maior tendência para produção de madeiras mais densas na área AO que na AL.

4.2.2. Efeito da idade e do clone na Massa Específica da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–clone utilizado no estudo (Anexo 7).

Os valores médios de ME em função da idade e do clone são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10. Valores médios da Massa Específica em função da idade e do clone (g cm^{-3}).

Idade (meses)	Clone	
	P-	P+
24	0,460 Aa	0,478 Ba
48	0,527 Ab	0,494 Ba
72	0,535 Ab	0,524 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Os maiores valores da Massa Específica nas idades de 48 e 72 meses, foram mostrados pelo clone P-, em que, nas mesmas idades, não se apresentaram diferenças significativas, mas sim com a idade de 24 meses (Quadro 10). Assim, pode-se observar que existe a relação inversa entre o Incremento Médio Anual e a Massa Específica, já que, os menores valores de IMA correspondem a maiores valores de ME, corroborando-se ao encontrado por vários autores (FERREIRA *et al.*, 1978; FERNANDES *et al.*, 2011).

Na idade de 24 e 48 meses, se pode observar que existe diferença significativa entre o clone P- e o clone P+, mas na idade de 72 meses não existe diferença significativa. O anterior mostra que apesar de que o clone P+, nas primeiras etapas de crescimento mantém uma ME menor com diferença estatística à do clone P-, na idade de 72 meses, não apresenta diferença significativa, o que torna o clone P+ em um material genético com muito potencial para uso cotidiano pela empresa, já que apresenta os maiores valores de IMA e na idade de 72 meses não apresenta diferença estatística com o clone que mostra os maiores valores de ME (Quadro 10).

4.2.3. Efeito da área e do clone da Massa Específica da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação área–clone nas três idades de estudo (Anexo 8.1, 8.2 e 8.3).

Os valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 24 meses são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 24 meses (g cm^{-3}).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	0,473 Aa	0,497 Ba
Leste (AL)	0,447 Ab	0,460 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 11 pode-se observar que existe um aumento dos valores de Massa Específica ao passar da área com maior disponibilidade hídrica (AL) para a área com menor disponibilidade hídrica (AO) existindo diferença estatística entre ambas as áreas, encontrando novamente, a relação inversa entre precipitação e ME.

De igual forma, os valores de ME aumentam ao passar do clone P- para o clone P+, e, só com diferença estática na área oeste. Os maiores valores da Massa Específica do clone P+ na idade de 24 meses, pode ter sido pela superioridade dos valores de IMA (Figura 7, Quadros 6), devido a que à medida que diminui a proporção de madeira juvenil na árvore aumenta a massa específica (FERREIRA & KAGEYAMA, 1978).

Os valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 48 meses são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 48 meses (g cm^{-3}).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	0,543 Aa	0,520 Aa
Leste (AL)	0,510 Ab	0,469 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 12, observa-se como aumentam os valores da Massa Específica ao passar do clone P+ para o clone P- em ambas as áreas, apresentando diferença estatística só na área leste. Do mesmo modo, a ME

aumenta ao passar da área AL para a área AO apresentando diferenças estatísticas em ambos os clones. Assim mostra-se novamente a relação inversa entre precipitação e Massa Específica, e, por tanto, a relação inversa entre IMA e ME.

Os valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 72 meses são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13. Valores médios da Massa Específica em função da área e do clone na idade de 72 meses (g cm^{-3}).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	0,543 Aa	0,532 Aa
Leste (AL)	0,527 Aa	0,516 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

De igual forma que nos Quadros 11 e 12, no Quadro 13, pode-se observar que existe um aumento nos valores da ME ao passar da área leste para a área oeste e ao passar do clone P- para o clone P+, mas na idade de 72 não se apresentaram diferenças estatísticas a 5 % de significância para as áreas e os clones de estudo.

Portanto, os resultados mostram que, o clone P- apesar de mostrar os maiores valores de Massa Específica, não apresentou diferença estatística com o clone P+ na idade de 72 meses. Assim, o clone P+ é considerado com maior potencial produtivo, já que o menor valor de ME é compensado com os altos valores de IMA na área oeste, sendo a colheita na idade de 72 meses.

4.3. Massa Seca da madeira de eucalipto

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação clone-área-idade utilizado no estudo (Anexo 9).

Os valores médios da Massa Seca (MS) da madeira de eucalipto para cada área, clone e idade estão apresentados na Figura 9.

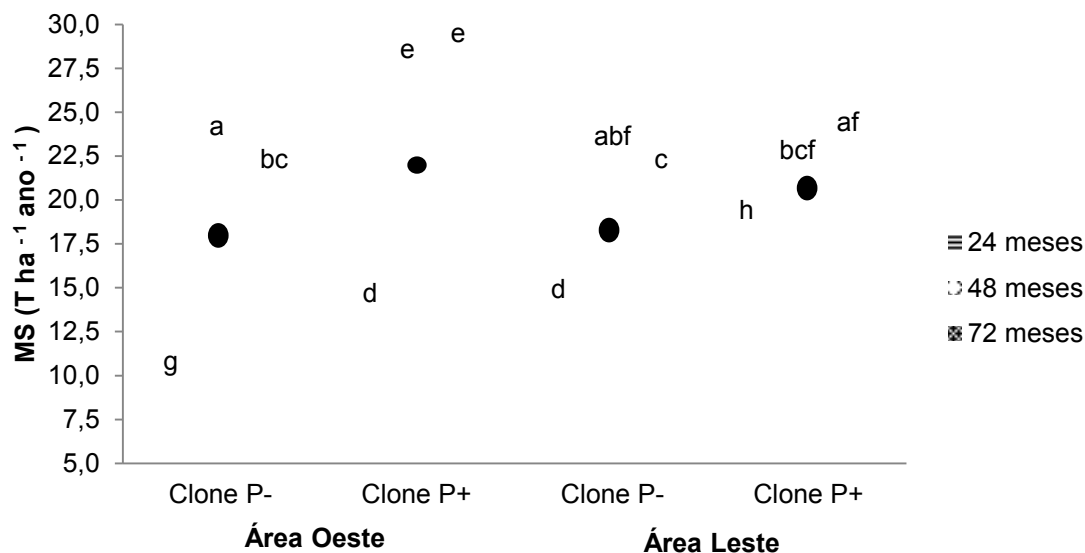


Figura 9. Massa Seca da madeira de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.

Médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste Tukey.

O acúmulo de MS em função das áreas, idades e clones foi semelhante ao do Incremento Médio Anual, em que, o clone P+ e a área AO mostraram as melhores tendências (Figura 9).

Entre as idades 48 a 72 meses, o clone P- mostrou uma diminuição da Massa Seca de 10,06 % na área oeste (AO) e 7,37 % na área leste (AL). Caso contrário aconteceu com o clone P+, em que mostrou um aumento de 3,28 % na área AO e 5,97 % na área AL (Figura 9). Esse acontecimento pode ter sido pelas condições genéticas de cada material, em que, o clone P+ consegue expressar melhor o potencial produtivo nas condições edafoclimáticas de estudo.

4.3.1. Efeito da idade e da área da Massa Seca da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–área utilizado no estudo (Anexo 10).

Os valores médios de Massa Seca (MS) em função da idade e da área são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14. Valores médios de Massa Seca em função da idade e da área ($T\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Idade (meses)	Área	
	Oeste (AO)	Leste (AL)
24	10,50 Aa	14,86 Ba
48	24,84 Ab	21,34 Bb
72	24,15 Ab	21,20 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as áreas e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 14 pode-se observar que existe uma diferença estatística entre as áreas oeste e leste nas três idades de estudo, sendo os maiores valores de Massa Seca nas idades de 48 e 72 meses na área oeste. Já na idade de 24 meses, o maior valor médio de MS foi para a área onde existe maior disponibilidade hídrica ao longo do ano (AL). No mesmo quadro, também se pode observar que entre as idades de 48 e 72 meses não existem diferenças estatísticas em ambas as áreas, mas se comparadas com a idade de 24 meses existem diferenças estatísticas a 5 % de significância.

O maior valor de Massa Seca da área AL na idade de 24 é devido a que as necessidades hídricas das plantas nas primeiras etapas de crescimento são supridas em maior quantidade na área leste que na oeste. Já nas idades 48 e 72 meses, em que os maiores valores de MS são na área oeste, as plantas se encontram em uma etapa de crescimento onde o processo de evapotranspiração é mais eficiente e, os maiores valores de Incremento Médio Anual e Massa Específica encontram-se na mesa área (Quadro 14).

4.3.2. Efeito da idade e do clone da Massa Seca da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–clone utilizado no estudo (Anexo 11).

Os valores médios de Massa Seca em função da idade e do clone são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15. Valores médios de Massa Seca em função da idade e do clone ($T\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Idade (meses)	Clone	
	P-	P+
24	10,58 Aa	14,78 Ba
48	22,26 Ab	23,92 Ab
72	20,31 Ac	25,05 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 15 pode-se observar que os maiores valores de Massa Seca estão no clone P+, sendo na idade de 24 e 72 meses com diferença estatística entre os clones e na idade de 48 meses sem diferença estatística.

O aumento da MS com o aumento do tempo do clone P-, apresenta diferenças estatísticas nas três idades de estudo, sendo o maior valor de MS na idade de 48 meses e uma queda da massa seca na idade de 72 meses. Por outro lado, o clone P+ à medida que aumenta o tempo aumenta a Massa Seca e não apresenta diferença estatística entre as idades 48 e 72 meses, mas sim entre a idade de 24 meses.

4.3.3. Efeito da área e do clone da Massa Seca da madeira

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação área–clone nas três idades de estudo (Anexo 12.1, 12.2 e 12.3).

Os valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 24 meses são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 24 meses ($T \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	8,55 Aa	12,45 Ba
Leste (AL)	12,61 Ab	17,12 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Ao igual que na Figura 9 e no Quadro 14, no Quadro 16 pode-se observar como na idade de 24 meses existe um aumento da Massa Seca ao passar da área onde há menor disponibilidade hídrica (AO) para onde há maior disponibilidade hídrica (AL), e ao passar do clone P- para o clone P+, apresentando diferença estatística em todos os casos. Neste evento, observa-se a influencia que exerce a precipitação pluvial e o potencial genético do clone P+ no acumulo de massa seca.

Os valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 48 meses são apresentados no Quadro 17.

Quadro 17. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 48 meses ($T \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	22,74 Aa	26,94 Ba
Leste (AL)	20,90 Ab	21,78 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

O aumento da Massa Seca na idade de 48 meses difere do aumento da MS na idade de 24 meses, sendo neste caso ao passar da área leste (AL) para a área oeste (AO) com diferença estatística a 5 % de significância. De igual forma, aconteceu na idade de 72 meses (Quadro 18).

Da mesma maneira que no Quadro 16, nos Quadros 17 e 18, observa-se o aumento da MS ao passar do clone P- para o clone P+, mostrando novamente a predominância do clone P+ sobre o clone P-.

Os valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 72 meses são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18. Valores médios de Massa Seca em função da área e do clone na idade de 72 meses ($T \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	20,45 Aa	27,86 Ba
Leste (AL)	20,17 Aa	22,23 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

O acúmulo de Massa Seca na idade de 72 meses para o clone P- não apresentou diferença estatística entre as duas áreas, mas o clone P+ sim apresentou diferenças estatísticas a 5 % de significância, de igual forma, se apresentou diferença estatística entre os dois clones para ambas as áreas (Quadro 18).

4.4. Poder Calorífico Superior

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação clone-área-idade utilizado no estudo (Anexo 13).

Na Figura 10 estão apresentados os valores médios do Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira de eucalipto para cada área, clone e idade.

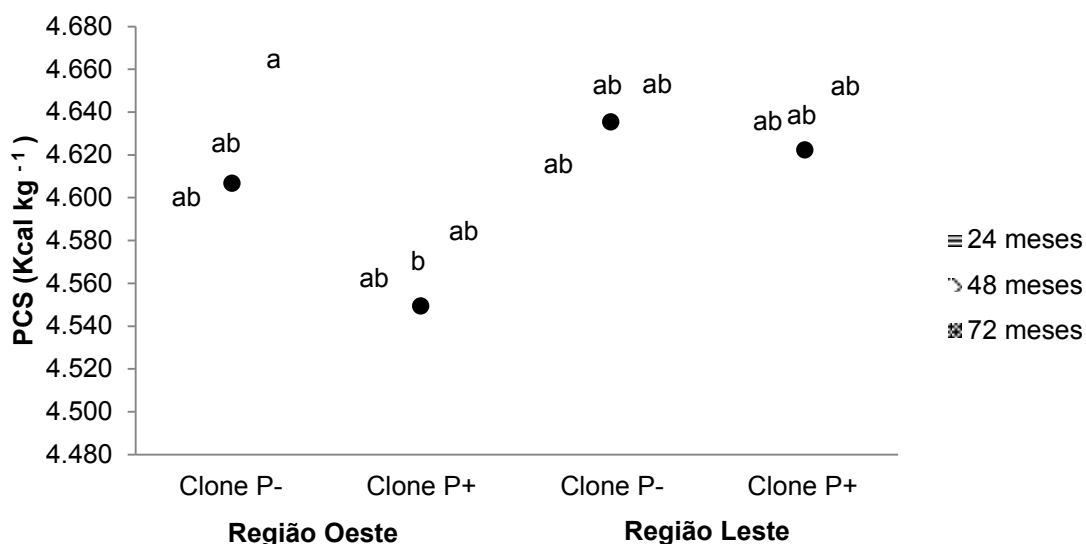


Figura 10. Poder Calorífico Superior de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.

Médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste Tukey.

O PCS foi muito variável nas áreas, clones e idades, mas teve uma ligeira tendência de aumento do PCS com o aumento da idade. De modo geral, não se verificou diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, alguma diferença se apresentou entre o clone P- aos 72 meses de idade e o clone P+ aos 48 meses de idade na área AO (Figura 10). Essa diferença pode ter sido pelas interações entre o potencial genético de cada clone e as condições edafoclimáticas da área, em que gera uma resposta nas propriedades físicas e químicas da madeira, que influenciam diretamente no PCS.

A variação do PCS da madeira em função da área, idade e clone pode ser devida à composição química, como lignina, extrativos ou cinzas (SANTOS 2010). Castillo (1984) também diz que as madeiras ricas em lignina e extrativos apresentam um poder calorífico mais elevado, enquanto as madeiras com ricos conteúdos de celulose apresentam menores poderes caloríficos.

Os três menores valores de PCS foram obtidos pelo clone mais produtivo (P+) nas três idades de estudo na área com menos disponibilidade hídrica (Figura 10). Müller (2005) encontrou em um cultivo de *Eucalyptus*

grandis x *Eucalyptus camaldulensis*, com uma idade de 24 meses, um PCS médio entre 4.400 e 4.493 kcal kg⁻¹, que são valores menores aos encontrados neste estudo.

Castro (2011) encontrou uma diminuição do PCS a partir do quinto ano de idade em dois clones de *E. urophylla*, e no sétimo ano em um clone de *E. urophylla* x *E. grandis*. Rocha (2011) também encontrou uma diminuição do PCS aos 7 anos de idade em clones híbridos de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*. Isso se deve ao teor de lignina, que tende a diminuir com o aumento da idade, pois as árvores mais jovens, de modo geral, possuem uma maior proporção de madeira juvenil, que é mais rica em lignina do que a madeira madura (VITAL *et al.*, 1984).

De modo geral, a melhor tendência do PCS foi para o clone P-independente da área.

Analisando as Figuras 8 e 10, nota-se que o clone menos produtivo apresentou maiores valores de ME e PCS, o que corrobora com Pereira *et al.* (2000), o qual diz que as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica e madeiras mais leves possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de peso, mas possuem menor poder calorífico por unidade de volume.

A relação entre Massa Específica e Poder Calorífico Superior tem benefícios na geração de energia, pois quanto maior ME menor será as áreas de estocagem e manuseio, além de aumentar o rendimento energético no transporte, o rendimento das caldeiras para queima direta da madeira, o rendimento dos gaseificadores da madeira para produção de gasogênio e o rendimento dos reatores para hidrólise ácida (PEREIRA *et al.*, 2000). Além de estar relacionado com a quantidade de energia liberada pela madeira durante a sua queima (SANTOS, 2010; CASTRO, 2011).

4.4.1. Efeito da idade e da área do Poder Calorífico Superior

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade-área utilizado no estudo (Anexo 14).

Os valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) em função da idade e da área são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da idade e da área (kcal kg⁻¹).

Idade (meses)	Área	
	Oeste (AO)	Leste (AL)
24	4.567 Aa	4.613 Ba
48	4.574 Aa	4.628 Aa
72	4.613 Aa	4.641 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as áreas e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 19 pode-se observar a tendência de aumento do Poder Calorífico Superior com o aumento das idades, mas sem apresentar diferenças significativas entre as mesmas nas áreas de estudo. De igual forma, se apresenta um aumento do PCS ao passar da área oeste para a área leste.

Nas idades 48 e 72 meses, não se apresentaram diferenças significativas entre as áreas de estudo, mas na idade de 24 meses, sim se apresentou diferença significativa entre a área AL e AO (Quadro 19). Frederico (2009) encontrou diferenças significativas do PCS em clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* em função das regiões Guanhães, Ipaba e Santa Bárbara, em Minas Gerais, aos 3 anos de idade.

4.4.2. Efeito da idade e do clone do Poder Calorífico Superior

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–clone utilizado no estudo (Anexo 15).

Os valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) em função da idade e do clone são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da idade e do clone (kcal kg⁻¹).

Idade (meses)	Clone	
	P-	P+
24	4.595 Aa	4.585 Aa
48	4.625 Aa	4.576 Aa
72	4.648 Aa	4.606 Ba

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Ao igual que no Quadro 19, no Quadro 20 observa-se o aumento do PCS com o aumento da idade, mas sem apresentar diferenças significativas entre as mesmas em ambas as áreas.

Os maiores valores de PCS são apresentados para o clone P- nas três idades de estudo, mas só com diferença estatística com o clone P+ na idade de 72 meses.

4.4.3. Efeito da área e do clone no Poder Calorífico Superior

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação área–clone nas idades 24 e 72 meses (Anexo 12.1 e 12.3), mas sem efeito na idade de 48 meses (Anexo 12.2).

Os valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) em função das áreas e dos clones na idade de 24 meses são apresentados no Quadro 21.

Quadro 21. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 24 meses (kcal kg⁻¹).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	4.586 Aa	4.604 Aa
Leste (AL)	4.547 Ab	4.623 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 21 pode-se observar que o PCS aumenta ao passar do clone P- ao clone P+ sem apresentar diferença estatística, mas na idade de 48 e 72 meses o aumento aconteceu do clone P+ para o clone P- (Quadros 22 e 23).

O PCS variou de uma área para outra dependendo do tipo de clone, por exemplo, na idade de 24 meses no clone P- o aumento do Poder Calorífico Superior foi ao passar da área AL para a área AO e, para o clone P+ o aumento foi ao passar da área AO para a área AL, com diferenças estatísticas em ambas as áreas.

Os valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) em função das áreas e dos clones na idade de 48 meses são apresentados no Quadro 22.

Quadro 22. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 48 meses (kcal kg⁻¹).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	4.608 Aa	4.541 Aa
Leste (AL)	4.643 Aa	4.612 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Ao inverso do observado no Quadro 21, no Quadro 22 pode-se ver o aumento do PCS ao passar da área AO para a área AL para ambos os clones e do mesmo modo, apresenta-se o aumento do PCS ao passar do clone P+ para o clone P- sem apresentar diferenças em todos os casos.

Os valores médios de Poder Calorífico Superior (PCS) em função das áreas e dos clones na idade de 27 meses são apresentados no Quadro 23.

Quadro 23. Valores médios de Poder Calorífico Superior em função da área e do clone na idade de 72 meses (kcal kg^{-1}).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	4.652 Aa	4.576 Ba
Leste (AL)	4.643 Aa	4.639 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

De igual forma que no Quadro 21, no Quadro 23 observa-se o aumento do Poder Calorífico Superior do clone P- ao passar da área AL para a área AO e, para o clone P+ o aumento foi ao passar da área AO para a área AL, com diferenças estatísticas entre as áreas para o clone P+.

Quirino *et al.* (2005), relatam que o PCS do *Eucalyptus grandis* varia entre 4.501 e 4.790 kcal kg^{-1} e do *Eucalyptus urophylla* varia entre 4.422 e 4.595 kcal.kg^{-1} , sendo que, neste estudo, os resultados flutuam entre os valores do *Eucalyptus grandis* e são superiores que os do *Eucalyptus urophylla*.

4.5. Potencial Energético

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação clone-área-idade utilizado no estudo (Anexo 17).

A variação dos valores médios do Potencial Energético (PE) nas áreas oeste e leste em função dos clones híbridos e das idades foram semelhantes ao da Massa Seca (MS) e Incremento Médio Anual (IMA), mostrando uma superioridade do clone P+ e da área oeste (AO) (Figura 11). A mesma relação positiva entre as variáveis Incremento Médio Anual-Massa Seca-Potencial Energético foi encontrada por Santos *et al.* (2012).

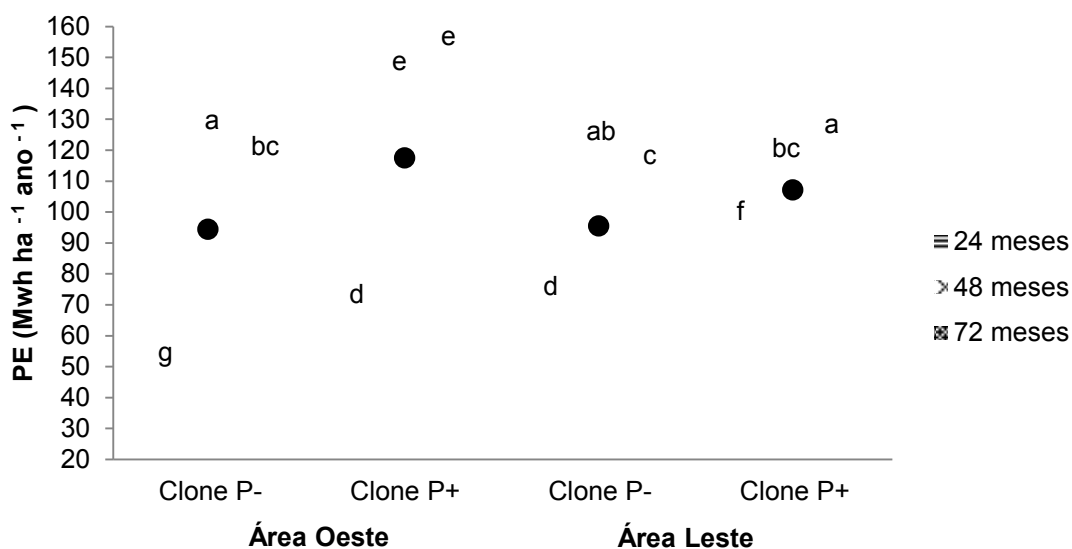


Figura 11. Potencial Energético da biomassa de dois clones híbridos de urograndis em função dos tratamentos. O ponto preto significa a média das três idades para cada clone.

Médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste Tukey.

Para a idade jovem (24 meses) verifica-se existir a necessidade de combinar a qualidade de sítio em disponibilidade hídrica e a produtividade do material genético em relação ao Incremento Médio Anual para se determinar a obtenção de valores máximos do Potencial Energético (PE). Assim o maior PE é obtido pela combinação entre o melhor material genético e o melhor sítio em termos de disponibilidade hídrica. Por outro lado, nas idades 48 e 72 meses, se obtém o maior PE com material genético superior (P+) e sítio pior (AO) do ponto de vista de disponibilidade hídrica (Figura 11). Isso pode ser devido à distribuição das chuvas ao longo do ano e o tipo de solo das áreas de estudo (Quadros 1 e 2, Figura 4).

Analisando a quantidade de energia por hectare em função dos clones, é possível verificar uma tendência de superioridade em energia do clone P+ em comparação com o clone P-. Assim, o clone P+, da área AO, nas idades de 48 e 72, pode ser usado para a geração de energia na empresa. Segundo Montebello & Bacha (2009), o insumo energia nas empresas de celulose e papel no Brasil, no ano 2005, representou US\$ 21 por tonelada produzida de

celulose e 7% do custo variável de produção de uma tonelada de celulose de fibra curta.

4.5.1. Efeito da idade e da área no Potencial Energético

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade-área utilizado no estudo (Anexo 18).

Os valores médios do Potencial Energético (PE) em função da idade e da área são apresentados no Quadro 24.

Quadro 24. Valores médios do Potencial Energético em função da idade e da área (Mwh ha⁻¹ ano⁻¹).

Idade (meses)	Área	
	Oeste (AO)	Leste (AL)
24	55,68 Aa	79,72 Ba
48	131,96 Ab	114,78 Bb
72	129,32 Ab	114,35 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre as áreas e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 24 pode-se observar que existem diferenças significativas entre as duas áreas de estudo nas idades 24, 48 e 72 meses, sendo o maior valor na idade de 24 meses na área leste (AL), e, os maiores valores na idade de 48 e 72 meses. Esse mesmo caso pode ser observado nos Quadros 4 e 14.

Não se verifica a existência de diferença estatística entre as idades 48 e 72 meses, mas sim com a idade de 24 meses em ambas as áreas, sendo o maior valor médio de Potencial Energético na área oeste na idade de 48 meses. Esses maiores valores são devido aos maiores valores de Incremento Médio Anual, Massa Específica e Poder Calorífico Superior obtidos na mesma área.

4.5.2. Efeito da idade e do clone no Potencial Energético

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação idade–clone utilizado no estudo (Anexo 19).

Os valores médios do Potencial Energético (PE) em função da idade e do clone são apresentados no Quadro 25.

Quadro 25. Valores médios do Potencial Energético em função da idade e do clone ($Mwh\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Idade (meses)	Clone	
	P-	P+
24	56,52 Aa	78,88 Ba
48	119,64 Ab	127,10 Ab
72	109,70 Ac	133,96 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as idades, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 25 pode-se observar claramente a tendência de aumento dos valores de PE com o passo do clone P- para o clone P+ nas três idades de estudo, sendo o maior valor na idade de 72 meses.

No clone P- verificam-se existir diferenças significativas entre as três idades de estudo, sendo o maior valor na idade de 48 meses, em que, na mesma idade, não se apresentou diferença significativa com o clone P+.

4.5.3. Efeito da área e do clone no Potencial Energético

De acordo com a análise de variância houve efeito entre a interação área–clone nas três idades de estudo (Anexo 19.1, 19.2 e 19.3).

Os valores médios do Potencial Energético (PE) em função da área e do clone na idade de 24 meses são apresentados no Quadro 26.

Quadro 26. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 24 meses ($Mwh\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	45,58 Aa	65,78 Ba
Leste (AL)	67,45 Ab	91,99 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

De igual forma que no Quadro 25, nos Quadros 26, 27 e 28, pode ser observado os aumentos dos valores de PE ao passar do clone P- para o clone P+ com diferença estatística, mostrando uma vez mais, o potencial produtivo do clone P+ para a empresa.

Por outro lado, no Quadro 26 verifica-se o aumento do PE ao passar da área com menor disponibilidade hídrica (AO) para a área com maior disponibilidade hídrica (AL) com diferença estatística.

Os valores médios do Potencial Energético (PE) em função da área e do clone na idade de 48 meses são apresentados no Quadro 27.

Quadro 27. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 48 meses ($Mwh\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	121,76 Aa	142,16 Ba
Leste (AL)	112,05 Ab	117,52 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

No Quadro 27 apresenta-se a diferença estatística entre as duas áreas de estudo, sendo os maiores valores para a área oeste na idade de 48 meses. Isso pode ser devido às condições de solo da mesma área (Quadro 2).

Os valores médios do Potencial Energético (PE) em função da área e do clone na idade de 72 meses são apresentados no Quadro 28.

Quadro 28. Valores médios do Potencial Energético em função da área e do clone na idade de 72 meses ($Mwh\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Área	Clone	
	P -	P +
Oeste (AO)	110,56 Aa	148,08 Ba
Leste (AL)	108,85 Aa	119,85 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os clones e minúscula entre as áreas, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste Tukey.

A diferença do Quadro 27, no Quadro 28 observa-se que não existe diferença estatística entre as áreas para o clone P- na idade de 72 meses, e sim para o clone P+. Assim, mostra-se novamente que o fator clone predomina no fator área e que, as condições de solo também influenciam na quantidade de energia por hectare.

5. CONCLUSÕES

Os valores médios de Poder Calorífico Superior variaram entre 4.567 e 4.652 kcal kg⁻¹ na área oeste e entre 4.547 e 4.643 kcal kg⁻¹ na área leste. Já os valores médios de Massa Específica variaram entre 0,473 e 0,543 g cm⁻³ na área oeste e entre 0,447 e 0,527 g cm⁻³ na área leste.

Na produtividade energética por unidade de área plantada, as melhores tendências foram mostradas pelo clone P+, nas duas áreas de estudo. O clone P- apesar de mostrar menores tendências produtivas energéticas por unidades de área, deve ser ressaltado, já que em geral, as maiores tendências de poder calorífico superior e massa específica foram para esse clone. Assim, o clone P- em termos de valor energético da madeira pode ser considerado como o melhor.

A área leste apesar de apresentar a maior disponibilidade hídrica ao longo do ano, a maior produtividade de biomassa e energia por hectare foi mostrada na área com maior restrição hídrica (oeste). De igual forma, os maiores valores de Massa Específica foram verificados na mesma área. Isso significa que existe uma relação inversa entre massa específica e precipitação pluvial. Também foi encontrada a relação inversa entre o IMA e a ME.

Verificou-se existir um aumento dos valores médios de Incremento Médio Anual, Massa Específica e Poder Calorífico Superior com aumento das idades para ambos os clones e ambas as áreas, sem diferença estatística entre as idades para a variável PCS.

Os maiores valores de IMA do clone P- foram encontrados na área com maior disponibilidade hídrica (leste) e os maiores valores de ME foram encontradas na área com menor disponibilidade hídrica (oeste). Por outro lado, os maiores valores de IMA e ME do clone P+ foram encontrados na área oeste. Assim, verifica-se que cada clone se desenvolve melhor dependendo das condições edafoclimáticas de cada localização.

O clone que apresentou melhores produtividades foi o P+ e clone que apresentou melhores tendências nas propriedades da madeira foi o clone P-, mas sem diferenças estatísticas com o clone P+ na idade de 72 meses.

Os valores médios de massa seca e energia por hectare do clone P- foram de 8,55 e 22,74 T ha⁻¹ ano⁻¹ e 45,58 e 121,76 Mwh ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Já os valores médios do clone P+ foram de 12,45 e 27,86 T ha⁻¹ ano⁻¹ e 65,78 e 148,08 Mwh ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Para obter uma maior produtividade e qualidade da madeira é mais importante à seleção do material genético que a localização da área, mas sem desmerecer a influencia das condições edafoclimáticas sobre o potencial genético de cada material.

Entende-se, portanto, que são necessárias mais pesquisas florestais visando a influencia das condições edafoclimáticas na produtividade e propriedades físico-químicas da madeira de eucalipto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633 - **Carvão vegetal**: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia: 1982.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A; SILVA, M. P. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. Santa Maria: Ciência Florestal, abr.-jun. 2010, v. 20, n. 2, p. 335-344.

BOURIAUD, O.; LEBAN, J. M.; BERT, D.; DELEUZE, C. **Intraannual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce**. Tree Physiol, 2005, v. 25, p. 651–660.

CASTILLO, M. E. U. **Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonia peruana**. Revista Forestal del Perú, 1984, V.12 (1-2), p. 1-15.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de eucalyptus sp. na madeira e carvão vegetal**. Dissertação (Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG, 2011. 98 f.

FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; FERREIRA, M. Z. **Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação**. Piracicaba: Kraft. Sci. For., jun. 2011, v. 39, n. 90, p. 143-150.

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M. de; FERREIRA, M. **A variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp, em função da idade e qualidade de local.** Piracicaba: IPEF, 1978, v.6, n.20, p.B.1 – B.19.

FERREIRA, M. **Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos.** Piracicaba: IPEF, 1972, n.4, p.65-89.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. **Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto.** Piracicaba: Boletim Informativo IPEF, 1978, v.6, n.20, p.A.1 – A.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal.** Dissertação (Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG, 2009. 73 p.

GILMORE, A.R.; 1968. **Geographic variation in specific gravity of white pine and red pine in Illinois.** For. Prod. J., 1968, v. 18, p. 49–51.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Dados históricos. Disponível em: <www.inmet.gov.br/>. Acesso em 30 de mai. 2013.

MONTEBELLO, A. E. S.; BACHA, C. J. C. 2009. **Avaliação das pesquisas e inovações tecnológicas ocorridas na silvicultura e na produção industrial de celulose no Brasil.** Piracicaba: RESR, abr/jun 2009, vol. 47, nº 02, p. 485-517.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** Tese (Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG, 2005. 95 p.

OLIVAR, J.; RATHGEBER, C. B. K.; ORDOÑEZ, C.; BRAVO, F. **Influencia del clima en la densidad de la madera de pinos mediterráneos (*Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*)**. Sexto congreso forestal español. Vitoria-Gasteiz: Sociedad Española de Ciencias Forestales. 10-14, junio 2013.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V. SHIMIZU, J. Y. 2000. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Documentos, 38. ISSN 1517-536X. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos**. Madeira , 2005, nº 89 pag 100-106.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG, 2011. 71 p.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. DE C. O.; TRUGILHO, P. F. **Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais**. Viçosa/MG: Revista Árvore, 2012, v.36, n.5, p.971-980.

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

SOUZA, M. J. H. de.; RIBEIRO, A.; LETE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. **Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do Rio Doce**. Viçosa/MG: *Árvore*, 2006, v.30, n.3, p. 399-410.

THOMASA, D.S.; MONTAGUB, K.D.; CONROYA, J.P. **Changes in wood density of *Eucalyptus camaldulensis* due to temperature—the physiological link between water viscosity and wood anatomy.** Forest Ecology and Management, 2004, v. 193, p. 157–165.

TROVATI, L. R. & FERRAZ, E. S. B. **Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*.** Piracicaba: IPEF, 1984, n.26, p. 31-36.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** Lavras: Cerne, 1996, v.2 n.1.

TRUGILHO, P. F. **Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*.** Lavras: Ciênc. agrotec., 2009, v. 33, n. 5, p. 1228-1239.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

WIMMER, R.; DOWNES, G.M. **Temporal variations of the ring width–wood density relationship in Norway spruce grown under two levels of anthropogenic disturbance.** IAWA J., 2003, v. 24 p, 53–61.

CAPITULO II

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da precipitação pluvial na produção de biomassa de dois clones de eucalipto provenientes de duas áreas do sul da Bahia utilizando o modelo eco-fisiológico 3-PG - “Physiological Principles Predicting Growth”. O estudo foi desenvolvido em duas áreas do Sul da Bahia, a primeira no extremo sul oeste da Bahia e a segunda no extremo sul leste da Bahia. O modelo 3-PG foi devidamente parametrizado, calibrado e validado para cada área e clone de estudo, e posteriormente, foram feitas simulações em condições distintas de precipitação pluvial ao longo do ciclo do cultivo de eucalipto. A parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para as condições de estudo foi realizada de modo satisfatório, atendendo todas as previsões esperadas. O modelo simulou satisfatoriamente as produtividades de biomassa de eucalipto. As simulações da massa específica foram consistentes com os dados observados, no entanto, quando a simulação é feita com dados climáticos distintos aos da parametrização, o modelo não consegue representar o a massa específica ao longo do ciclo do cultivo. A precipitação pluvial é o fator que mais limita o incremento médio anual e, por conseguinte o potencial energético. Quando nos três últimos anos de idade acontece uma precipitação pluvial menor que nos três primeiros anos, ocorre um limitante no acúmulo de biomassa.

CHAPTER II INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS IN PROPERTIES OF EUCALYPTUS WOOD FOR PURPOSES ENERGY

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of rainfall on biomass production of two eucalypt clones from two areas of southern Bahia using eco-physiological model 3-PG - "Physiological Principles Predicting Growth". The study was conducted in two areas of southern Bahia, the first in the south west of Bahia and the second in the south east of Bahia. The 3-PG model was properly parameterized, calibrated and validated for each area of and clone study, and later, simulations were performed under conditions of rainfall along the eucalyptus cultivation cycle. The parameterization, calibration and validation of the model 3-PG to study conditions was performed satisfactorily serving all expected predictions. The model satisfactorily simulated the biomass productivity of Eucalyptus. The density of the simulations were consistent with the data observed, however, when a simulation is performed with different climatic data for the parameterization, the model fails to represent the the density along the crop cycle. Rainfall is the main factor that limits the annual increment and therefore the energy potential. When the last three years age happens a lower rainfall in the first three years, a limiting occurs in the accumulation of biomass.

1. INTRODUÇÃO

Geralmente, a produção e as propriedades físico-químicas da madeira, não são consistentes com as esperadas na indústria, causando: desprogramação no processo de transformação da matéria prima, atraso nos processos de entrega do produto final aos clientes e custos adicionais. Essas alterações são frequentemente pelos fatores externos em que a planta está sujeita no processo de crescimento em campo, como pragas e doenças, geadas, condições de solo, temporadas secas prolongadas, precipitações pluviais excessivas, entre outras.

Assim, com a finalidade de ser mais precisos e exatos nas predições de produtividade e propriedades físico-químicas das florestas em campo, são usadas ferramentas ecofisiológicas, em que podem ser atribuídas diferentes condições de cultivo em todo o processo de crescimento de uma floresta para a estimativa de biomassa.

Os distintos eventos climáticos que influenciam no crescimento e desenvolvimento das florestas, também influem nas condições físicas, químicas e anatômicas da madeira, fazendo com que muitas vezes a qualidade da madeira desejada para determinados fins sejam desfavoráveis. Portanto, é importante conhecer as causas dessas variações e os efeitos sobre as propriedades da madeira, como por exemplo, Thomas *et al.* (2004) mostraram que a densidade da madeira de eucalipto aumenta à maior temperatura.

Por isso é importante conhecer quais condições de clima influenciam mais ou menos na qualidade das propriedades da madeira para fins energéticos. O modelo 3-PG - "Physiological Principles Predicting Growth" (LANDSBERG & WARING, 1997) é uma ferramenta que ajuda na estimativa de produção de florestas em diferentes eventos climáticos, sendo um auxílio na estimativa da biomassa de eucalipto para fins energéticos em diferentes condições de clima.

Este modelo híbrido incorpora relações empíricas e mecanísticas (SANDS & LANDSBERG, 2002) que estimam a produtividade florestal

baseando-se, essencialmente, na quantidade de energia radiante que é absorvida pelo dossel da planta, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (LANDSBERG & WARING, 1997).

Nesse contexto são importantes estudos que visem perscrutar a influência de fatores de clima como precipitações pluviais na produtividade e qualidade das propriedades físicas da madeira de eucalipto, servindo assim, como ferramenta para opções de manejo, decisões gerenciais e estratégicas.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência de anos de precipitação pluvial (muito secos e muito úmidos) na produtividade e na massa específica da madeira de dois clones híbridos de urograndis plantados em duas áreas do extremo sul da Bahia utilizando o modelo eco-fisiológico 3-PG - “Physiological Principles Predicting Growth”.

Os objetivos específicos foram:

- Parametrizar, Calibrar e Validar o modelo ecofisiológico 3-PG.
- Definir as fases de crescimento do cultivo de eucalipto para as condições de estudo.
- Simular produções de biomassa de eucalipto para condições climáticas contrastantes, cobrindo anos mais chuvosos e mais secos.
- Estimar o potencial produtivo de energia por hectare para cada cenário de simulação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Áreas de estudo e dados utilizados

O estudo foi desenvolvido nas mesmas duas áreas do sudoeste e sudeste da Bahia do capítulo I, correspondentes à área Leste (AL) e Oeste (AO). A área leste varia entre as latitudes $15^{\circ}98'23''\text{S}$ e $16^{\circ}12'46''\text{S}$, a longitude varia de $39^{\circ}05'83''\text{W}$ a $39^{\circ}23'82''\text{W}$, e a altitude varia de 50 a 90 m. A área oeste varia entre as latitudes $16^{\circ}07'90''\text{S}$ a $16^{\circ}36'03''\text{S}$, a longitude varia de $39^{\circ}77'80''\text{W}$ a $39^{\circ}83'80''\text{W}$, e a altitude varia de 240 a 300 m.

Foram avaliados dois clones híbridos do urograndis, um menos produtivo (P-) e outro mais produtivo (P+), plantados a um espaçamento de 4 x 3 m, totalizando 833 plantas por hectare. Foram analisados os seis anos correspondentes a um ciclo de produção de eucalipto na região.

A caracterização climática da área oeste e leste estão apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

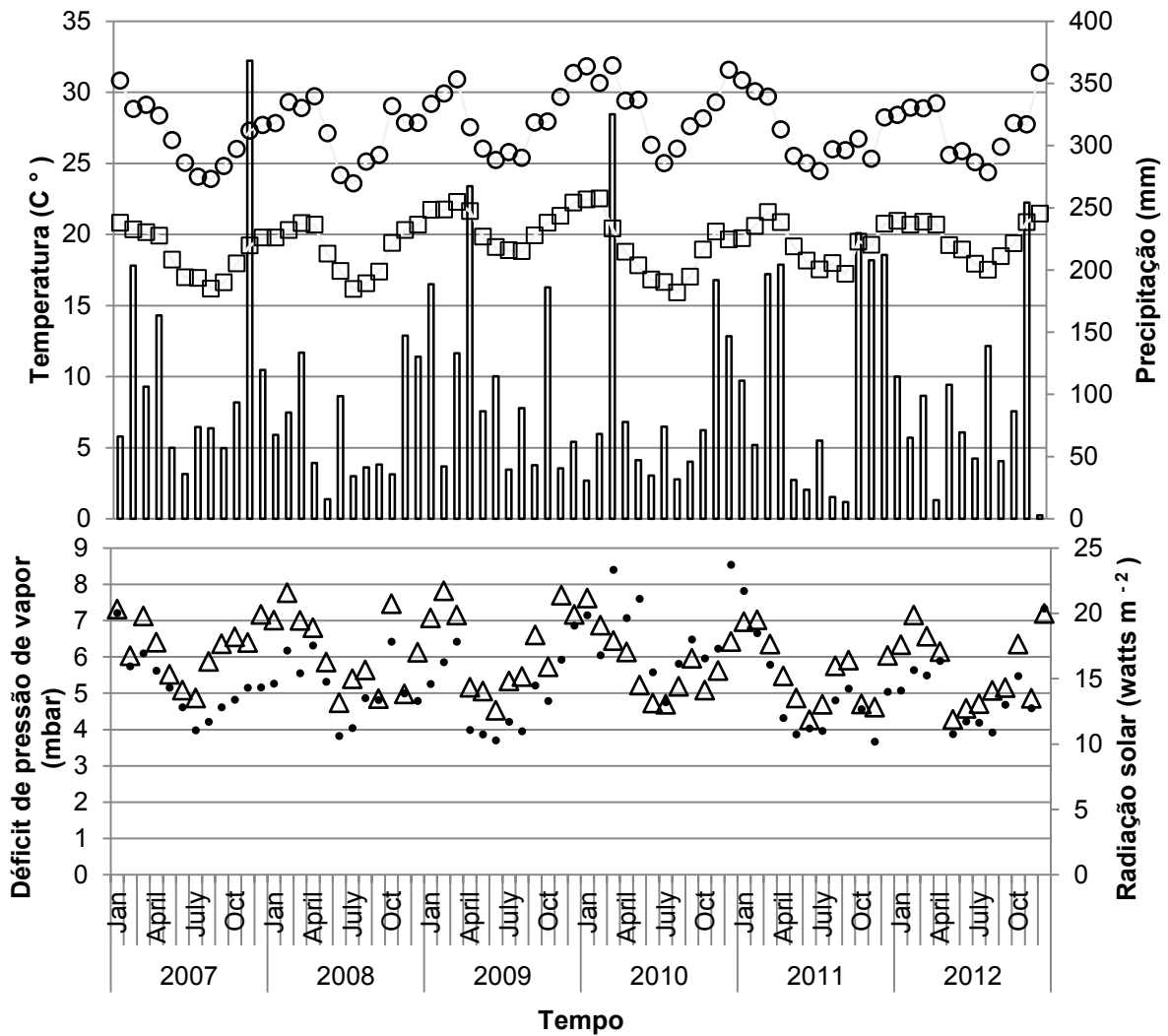


Figura 12. Condições climáticas da área Oeste correspondente aos seis anos de estudo com a média mensal de temperatura máxima (**bolás**) e mínima (**quadrados**), precipitação pluvial (**barras**), déficit de pressão de vapor (**pontos**) e radiação solar (**triângulo**).

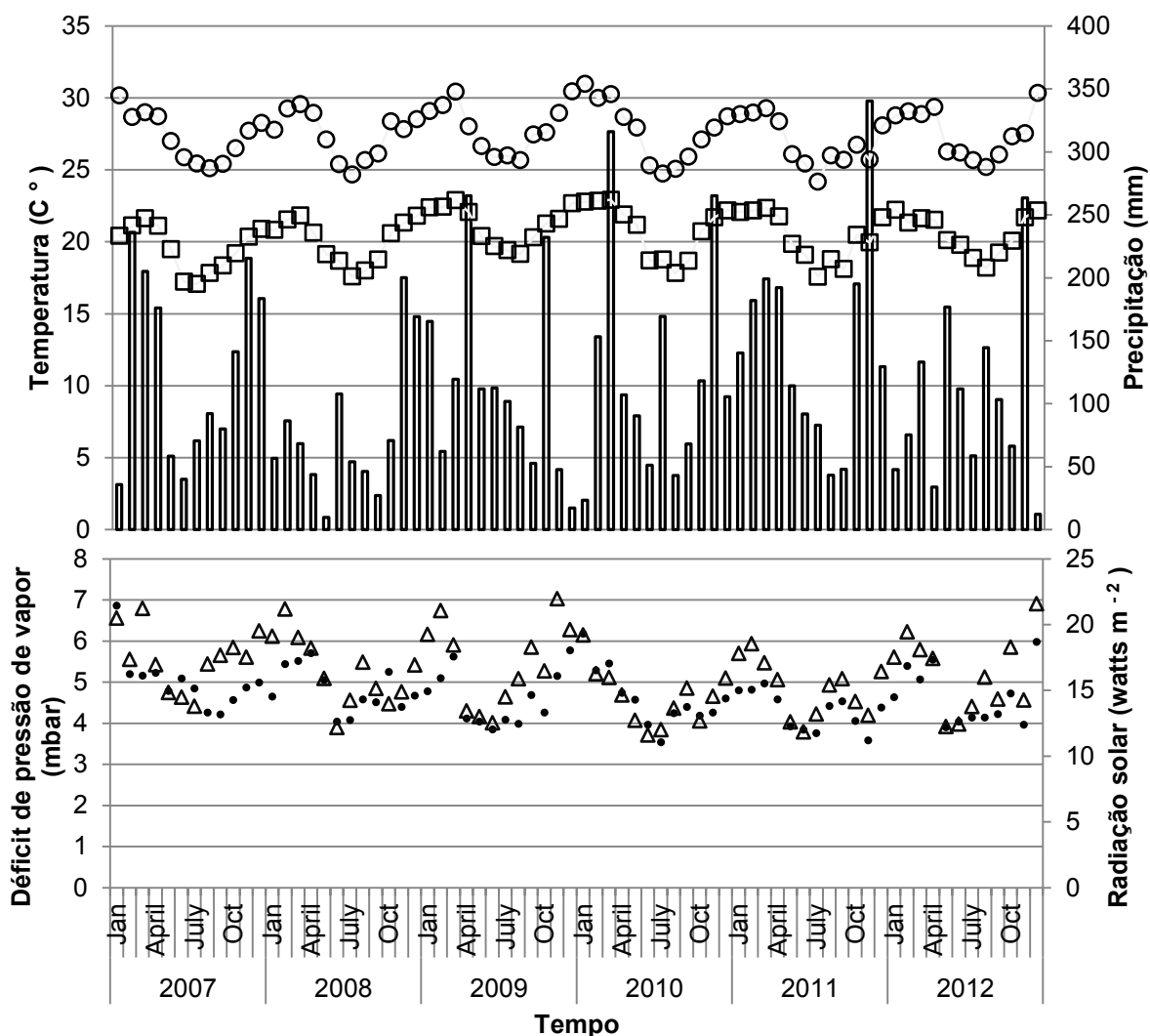


Figura 13. Condições climáticas da área Leste correspondente aos seis anos de estudo com a média mensal de temperatura máxima (**bolhas**) e mínima (**quadrados**), precipitação pluvial (**barras**), déficit de pressão de vapor (**pontos**) e radiação solar (**triângulo**).

3.2. Modelo 3-PG

Foi utilizado o modelo 3-PG - “Physiological Principles Predicting Growth” (LANDSBERG & WARING, 1997) para a estimativa de Incremento Médio Anual (IMA) e Massa Específica (ME) nas diferentes simulações, sendo antes feita a parametrização, calibração e validação.

3.2.1. Parametrização do modelo 3-PG

A parametrização do modelo 3-PG para as condições de povoamentos de eucalipto nas duas áreas do sul de Bahia, pertencentes à Veracel S.A., foi realizada com base na parametrização da empresa, medidas nas áreas, e das parametrizações dos trabalhos de Almeida *et al.* (2004) e Silva (2007). O parâmetro Massa Específica foi baseado nos resultados obtidos em um estudo sobre o comportamento das propriedades da madeira de eucalipto nas mesmas áreas (Capítulo I).

Os dados climáticos requeridos no modelo foram obtidos por meio de estações climatológicas localizadas próximas a cada área de estudo. A partir de cada estação, foram obtidos dados médios diários de precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima e radiação solar global para o período de seis anos, correspondentes aos anos de estudo do plantio, JAN/2007 a DEZ/2012 (Figuras 20 e 21).

3.2.2. Calibração do modelo 3-PG

Os procedimentos utilizados para a calibração do modelo foram feitos dependendo da consistência dos dados observados com os estimados, ajustando os parâmetros conforme a correlação entre eles. Os dados usados para a calibração dos parâmetros foram baseados nos dados de inventário florestal contínuo ano a ano da empresa, de Volume total e IMA. A calibração da massa específica da madeira foi baseada nos resultados obtidos no capítulo I.

3.2.3. Validação do modelo 3-PG

O procedimento de validação realizado neste estudo foi semelhante ao utilizado por Rascon (2012), dentre os poucos estudos que apresenta a

validação do modelo 3-PG, ou seja, não se restringindo apenas a parametrização e validação.

Com a calibração obtida neste estudo, foram realizadas estimativas de produção de Volume, IMA e ME durante o período de estudo (JAN/2007 a DEZ/2012). As estimativas de Volume e incremento médio anual foram comparadas com os dados de produtividade e pré-corte obtidos pela empresa, e diferem dos dados usados na calibração. As estimativas de Massa Específica foram comparadas aos dados observados de ME obtidos no Capítulo I.

3.2.4. Simulações

Depois da validação, foi feita a simulação do Volume total para cada clone (P- e P+) e cada área (AO e AL) no período de seis anos (JAN/2007 a DEZ/2012). A partir do Volume, foi calculado o Incremento Corrente Mensal (ICM) médio dos dois clones em cada área, relacionando o ICM com a precipitação pluvial acontecida em cada mês, analisando a influência desta precipitação mensal no acúmulo de biomassa mensal. Depois foi calculada a média de 4 meses do ICM e da precipitação pluvial com a finalidade de definir as fases de crescimento.

Foram realizadas 48 simulações para estimativa de IMA e ME em diferentes eventos climáticos, anos úmidos e anos secos, ao longo dos seis anos de estudo, conforme o Quadro 29. Os anos mais secos e mais úmidos escolhidos para cada área de estudo, foram tomados das estações meteorológicas próximas a cada área, escolhendo três anos mais secos e três anos mais úmidos em cada área de estudo a partir dos anos históricos disponíveis da região (ano 2000 a ano 2012). Foi considerado para os anos secos como restrição hídrica e para os anos úmidos como disponibilidade hídrica.

As simulações foram realizadas em cinco (05) etapas, em que, na primeira etapa (Cenário 1 ao 8 do Quadro 6) foram considerados seis anos úmidos e seis anos secos para cada área e clone. Nos cenários 9 ao 20 (Quadro 29), correspondentes à segunda etapa (02), foram consideradas nos

primeiros três (03) anos de idade restrição hídrica, e nos três (03) últimos anos foram consideradas variações na disponibilidade hídrica. Já para a terceira etapa, nos primeiros três (03) anos existe disponibilidade hídrica e nos três (03) últimos anos existe variação da restrição hídrica (Cenários 21 ao 32 do Quadro 29). Na quarta etapa foram considerados nos três (03) últimos anos de idade restrição hídrica e nos três (03) últimos anos mudança da disponibilidade hídrica (Cenários 33 ao 40 do Quadro 29). Na quinta e última etapa, correspondente aos cenários 41 ao 48 (Quadro 29), foram consideradas nos três (03) últimos anos disponibilidade hídrica, e nos três primeiros anos mudança da restrição hídrica.

A quantificação do potencial energético da madeira de eucalipto foi baseada nos resultados de IMA e ME obtidos em cada cenário de simulação. O poder calorífico superior requerido para o cálculo do potencial energético foi baseado nos resultados de cada área e clone do capítulo I. O método do cálculo do Potencial Energético foi o mesmo utilizado no capítulo I.

Quadro 29. Diferentes cenários de simulação pelo modelo 3-PG, detalhando a Fase I e Fase II, para os períodos de alta e baixa pluviosidade, ao longo dos seis anos de estudo, para as diferentes condições edafoclimáticas de cada área e clone.

Cenários	Área	Clone híbrido	Simulações					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	S	S	S	S	S	S
2	AO	P +	S	S	S	S	S	S
3	AO	P -	U	U	U	U	U	U
4	AO	P +	U	U	U	U	U	U
5	AL	P -	S	S	S	S	S	S
6	AL	P +	S	S	S	S	S	S
7	AL	P -	U	U	U	U	U	U
8	AL	P +	U	U	U	U	U	U
9	AO	P -	S	S	S	S	S	U
10	AO	P -	S	S	S	S	U	U
11	AO	P -	S	S	S	U	U	U

12	AO	P+	S	S	S	S	S	U
13	AO	P+	S	S	S	S	U	U
14	AO	P+	S	S	S	U	U	U
15	AL	P-	S	S	S	S	S	U
16	AL	P-	S	S	S	S	U	U
17	AL	P-	S	S	S	U	U	U
18	AL	P+	S	S	S	S	S	U
19	AL	P+	S	S	S	S	U	U
20	AL	P+	S	S	S	U	U	U
<hr/>								
21	AO	P-	U	U	U	U	U	S
22	AO	P-	U	U	U	U	S	S
23	AO	P-	U	U	U	S	S	S
24	AO	P+	U	U	U	U	U	S
25	AO	P+	U	U	U	U	S	S
26	AO	P+	U	U	U	S	S	S
27	AL	P-	U	U	U	U	U	S
28	AL	P-	U	U	U	U	S	S
29	AL	P-	U	U	U	S	S	S
30	AL	P+	U	U	U	U	U	S
31	AL	P+	U	U	U	U	S	S
32	AL	P+	U	U	U	S	S	S
<hr/>								
33	AO	P-	S	S	U	S	S	S
34	AO	P-	S	U	U	S	S	S
35	AO	P+	S	S	U	S	S	S
36	AO	P+	S	U	U	S	S	S
37	AL	P-	S	S	U	S	S	S
38	AL	P-	S	U	U	S	S	S
39	AL	P+	S	S	U	S	S	S
40	AL	P+	S	U	U	S	S	S
<hr/>								
41	AO	P-	U	U	S	U	U	U
42	AO	P-	U	S	S	U	U	U
43	AO	P+	U	U	S	U	U	U
44	AO	P+	U	S	S	U	U	U
45	AL	P-	U	U	S	U	U	U
46	AL	P-	U	S	S	U	U	U
47	AL	P+	U	U	S	U	U	U
48	AL	P+	U	S	S	U	U	U

Onde:

S: Restrição hídrica

U: Disponibilidade hídrica

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parametrização do modelo 3-PG

No Quadro 30 são apresentadas as parametrizações do 3-PG utilizadas por Almeida *et al.* (2004) e Silva *et al.* (2013), realizadas para plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus urograndis* localizados ao sul da Bahia e Bacia do Rio Doce em Minas Gerais. Os diferentes valores de parametrização de cada clone em cada área foram definidos conforme a interação entre as condições ambientais locais relacionadas ao potencial genético de cada material. Essas premissas possibilitam calibrações do modelo de crescimento para as duas áreas e dois clones (Silva, 2006), tornando as simulações mais precisas para as diferentes realidades edafoclimáticas e expressão genética dos materiais, condições contempladas no estudo.

Quadro 30. Principais parâmetros do Modelo 3-PG com as parametrizações de Almeida *et al.* (2004), Silva *et al.* (2013), e a utilizada neste estudo para as áreas e clones.

Parâmetros padrões do 3-PG	Nome	Unidades	Almeida <i>et al.</i> 2004	Silva 2007	Área Leste		Área Oeste	
					Clone P-	Clone P+	Clone P-	Clone P+
Partição de biomassa e rotatividade								
Relações alométricas e partições								
Partição folha:lenho para D=2 cm	pFS2	-	0,7	1	1	1	1	0,9
Partição folha:lenho para D=20 cm	pFS20	-	0,1	0,09	0,2	0,23	0,2	0,18
Constante na relação massa de caule vs. diâmetro	StemConst	-	0,045	0,1076	0,0662	0,0662	0,0662	0,05
Potência na relação massa de caule vs. diâmetro	StemPower	-	2,812	2,51	2,4	2,5	2,5	2,3
Fração máxima de PPL para raízes	pRx	-	0,6	0,5	0,8	0,85	0,83	0,77
Fração mínima de PPL para raízes	pRn	-	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,18
Serapilheira e renovação de raiz								
Taxa de queda de serapilheira para plantios em	gammaFx	1/month	0,13	0,1	0,11	0,1	0,11	0,11
Taxa de queda de serapilheira para t=0	gammaF0	1/month	0,0017	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Idade em que a taxa de queda de serapilheira tem seu valor médio	tgammaF	months	13	12	4	4	4	4
Taxa média de ciclagem radicular	Rttover	1/month	0,025	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
PPB e modificadores da condutância								
Modificador da temperatura (fT)								
Temperatura mínima para crescimento	Tmin	deg. C	8	8	5	5	5	5
Temperatura ótima para crescimento	Topt	deg. C	25	25	22	22	22	22
Temperatura máxima para crescimento	Tmax	deg. C	36	40	40	40	40	40
Modificador de gelo (fFrost)								
Dias de produção perdidos por dias de gelo	kF	days	1	1	0	0	0	0
Modificador de água no solo (fSW)								
Déficit na proporção de umidade para f = 0.5	SWconst	-	0,5	0,7	0,7	0,68	0,55	0,7
Potência no déficit de proporção de umidade	SWpower	-	9	9	9	8	6	9
Efeitos da fertilidade								
Valor de m quando FR =0	m0	-	0	0	0	0	0	0

Valor de fNutr quando FR =0	fN0	-	0,5	0,5	1	1	1	1
Potência de (1-FR) em fNutr	fNn	-	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Modificador de idade (fAge)								
Máxima idade-padrão usada no modificador de	MaxAge	years	50	50	100	100	100	100
Potência da idade relativa em função da idade	nAge	-	4	4	4	4	4	4
Idade relativa para fAge =0.5	rAge	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Mortalidade de caule e self-thinning								
Taxa de mortalidade para t grande	gammaNx	%/year	0	0	0	0	0	0
Taxa de mortalidade de semente (t=0)	gammaN0	%/year	0	0	0	0	0	0
Idade em que a taxa de mortalidade tem seu valor	tgammaN	years	2	2	2	2	2	2
Forma de resposta da mortalidade	ngammaN	-	1	1	1	1	1	1
Máxima massa de caule por árvore 1.000	wSx1000	kg/tree	180	300	300	300	300	300
Potência na regra self-thinning	thinPower	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fração média perdida de biomassa de folha em árvore-simples por morte de árvore	mF	-	0	0	0	0	0	0
Fração média perdida de biomassa de raiz em árvore-simples por morte de árvore	mR	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fração média perdida de biomassa de caule em árvore-simples por morte de árvore	mS	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Estrutura do dossel e processos								
Área foliar específica								
Área foliar específica para plantios em idade 0	SLA0	m ² /kg	10,5	17	11	11	11	11
Área foliar específica para plantios em idade adulta	SLA1	m ² /kg	8	8,24	8,55	8,55	8,55	8,55
Idade em que a área foliar específica = (SLA +	tSLA	years	2,5	0,81	4	4	4	4
Interceptação de luz								
Coefficiente de extinção da APAR pelo dossel	k	-	0,5	0,47	0,58	0,5	0,58	0,6
Idade de fechamento do dossel	fullCanAge	years	0	1	1	1	1	1
Proporção máxima de precipitação interceptada	MaxIntcptn	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
LAI em que ocorre a máxima interceptação de	LAImaxIntcptn	-	3	3,33	0	0	0	0
Produção e respiração								
Eficiência quântica do dossel	alpha	molC/molIPAR	0,068	0,07	0,067	0,073	0,07	0,076
Relação PPL/GPP	Y	-	0,47	0,47	0,57	0,58	0,57	0,61
Condutância								
Máxima condutância do dossel	MaxCond	m/s	0,021	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
LAI para máxima condutância do dossel	LAIgcx	-	3	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Define a resposta estomática ao DPV	CoeffCond	1/mBar	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
Condutância na camada-limite do dossel	BLcond	m/s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Madeira e propriedade padrão								
Fração de ramo e casca (fracBB)								
Fração de ramo e casca para plantios em idade 0	fracBB0	-	0,3	0,79	0,1867	0,1867	0,1867	0,15
Fração de ramo e casca para plantios em idade	fracBB1	-	0,12	0,11	0,15	0,15	0,15	0,1
Idade em que a fração de galhos e casca é = (fracBB + fracBB1)/2	tBB	years	5	1,35	15	15	15	15
Densidade Básica								
Densidade básica mínima para árvores jovens	rhoMin	t/m ³		0,5	0,41	0,4	0,4	0,45
Densidade básica máxima para árvores adultas	rhoMax	t/m ³	0,52	0,5	0,545	0,54	0,566	0,55
Idade em que a densidade básica = (rhoMin	tRho	years	4	2,1	1,99	2,3	2	2
Altura do caule								
Constante na relação altura do caule	aH	-	0,6	0,6	0	0	0	0
Potência de DAP na relação altura do caule	nHB	-	1,2	1,2	0	0	0	0
Potência de stocking na relação altura do caule	nHN	-	0	0	0	0	0	0
Volume de caule								
Constante na relação volume do caule	aV	-	0	0	0	0	0	0
Potência de DAP na relação volume do caule	nVB	-	0	0	0	0	0	0
Potência de stocking na relação volume do caule	nVN	-	0	0	0	0	0	0
Fatores de conversão								
Relação da radiação solar líquida vs. Interceptação	Qa	W/m ²	-90	-90	-90	-90	-90	-90
Relação da radiação solar líquida vs. Inclinação	Qb	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Peso molecular da matéria seca	gDM_mol	gDM/mol	24	24	24	24	24	24
Conversão de radiação solar para PAR	molPAR_MJ	mol/MJ	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

4.2. Calibração do modelo 3-PG

Na Figura 14 é apresentada a correlação dos dados de volume de madeira observados e estimados pelo modelo 3-PG em função das áreas e os dois clones.

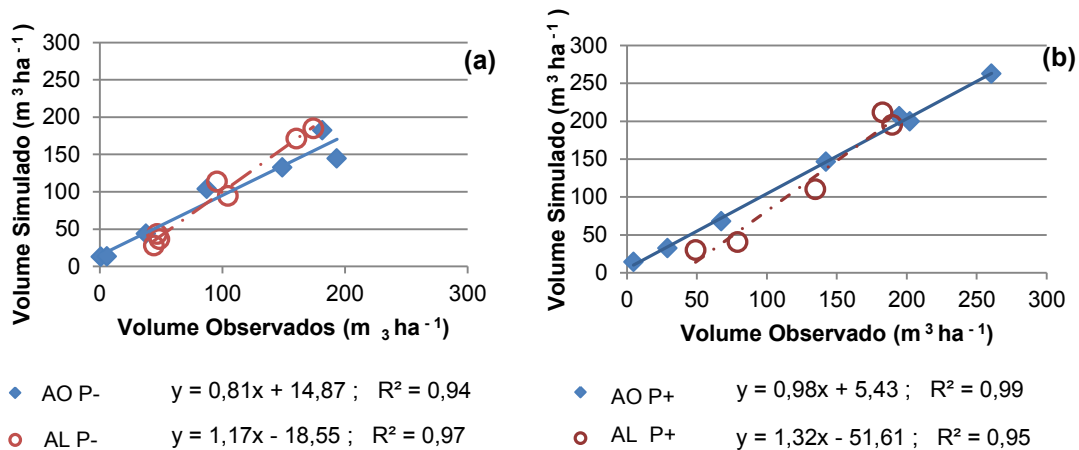


Figura 14. Valores médios observados e estimados de Volume por hectare do clone P- (a) e do clone P+ (b) nas duas áreas de estudo (AO e AL).

Nas Figuras 14a e 14b, observam-se altas correlações entre os valores observados e estimados de volume total de madeira (m³ ha⁻¹) aos seis anos de idade. Os coeficientes de determinação (R²) obtidos foram maiores que 0,90 para os clones e as áreas (Figura 14a e 14b). Os valores de Incremento Médio Anual (IMA) apresentam maiores variabilidades entre áreas e clones, sendo verificados valores de correlação entre 0,62 e 0,98 (Figura 15).

Observa-se que a área oeste apresenta as melhores correlações entre os valores de IMA observados e estimados com valores de coeficiente de determinação maiores que 0,90. Menores valores de coeficiente de determinação foram obtidos na área leste (AL) provavelmente devido a maior variância encontrada das variáveis climáticas sazonais (Figura 15). Mesmo assim, o modelo calibrado se mostrou útil para as estimativas de IMA.

Londero (2011) utilizou o modelo 3-PG para estimar a produtividade de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba, RS, e verificou que todas as predições propostas pelo modelo atenderam de forma satisfatória. Da mesma forma, o modelo 3-PG tem sido aplicado em diferentes condições edafoclimáticas, sendo usado nos estados de Bahia (STAPE *et al.*, 2004a); Espírito Santo (BAESSO, 2011); Minas Gerais (SILVA, 2006; SILVA *et al.* 2013; BORGES, 2009); Amazônia (RASCON, 2012), entre outros.

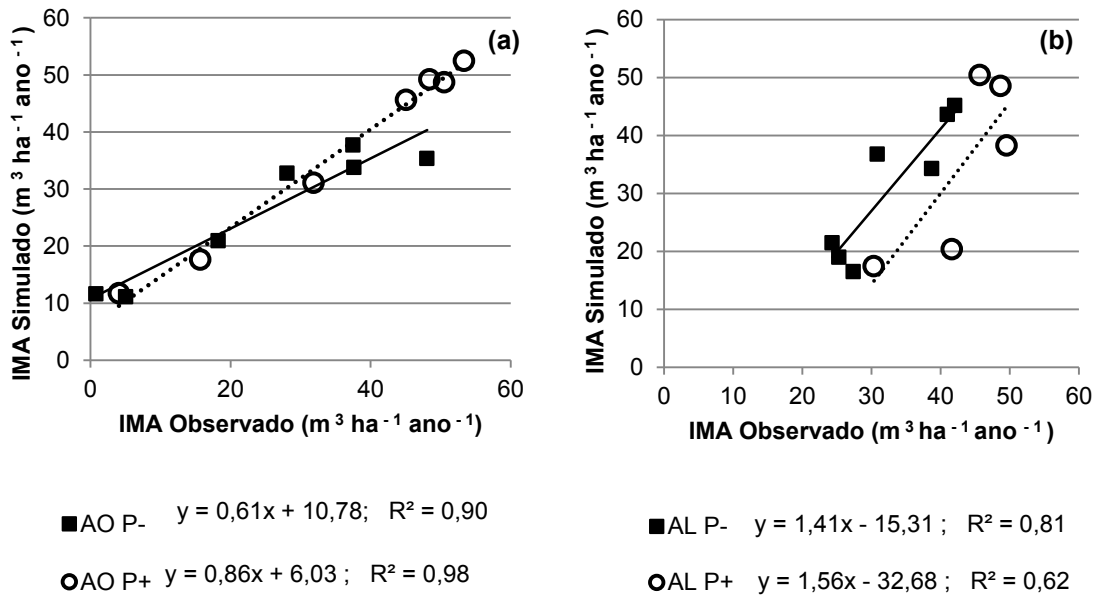


Figura 15. Correlação dos dados observados e simulados do Incremento Médio Anual (IMA) da área AO (a) e AL (b) para cada clone (P+ e P-).

Na Figura 16 são apresentadas as correlações dos valores médios de Massa Específica observados e estimados em função das áreas e clones.

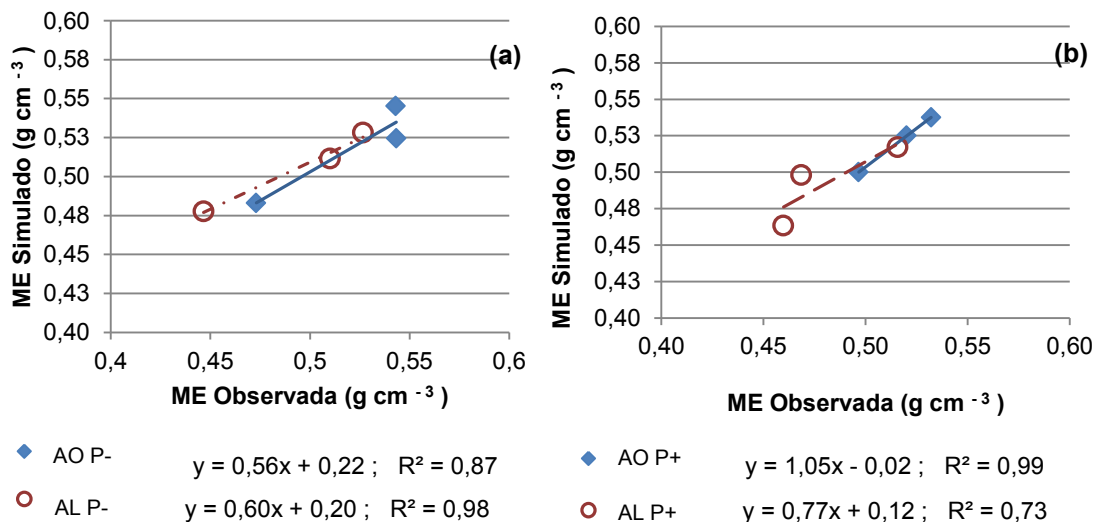


Figura 16. Valores médios observados e estimados da Massa Específica do clone P- (a) e do clone P+ (b) nas duas áreas de estudo (AO e AL).

Na Figura 16 verifica-se um bom coeficiente de determinação entre os dados observados e estimados, com valores superiores a 0,70 para os clones e áreas.

4.3. Validação do modelo 3-PG

O procedimento de validação realizado neste estudo foi semelhante ao utilizado por Rascon (2012), em que verificou que o modelo proposto por ele e a versão original, tem boa capacidade de extrapolação e descreve com precisão os padrões de crescimento em termos de volume, altura e diâmetro altura do peito (DAP).

Na Figura 17 são apresentados os valores de incremento mensal do volume estimados e os valores de inventário para cada área e clone ao longo dos seis anos de estudo.

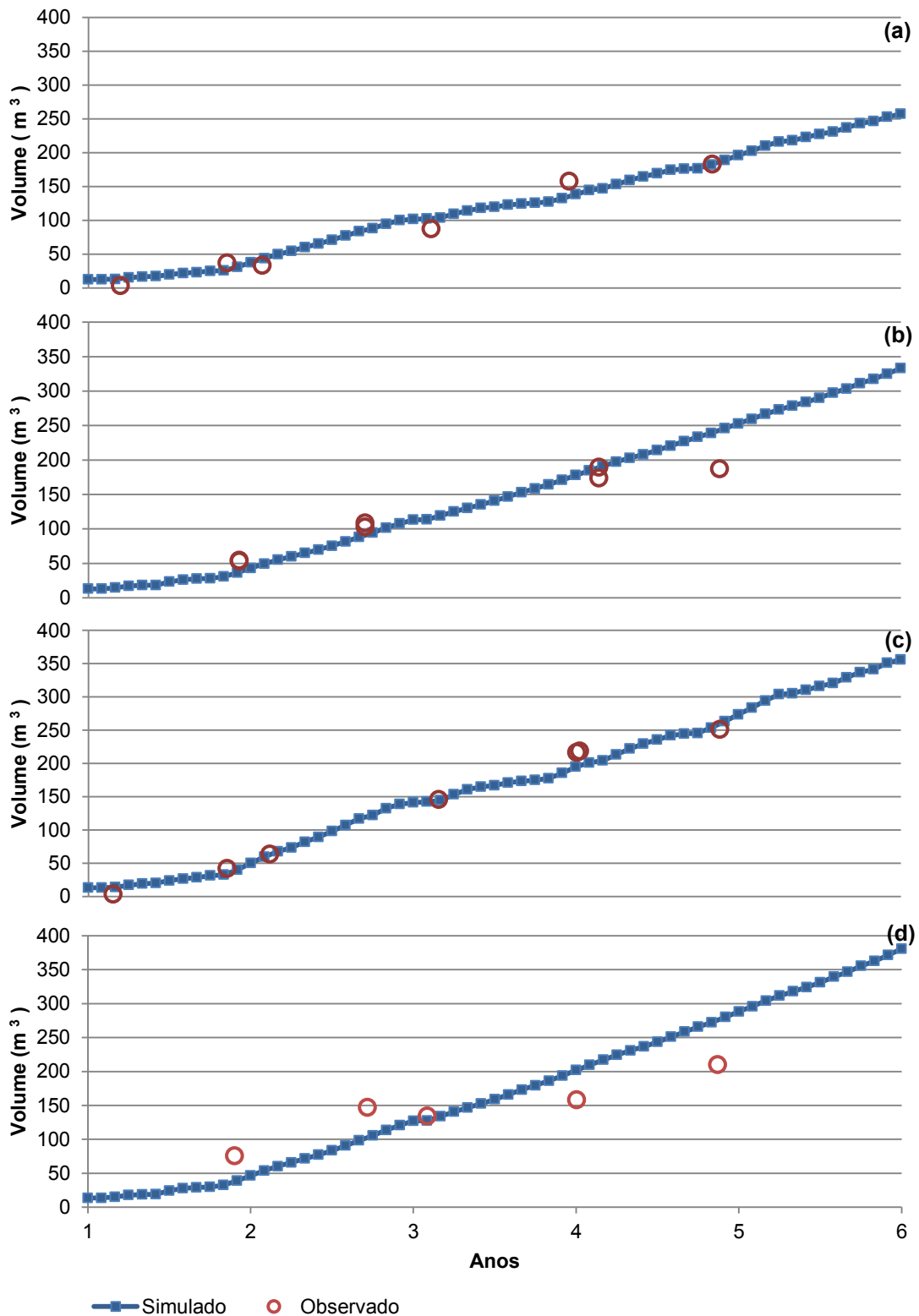


Figura 17. Incremento mensal da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventário para a área AO e o clone P- **(a)**; para a área AL e o clone P- **(b)**; para a área AO e o clone P+ **(c)** e para a área AL e o clone P+ **(d)**.

Observou-se que na área oeste (AO) as predições de volume foram mais coincidentes com os dados observados em relação à área leste (AL), devido a que na área leste se apresentaram crescimentos mais heterogêneos. Contudo, os maiores valores de volume preditos pelo modelo se encontram na área AL, como o esperado, levando-se em consideração os aspectos hídricos (Figuras 17**b** e 17**d**).

Na Figura 18 são apresentados os dados obtidos das simulações e observações do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo para as diferentes áreas e clones. Igualmente ao observado na Figura 18, a área com melhor predição foi a área AO devido a que nesta área se amostraram os crescimentos mais homogêneos (Figura 18).

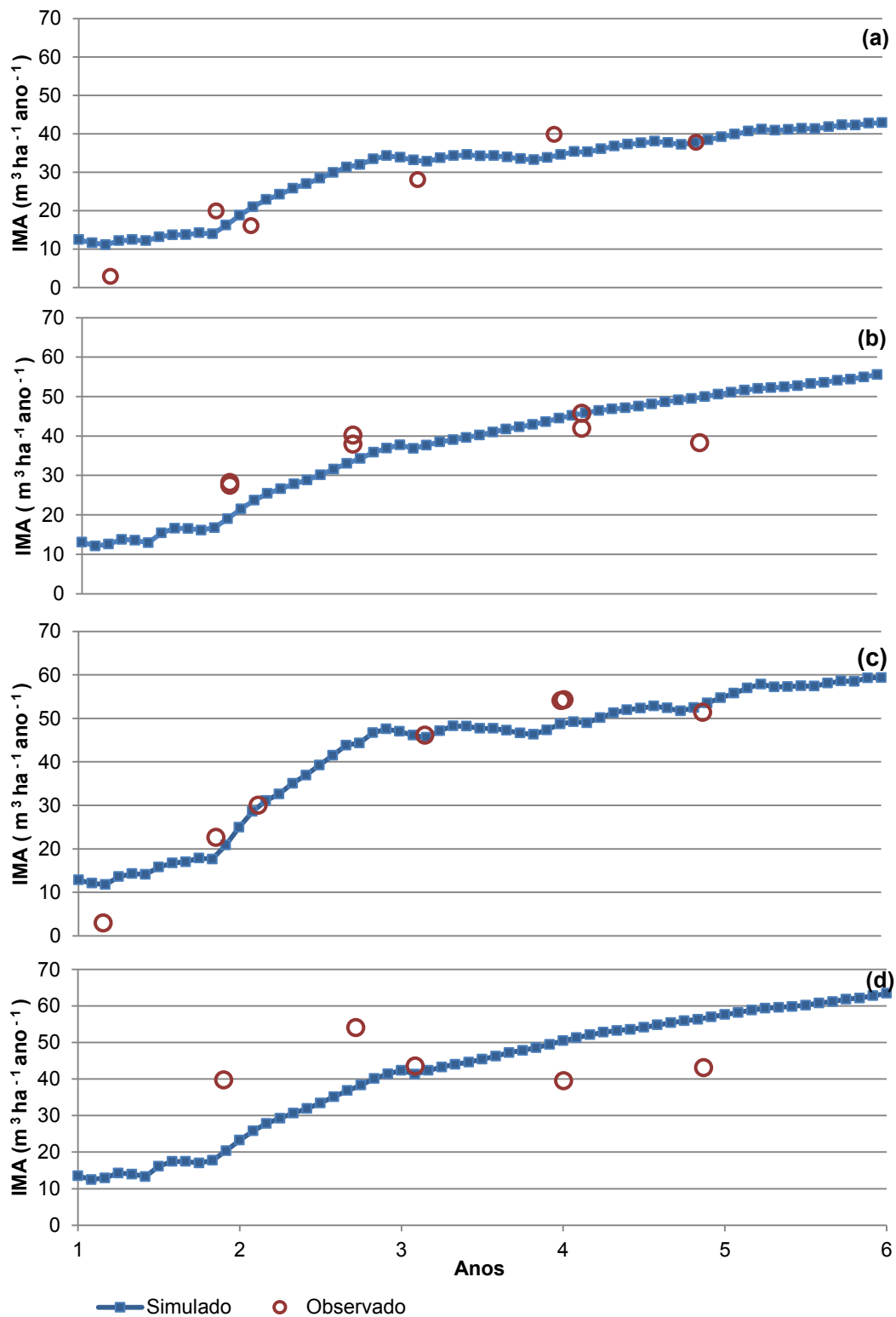


Figura 18. Incremento Médio Anual da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventário para a área AO e o clone P- (a); para a área AL e o clone P- (b); para a área AO e o clone P+ (c) e para a área AL e o clone P+ (d).

Na Figura 19 são apresentados os resultados das variações mensais estimadas e os dados observados obtidos do inventario florestal (observados em campo) da ME para cada área e clone ao longo dos seis anos de estudo. Em geral, o modelo conseguiu coincidir com os dados observados de Massa Específica da madeira para as áreas, clones e idades com um coeficiente de determinação variando entre 0,73 e 0,99.

As correlações do IMA e do Volume estimado e observado na validação dos dados estão evidenciadas nas Figuras 20 e 21 para cada área e clone.

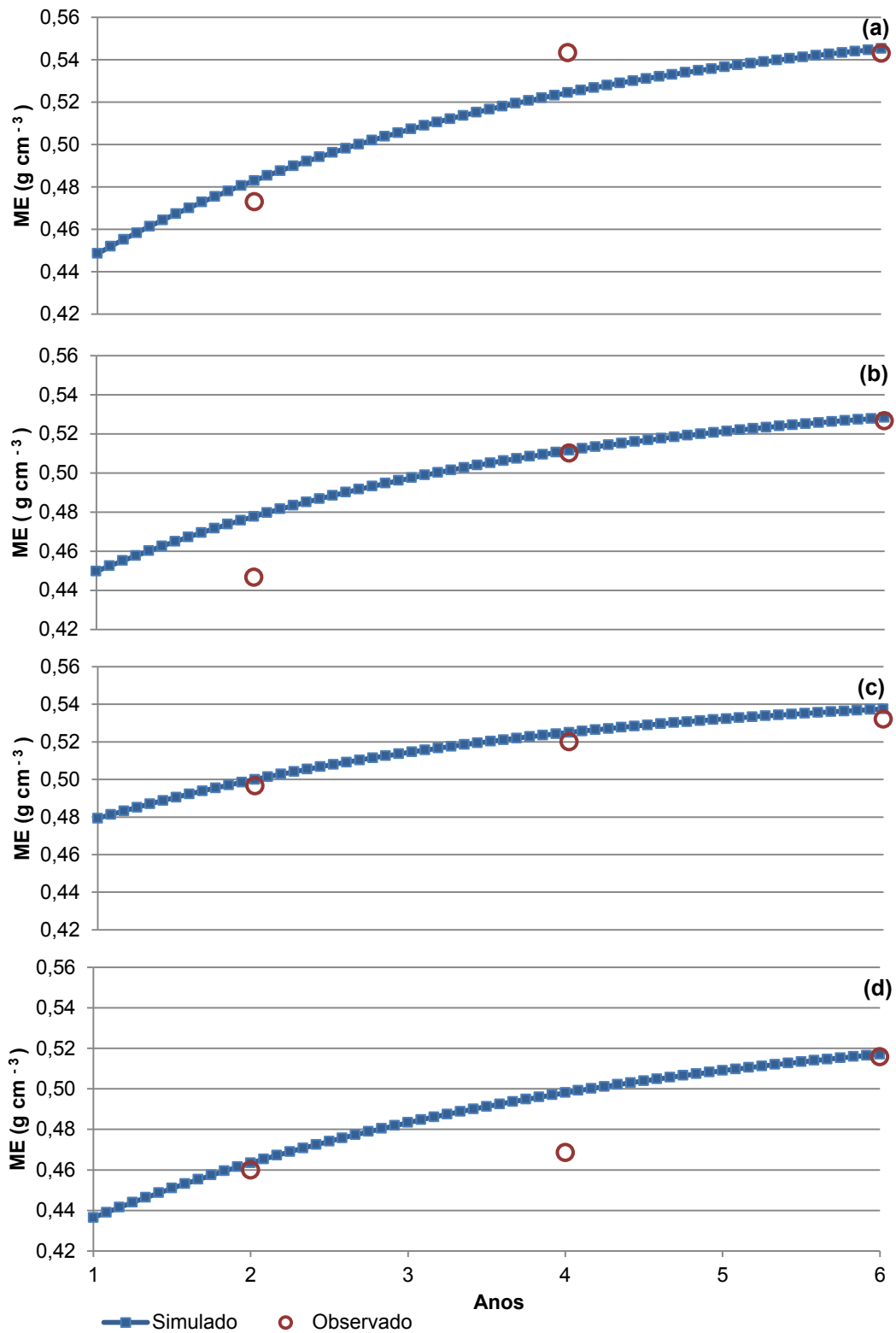


Figura 19. Massa Específica da madeira ao longo dos seis anos de estudo simulados e dados de inventario para a área AO e o clone P- **(a)**; para a área AL e o clone P- **(b)**; para a área AO e o clone P+ **(c)** e para a área AL e o clone P+ **(d)**.

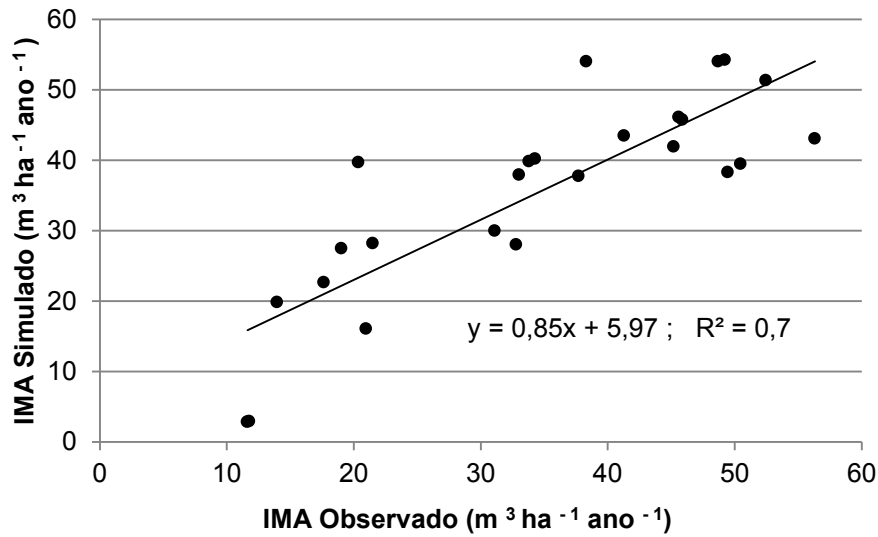


Figura 20. Correlação entre os dados de Incremento Médio Anual observado e estimado pelo 3-PG para as áreas e clones.

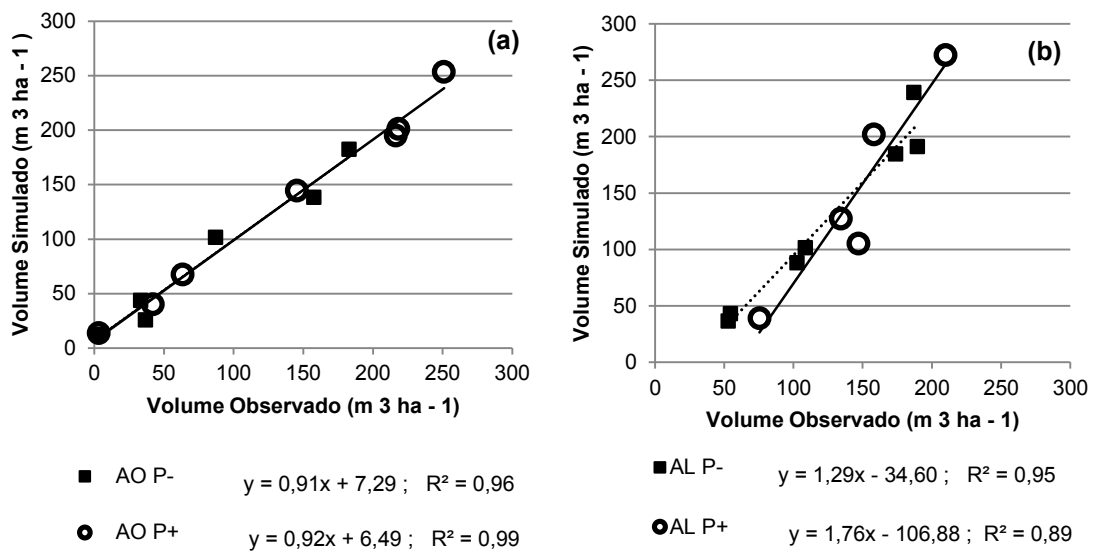


Figura 21. Valores médios de volume de madeira (ha) observado e estimado pelo modelo 3-PG para a área oeste (a) e a área leste (b).

4.4. Simulações

4.4.1. Incremento Corrente Mensal

Na Figura 22 é apresentada a variação do Incremento Corrente Mensal (ICM) médio dos dois clones de eucalipto (P+ e P-) e dos totais mensais de precipitação pluvial observados no período de JAN/2007 a DEZ/2012, referente ao ciclo de produção na área oeste. Os dados de ICM apresentados na Figura 22 são valores médios advindos da base de inventário florestal de 65 talhões fornecidos pela empresa.

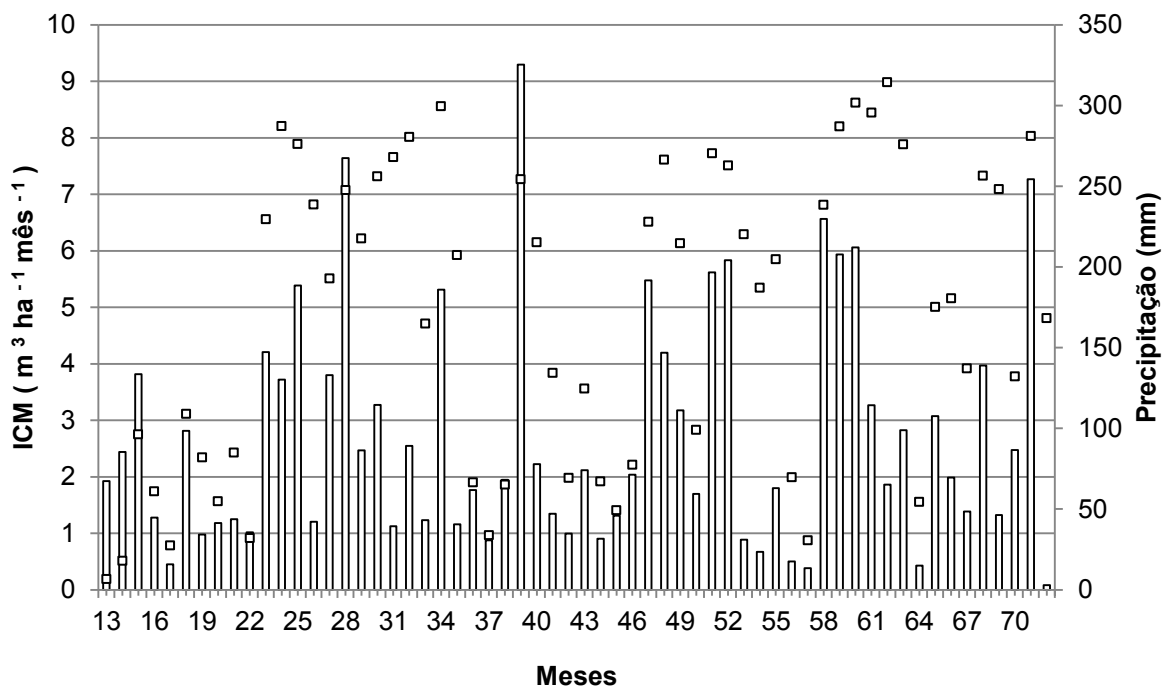


Figura 22. Variação dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 e DEZ/2012 na área oeste.

Na Figura 22 observa-se uma correlação entre local mensal de precipitação pluvial com acúmulo mensal de biomassa, como, por exemplo, nos meses 36, 37 e 38, onde a precipitação pluvial foi de 61,8, 30,6 e 68,1 mm, e o

acúmulo de biomassa foi de 1,89, 0,96 e 1,85 m³ ha⁻¹ mês⁻¹, respectivamente. Já no mês 39, o total de precipitação pluvial foi de 325,2 mm, atingindo com essa precipitação um acúmulo de biomassa de 7,26 m³ ha⁻¹ mês⁻¹. Do mesmo modo, pode ser verificados nos meses 71 e 72, que a precipitação passou de 254,2 para 2,8 mm e o ICM diminuiu de 8,03 a 4,80 m³ ha⁻¹ mês⁻¹.

Na Figura 23 é apresentada a média móvel de quatro meses do ICM dos clones híbridos de eucalipto (P+ e P-) e dos totais mensais de precipitação pluvial observados no período de JAN/2007 a DEZ/2012, referente a um ciclo de produção na área oeste. Observa-se que o ICM em função do tempo é influenciado pela precipitação pluvial. Verifica-se ainda que apesar da precipitação influenciar no aumento da biomassa do eucalipto, a maior aceleração de crescimento é pontuada, aproximadamente, até o terceiro ano, sendo que após este período a aceleração do crescimento diminui próxima à zero.

A variação no acúmulo de biomassa se relaciona às cinco leis de crescimento biológico, em que o aumento é uma função monotônica crescente da idade (1^a lei); os resultados do crescimento biológico são por si só, tipicamente capazes de crescer em um ambiente constante (2^a lei); o crescimento ocorre com velocidade constante, uniforme e específica (3^a lei); sob as condições de desenvolvimento, a aceleração específica de crescimento sempre cai (4^a lei); e, a taxa específica de crescimento declina mais e mais lentamente à medida que o organismo aumenta em idade (5^a lei) (ENCINAS *et al.*, 2005).

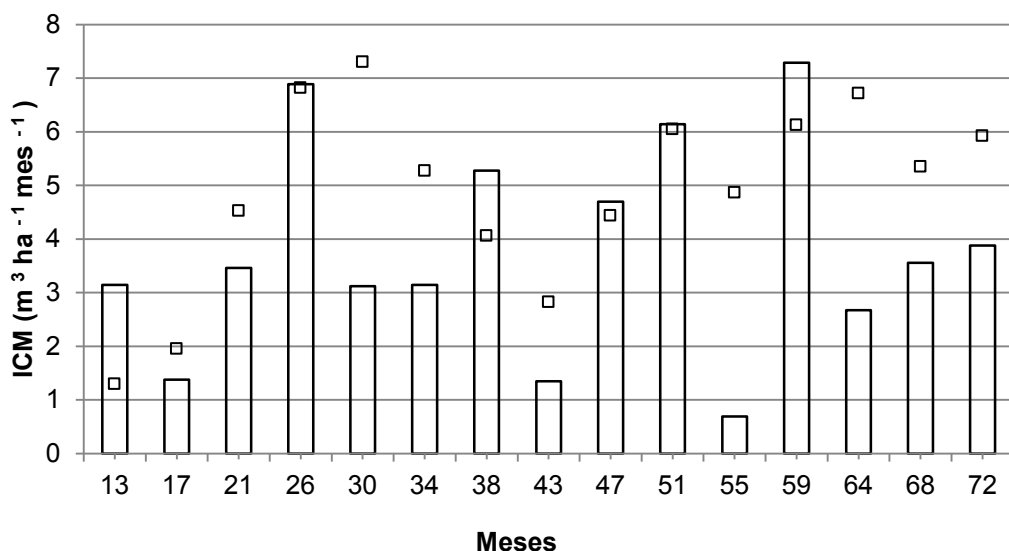


Figura 23. Variação da média móvel dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área.

Na Figura 24 é apresentada a variação média do ICM dos clones híbridos (P+ e P-) de eucalipto e dos totais mensais de precipitação pluvial observados no período de JAN/2007 a DEZ/2012, referente a um ciclo de produção na área leste. Os dados de ICM apresentados na Figura 24 são valores médios advindos da base de inventario florestal de 62 talhões.

Na área leste, o acumulo de volume por hectare por mês, tal como na área oeste foi influenciada pela precipitação pluvial mensal (Figura 24). Observa-se que as precipitações pluviais dos meses anteriores influenciaram no aumento do ICM do próximo mês, como por exemplo, nos meses 68, 69, 70 e 71, as precipitações pluviais foram de 144,5, 103,4, 66,4 e 263,4 mm com um ICM de 6,60, 8,33, 6,55 e 8,32 m³ ha⁻¹ mês⁻¹, respectivamente, e, no mês 72, embora a precipitação pluvial tenha sido de 12,3, o ICM atingiu os 8,71 m³ ha⁻¹ mês⁻¹. Este fato também pode ser observado nos meses 23 e 24, 47 e 48 e, 65 e 66.

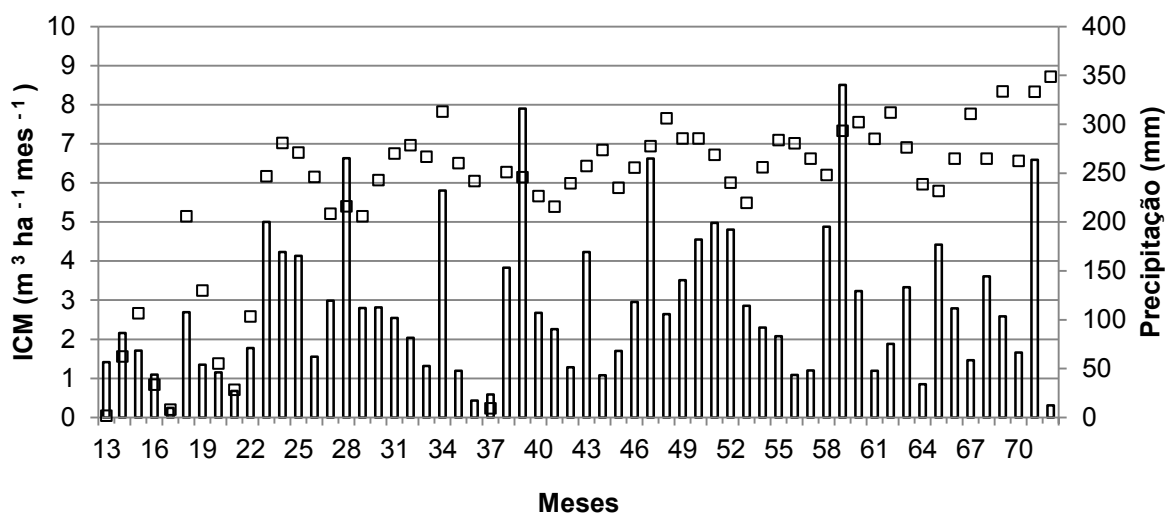


Figura 24. Variação dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área leste.

Na Figura 25 é apresentada a média móvel do ICM dos clones híbridos de eucalipto (P+ e P-) e dos totais mensais de precipitação pluvial observados no período de JAN/2007 a DEZ/2012, referente a um ciclo de produção na área AL.

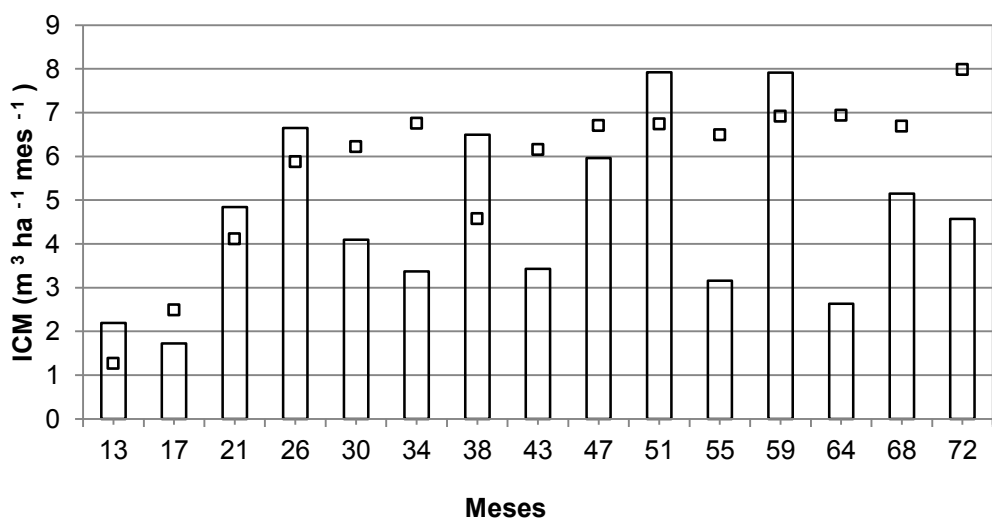


Figura 25. Variação da média móvel dos totais mensais de precipitação pluvial (barras) e do Incremento Corrente Mensal (quadrados) médios dos clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área AL.

clones estudados (P- e P+), simulados ao longo do ciclo de produção do eucalipto, no período entre JAN/2007 a DEZ/2012 na área leste.

Pode-se, de maneira geral pelas Figuras 23 e 25 distinguir duas fases de crescimento dos plantios para ambas as áreas, correspondendo à primeira com três primeiros anos de desenvolvimento das árvores e a outra com três últimos anos. Na primeira fase verifica-se uma aceleração do crescimento e na segunda fase a aceleração de crescimento tende a ser constante. Isso resulta em velocidade de crescimento exponencial nos primeiros três anos de desenvolvimento dos plantios e velocidade praticamente constante nos últimos três anos do ciclo produtivo.

Fundamentado nesses resultados, criou-se cenários compostos de períodos ótimos de crescimento com base na condição climática com destaque para a precipitação pluvial e períodos antagônicos em que as plantas se desenvolveriam em condições climáticas adversas. As duas fases foram subdivididas em três períodos, em função das duas áreas e dois clones estudados, tendo uma composição fatorial de 48 cenários. Para se obter a significância estatística das simulações, os 20 % dos anos mais e menos chuvosos foram escolhidos, sendo utilizados os três anos mais chuvosos e três mais secos, em 48 simulações distintas.

4.4.2. Cenários de simulação

Na Figura 26 é apresentada as variações dos Incrementos Médios Anuais estimados ao longo dos seis anos de estudo dos cenários 1 ao 8, os quais apresentam as condições mais secas e mais úmidas (extremos hídricos) levando em consideração o aspecto de disponibilidade hídrica. Verificou-se a existência de maior produtividade em todo o ciclo do cultivo para a área oeste e clone P+ (Cenário 4), seguida da área leste e clone P+ (Cenário 8). Já para o clone P- nas duas áreas, nos dois extremos hídricos, teve as menores produtividades (Cenários 1, 3, 5 e 7).

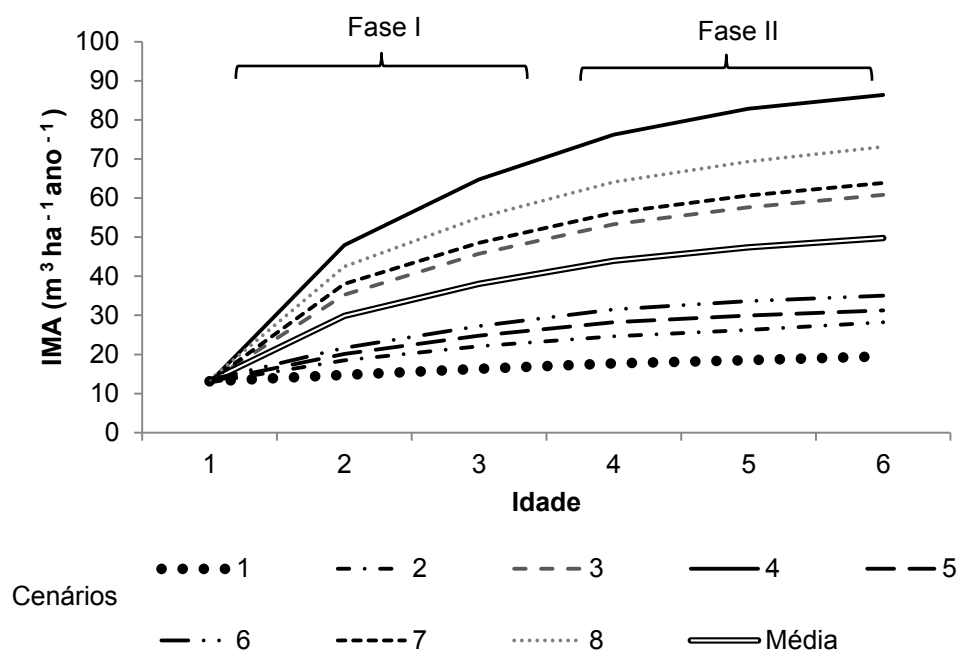


Figura 26. Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos do ciclo produtivo estimado para as condições mais secas e mais úmidas sob o aspecto de disponibilidade hídrica.

A variação do IMA dependendo da disponibilidade hídrica em cada fase de crescimento está apresentada no Quadro 31. Observa-se que o intervalo entre o cenário 1 e 8, são apresentadas as produtividades máximas possíveis com anos de maior disponibilidade hídrica e as menores produtividades possíveis para anos baixa disponibilidade hídrica para cada área e clone.

Quadro 31. Valores médios de IMA para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.

Cenários	Área	Clone	Incremento Médio Anual ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	16,4 ±1,3	17,7 ±1,6	18,5 ±1,6	19,5 ±1,6
2	AO	P +	12,8	18,5 ±1,3	22,1 ±1,8	24,6 ±2,2	26,3 ±2,1	28,2 ±2,2
3	AO	P -	13,1	35,3 ±5,1	45,7 ±6,3	53,3 ±7,4	57,6 ±8,2	60,8 ±8,7

4	AO	P +	12,8	48,0 ±6,4	64,8 ±8,2	76,2 ±9,9	82,8 ±11	86,4 ±10,2
5	AL	P -	13,1	20,1 ±0,9	24,8 ±2,6	28,2 ±3,7	30,0 ±4,5	31,2 ±4,8
6	AL	P +	13,5	21,7 ±1	27,3 ±3	31,5 ±4,3	33,7 ±5,2	35,1 ±5,9
7	AL	P -	13,1	38,0 ±0,6	48,6 ±0,4	56,2 ±1	60,6 ±1,3	63,8 ±1,5
8	AL	P +	13,5	42,5 ±0,7	55,0 ±0,5	64,1 ±1,1	69,3 ±1,5	73,1 ±1,8
9	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	16,4 ±1,3	17,7 ±1,6	18,5 ±1,6	26,7 ±0,9
10	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	16,4 ±1,3	17,7 ±1,6	27,8 ±1,1	35,7 ±2,4
11	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	16,3 ±1,3	29,9 ±1,5	39,0 ±3,5	45,2 ±4,6
12	AO	P +	12,8	18,5 ±1,3	22,1 ±1,8	24,6 ±2,2	26,3 ±2,1	38,1 ±1,5
13	AO	P +	12,8	18,5 ±1,3	22,1 ±1,8	24,6 ±2,2	39,2 ±1,7	50,9 ±3,5
14	AO	P +	12,8	18,5 ±1,3	22,1 ±1,8	42,1 ±2,2	55,5 ±4,7	64,6 ±6,4
15	AL	P -	13,1	20,1 ±0,9	24,8 ±2,6	28,2 ±3,7	30,0 ±4,5	38,0 ±4,1
16	AL	P -	13,1	20,1 ±0,9	24,8 ±2,6	28,2 ±3,8	38,1 ±3,2	45,1 ±2,6
17	AL	P -	13,1	26,4 ±10,7	32,4 ±14	40,6 ±4,7	45,8 ±1,9	49,4 ±5,2
18	AL	P +	13,5	21,7 ±1	27,3 ±3	31,5 ±4,3	33,7 ±5,3	43,1 ±4,7
19	AL	P +	13,5	21,7 ±1	27,3 ±3	31,5 ±4,4	43,2 ±3,7	51,3 ±3
20	AL	P +	13,5	21,7 ±1	27,3 ±3	43,4 ±2,3	52,8 ±1,8	59,4 ±1,5
21	AO	P -	13,1	35,3 ±5,1	45,7 ±6,3	53,3 ±7,4	57,4 ±7,9	52,0 ±6,5
22	AO	P -	13,1	35,3 ±5,1	45,7 ±6,3	53,0 ±7,1	47,2 ±5,6	42,9 ±4,3
23	AO	P -	13,1	35,3 ±5,1	45,3 ±6	40,2 ±4,2	36,3 ±3	34,2 ±2,2
24	AO	P +	12,8	48,0 ±6,4	64,8 ±8,2	76,2 ±9,9	82,5 ±10,4	74,8 ±8,8
25	AO	P +	12,8	48,0 ±6,4	64,8 ±8,2	75,8 ±9,5	67,8 ±7,4	62,0 ±5,7
26	AO	P +	12,8	48,0 ±6,4	64,3 ±7,8	57,4 ±5,5	52,2 ±3,9	49,9 ±2,8
27	AL	P -	13,1	38,0 ±0,6	48,6 ±0,4	56,2 ±1	60,6 ±1,2	57,9 ±2,1
28	AL	P -	13,1	38,0 ±0,6	48,6 ±0,4	56,2 ±0,8	53,6 ±2	50,8 ±2,1
29	AL	P -	13,1	38,0 ±0,6	48,5 ±0,3	47,4 ±1,9	45,4 ±2,3	44,0 ±2,8
30	AL	P +	13,5	42,5 ±0,7	55,0 ±0,5	64,1 ±1,1	69,3 ±1,4	66,1 ±2,5
31	AL	P +	13,5	42,5 ±0,7	55,0 ±0,5	64,1 ±1	61,1 ±1,4	58,0 ±2,4
32	AL	P +	13,5	42,5 ±0,7	54,9 ±0,3	53,9 ±2,3	51,6 ±2,6	49,8 ±3,5
33	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	31,3 ±2,5	30,0 ±2,5	28,2 ±2,1	27,5 ±1,8
34	AO	P -	13,1	35,3 ±5,1	45,3 ±6	40,2 ±4,2	36,3 ±3	34,2 ±2,2
35	AO	P +	12,8	27,2 ±15,6	48,7 ±8,2	45,7 ±5,9	42,9 ±5	42,2 ±4,4
36	AO	P +	12,8	48,0 ±6,4	64,3 ±7,8	57,4 ±5,5	52,2 ±3,9	49,9 ±2,8
37	AL	P -	13,1	20,1 ±1	36,7 ±0,7	38,7 ±2,2	38,4 ±2,7	38,2 ±3,2
38	AL	P -	13,1	38,0 ±0,6	48,5 ±0,3	47,4 ±1,9	45,4 ±2,3	44,0 ±2,8
39	AL	P +	13,5	21,7 ±1,1	41,2 ±0,8	43,6 ±2,6	43,5 ±3,1	43,2 ±3,9
40	AL	P +	13,5	42,5 ±0,7	54,9 ±0,3	53,9 ±2,3	51,6 ±2,6	49,8 ±3,5
41	AO	P -	13,1	34,7 ±4,7	30,2 ±2,7	40,8 ±4,2	47,6 ±5,5	52,5 ±6,5
42	AO	P -	13,1	14,8 ±0,9	16,3 ±1,3	29,9 ±1,5	39,0 ±3,5	45,2 ±4,6

43	AO	P +	12,8	47,3 ±6	42,2 ±3,3	57,9 ±5,3	68,1 ±7,2	75,3 ±8,7
44	AO	P +	12,8	18,5 ±1,3	22,1 ±1,8	42,1 ±2,2	55,5 ±4,7	64,6 ±6,4
45	AL	P -	13,1	37,9 ±0,8	38,2 ±1,8	48,7 ±1,4	54,6 ±1,5	58,9 ±1,6
46	AL	P -	13,1	20,1 ±0,9	24,8 ±2,6	38,4 ±2	46,4 ±1,5	52,0 ±1,3
47	AL	P +	13,5	42,3 ±1	42,9 ±2,1	55,4 ±1,6	62,3 ±1,8	67,3 ±1,9
48	AL	P +	13,5	21,7 ±1	27,3 ±3	43,4 ±2,3	52,8 ±1,8	59,4 ±1,5

A coluna que apresenta os IMAs para o primeiro ano não apresentam desvio padrão pois referencia os dados observados, uma vez que optou-se por simular o crescimento a partir da idade de 13 meses.

Inicialmente se tem a percepção de que os maiores valores de IMA para o cenário 4 são incoerentes ao que se espera da relação das resposta das plantas a disponibilidade hídrica, porém é necessário levar em consideração as análises da interação genótipo-ambiente, a saber:

A área oeste (AO) para o clone mais produtivo (P+) se mostrou mais produtiva que a área leste (AL) para o mesmo clone, em que se verifica, de maneira geral, um maior total de precipitação pluvial total. Enquanto na área oeste os totais de chuva nos sítios amostrais em média variaram entre 1.111 a 1.238 mm e na área leste estes totais variam de 1.407 e 1.683 mm (Quadro 1).

Alguns fatores podem explicar o maior valor médio de IMA na área oeste, destacando-se a melhor distribuição das chuvas ao longo dos meses apresentada mesmo com totais mensais e anuais menores, a maior fertilidade do solo (Quadro 2) e a eficiência de resposta do material genético utilizado.

Nota-se que existe uma alta correlação entre os dados observados e simulados pelo modelo (Figuras 7, 18 e 20) corroborando com os fatores explicitados que explicam as variações nos valores (Quadro 12 – Anexo) de IMA entre áreas e clones. Por outro lado, os anos com menor disponibilidade hídrica, o índice de sítio, do ponto de vista climático, é mais importante que o material genético sendo verificados maiores IMAs para os plantios realizados nas áreas leste, independentemente do clone utilizado.

Para os casos de simulação em quanto a disponibilidade e restrição hídrica, espera-se uma produtividade em volume de madeira IMA mínima de 19,5 (±1,6) e máxima de 60,8 (±10,2), sendo o maior valor observado para a combinação da área oeste (AO) e o clone P+ e o menor pela combinação da área oeste e do clone P-. Verifica-se ainda que estes valores extremos são

estatisticamente diferentes a 5 % de probabilidade pelo teste de Tuckey (Quadro 31 e Anexo 20).

Para o clone menos produtivo (P-) na área oeste na Fase II (Cenários 9, 10 e 11 do Quadro 31), observa-se que à medida que aumentou o número de anos úmidos aumentou-se também os valores de IMA. De forma similar, o mesmo lá observado nos cenários 12 a 20 (Quadro 31). Assim, se pode dizer que, se nos primeiros anos se apresentam anos secos, o efeito do estresse hídrico não vai ser tão agressivo se o período seco acontece em uma idade mais jovem, já que quanto maior número de anos úmidos nas últimas idades do cultivo maior será o acúmulo de biomassa se comparado com a idade jovem. As variações do IMA ao longo dos seis anos de estudo para os cenários 9 ao 20 e para os cenários 21 até 32 (Quadro 31) podem ser observado, respectivamente, nas Figuras 27 e 28.

Comparando a variação do IMA em função dos anos secos e úmidos nos Cenários 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29 e 32 (Quadro 31), demonstra-se que o plantio de eucalipto responde melhor ou se recupera mais facilmente de uma seca, quando as maiores precipitações acontecem na Fase II. Em geral, quando ocorre um período de baixa pluviosidade na Fase I de crescimento, a produtividade não é muito afetada quando comparada a ocorrência de período seco na Fase II de crescimento das árvores (Quadro 31 e Figuras 27 e 28).

Avaliados os Cenários 41 até 48, observou-se que os maiores valores de IMA foram obtidos para os Cenários 43, 44 e 47, que tem o maior número de anos úmidos na Fase II. O IMA dos cenários entre 41 e 48 ao longo dos seis anos de estudo pode ser observado na Figura 30 e, o IMA dos cenários 33 ao 40 pode ser observado na Figura 29.

Observa-se que as maiores disponibilidades hídricas ocorridas nos últimos anos de idade do cultivo de eucalipto foram as que mais contribuíram para o incremento da biomassa, e de igual forma, as maiores restrições hídricas ocorridas nos três últimos anos de idade foram as que mais limitaram o IMA (Quadro 31 e Figuras 27 e 28).

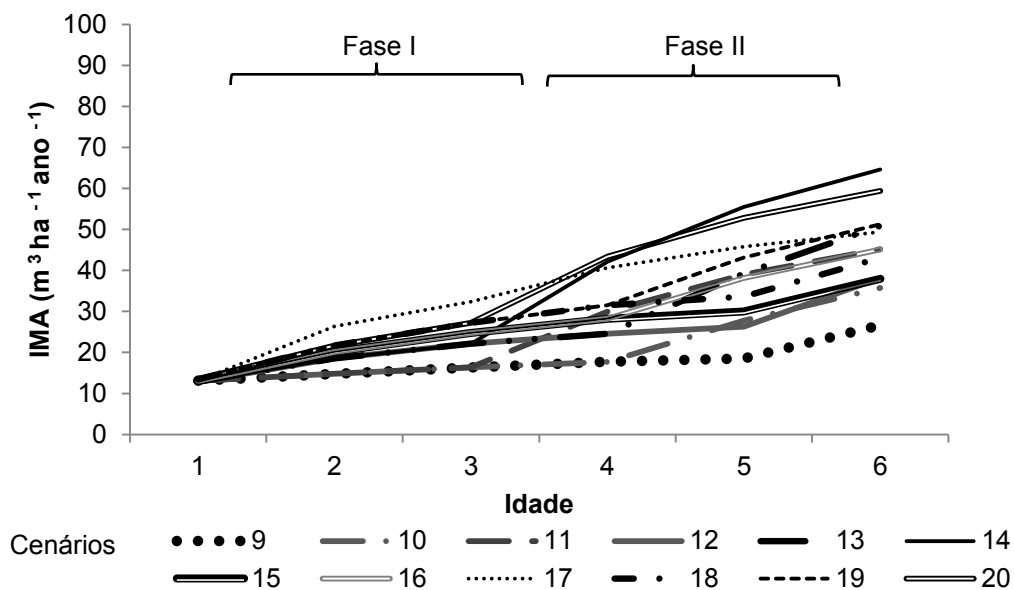


Figura 27. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 9 a 20, correspondentes a restrição hídrica na Fase I e variação das restrições na Fase II.

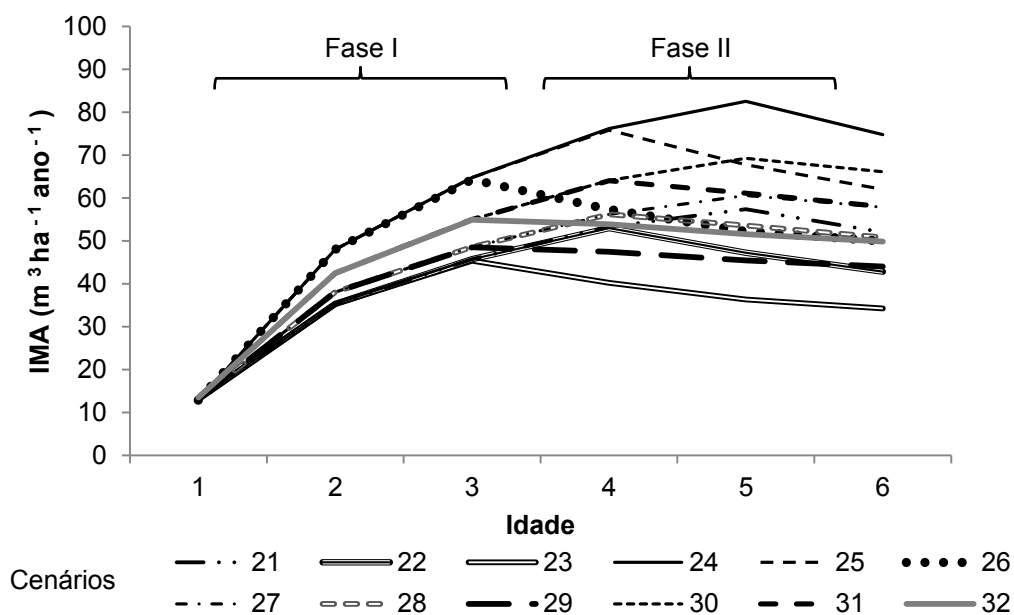


Figura 28. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 21 a 32, correspondentes à, sem restrição hídrica na Fase I e variação das restrições hídricas na Fase II.

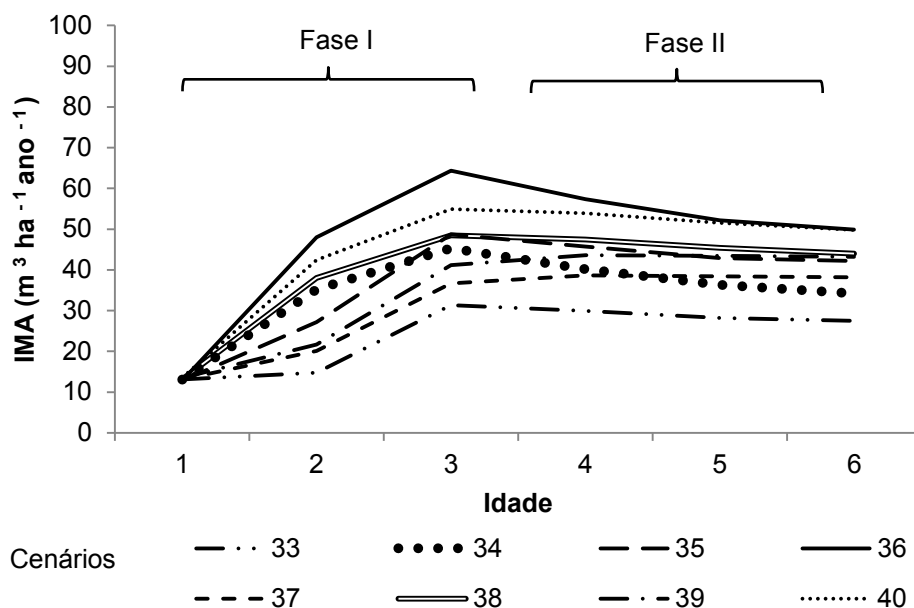


Figura 29. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 33 a 40, correspondentes à, restrição hídrica na Fase II e variação das restrições hídricas na Fase II.

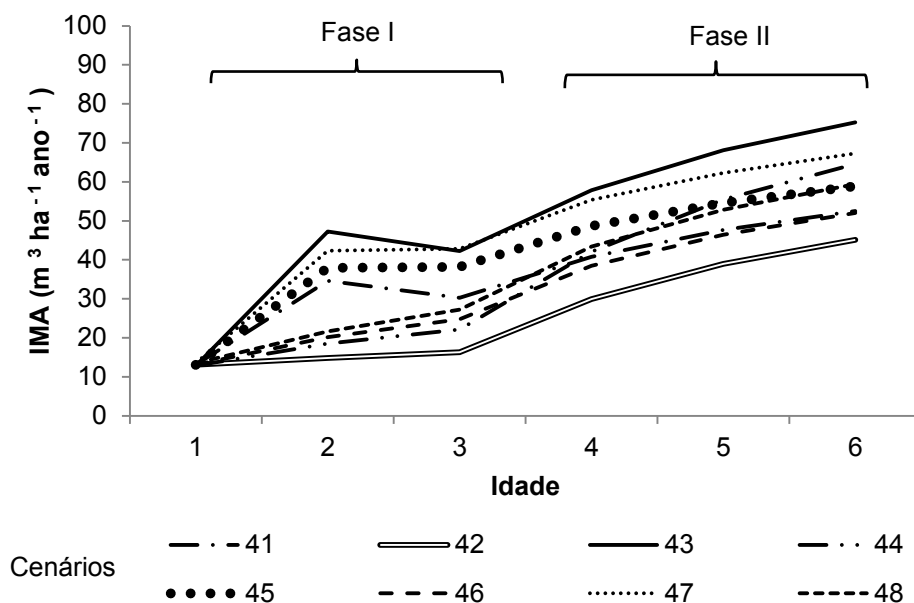


Figura 30. Variação do Incremento Médio Anual ao longo dos seis anos de estudo utilizando os cenários de simulação de 41 a 48, correspondentes à, sem restrição hídrica na Fase II e variação das restrições hídricas na Fase I.

No Quadro 32 são apresentados os valores médios de Incremento Corrente Anual (ICA) para todos os Cenários de simulação.

Quadro 32. Incremento Corrente Anual (ICA) para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones ao longo do ciclo de seis anos.

Cenários	Área	Clone	Incremento Corrente Anual ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$)					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	14,5 C	17,5±1,9 CD	20,3±2,1 AD	21,6±2,4 AB	22,6±1,5 AB	24,4±1,5 B
2	AO	P +	12,8 D	24,2±2,4 C	29,3±2,8 AC	32,0±3,2 AB	33,2±1,7 AB	37,8±2,6 B
3	AO	P -	13,1 A	57,4±9,5 B	66,7±5,7 B	76,0±6,4 B	75,0±6,4 B	76,8±6,7 B
4	AO	P +	12,8 A	83,2±12 B	98,3±7 B	110,6±7,9 B	109,3±8 B	104,3±4,4 B
5	AL	P -	13,1 A	27,2±1,7 AB	34,0±5,7 B	38,6±6,8 B	37,0±7,2 B	37,6±6,1 B
6	AL	P +	13,5 A	29,9±2 AB	38,4±6,6 B	44,2±8 B	42,3±8,2 B	42,1±8,5 B
7	AL	P -	13,1 A	63,0±0,5 B	69,6±0,8 C	79,2±0,9 D	78,3±0,9 D	79,9±0,9 D
8	AL	P +	13,5 A	71,4±0,5 B	80,0±1 C	91,6±1,1 D	90,1±1,1 D	91,9±1,1 D
9	AO	P -	13,1 A	16,5±1,8 A	19,5±2 A	21,9±2,4 A	21,5±1,3 A	67,5±4,5 B
10	AO	P -	13,1 A	16,5±1,8 A	19,5±2 A	21,8±2,4 A	68,0±4,9 B	75,5±6,1 B
11	AO	P -	13,1 A	16,5±1,8 A	19,4±2 A	70,7±5,2 B	75,2±6,5 B	76,0±6,2 B
12	AO	P +	12,8 A	24,2±2,4 AB	29,3±2,8 C	32,0±3,2 C	33,1±1,7 C	97,4±4,9 D
13	AO	P +	12,8 A	24,2±2,4 A	29,3±2,8 A	31,9±3,1 A	97,8±5,8 B	109,1±7,6 B
14	AO	P +	12,8 A	24,2±2,4 A	29,3±2,7 A	102,1±6 B	109,0±8 B	110,1±7,7 B
15	AL	P -	13,1 A	27,2±1,7 B	34,0±5,7 B	38,6±6,8 B	37,0±7,3 B	78,0±1,7 C
16	AL	P -	13,1 A	27,2±1,7 B	34,0±5,7 BC	38,6±7 C	77,8±0,9 D	79,8±0,7 D
17	AL	P -	13,1 A	39,7±7,3 A	44,3±8,8 A	65,5±8,1 A	66,6±7,6 A	67,2±8,1 A
18	AL	P +	13,5 A	29,9±2 B	38,4±6,6 B	44,2±8 B	42,3±8,5 B	90,2±1,9 C
19	AL	P +	13,5 A	29,9±2 B	38,4±6,6 BC	44,2±8,2 C	89,9±1 D	92,0±0,8 D
20	AL	P +	13,5 A	29,9±2 B	38,4±6,8 B	91,9±0,3 C	90,4±1 C	92,2±0,8 C
21	AO	P -	13,1 A	57,4±9,5 B	66,7±5,7 B	76,0±6,4 B	73,7±5,8 B	25,0±2 A
22	AO	P -	13,1 A	57,4±9,5 A	66,7±5,7 A	74,6±5,8 B	24,2±2,1 B	21,1±2,4 B
23	AO	P -	13,1 A	57,4±9,5 A	65,4±5,2 A	24,8±2,2 A	20,9±2,3 B	23,6±1,3 B
24	AO	P +	12,8 A	83,2±12 B	98,3±7 B	110,6±7,9 B	107,8±7,3 B	36,1±2,5 A
25	AO	P +	12,8 A	83,2±12 B	98,3±7 B	109,0±7,2 B	35,6±2,6 A	33,3±3,1 A
26	AO	P +	12,8 A	83,2±12 C	96,9±6,4 C	36,5±2,7 B	31,5±3 AB	38,6±2,6 B
27	AL	P -	13,1 A	63,0±0,5 C	69,6±0,8 CD	79,2±0,9 D	78,0±0,7 D	44,2±4,9 B
28	AL	P -	13,1 A	63,0±0,5 C	69,6±0,8 CD	78,9±0,7 D	43,4±4,7 B	37,1±6,9 B
29	AL	P -	13,1 A	63,0±0,5 C	69,4±0,6 C	44,3±4,8 B	37,2±6,6 B	36,9±6,2 B
30	AL	P +	13,5 A	71,4±0,5 C	80,0±1C D	91,6±1,1 D	89,8±0,8 D	50,3±5,7 B
31	AL	P +	13,5 A	71,4±0,5 C	80,0±1C D	91,3±0,8 D	49,4±5,4 B	42,1±8,1 B
32	AL	P +	13,5 A	71,4±0,5 C	79,8±0,7 C	50,8±5,6 B	42,4±7,7 B	41,2±8,7 B

33	AO	P -	13,1 A	16,5±1,8 AB	64,3±2,6 C	25,9±2,5 B	21,3±2,2 AB	23,7±1,2 B
34	AO	P -	13,1 A	57,4±9,5 B	65,4±5,2 B	24,8±2,2 A	20,9±2,3 A	23,6±1,3 A
35	AO	P +	12,8 A	41,6±10,6 AB	74,2±13 B	36,4±2,6 AB	31,7±3 AB	38,5±2,5 AB
36	AO	P +	12,8 A	83,2±12 C	96,9±6,4 C	36,5±2,7 B	31,5±3 AB	38,6±2,6 B
37	AL	P -	13,1 A	27,2±1,9 B	69,8±0,1 D	44,5±4,8 C	37,5±6,6 BC	37,2±6,3 BC
38	AL	P -	13,1 A	63,0±0,5 C	69,4±0,6 C	44,3±4,8 B	37,2±6,6 B	36,9±6,2 B
39	AL	P +	13,5 A	29,9±2,2 AB	80,1±0,1 D	51,1±5,6 C	42,8±7,7 BC	41,7±8,5 BC
40	AL	P +	13,5 A	71,4±0,5 C	79,8±0,7 C	50,8±5,6 B	42,4±7,7 B	41,2±8,7 B
41	AO	P -	13,1 A	56,2±9,1 B	21,4±1,8 A	72,4±5,8 B	75,1±6,5 B	77,1±6,7 B
42	AO	P -	13,1 A	16,5±1,8 A	19,4±2 A	70,7±5,2 B	75,2±6,5 B	76,0±6,2 B
43	AO	P +	12,8 A	81,8±11 B	32,1±2,4 A	104,7±6,7 B	109,0±8 B	111,2±8,3 B
44	AO	P +	12,8 A	24,2±2,4 A	29,3±2,7 A	102,1±6 B	109,0±8 B	110,1±7,7 B
45	AL	P -	13,1 A	62,8±0,6 B	38,7±4,5 C	80,3±0,2 D	78,3±0,9 D	80,1±0,9 D
46	AL	P -	13,1 A	27,2±1,7 B	34,0±5,9 B	79,5±0,2 C	78,4±0,9 C	80,1±0,7 C
47	AL	P +	13,5 A	71,2±0,6 B	43,9±5,2 C	92,8±0,2 D	90,2±1,1 D	92,1±1,1 D
48	AL	P +	13,5 A	29,9±2 B	38,4±6,8 B	91,9±0,3 C	90,4±1 C	92,2±0,8 C

A coluna que apresenta os ICAs para o primeiro ano não apresentam desvio padrão, pois referencia os dados observados, uma vez que se optou por simular o crescimento a partir da idade de 13 meses. As médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5% de significância pelo teste de Tukey entre as distintas idades e não entre os distintos cenários.

Quando submetidos os clones a mudanças de condições de maior disponibilidade hídrica para condições de maior restrição hídrica, o Incremento Corrente Anual (ICA) na área oeste apresentou uma redução em média de 3,3 vezes. Já para a área leste o acúmulo de biomassa por ano caiu em média 2,1 vezes (Quadro 32). Deste modo, verifica-se que a disponibilidade hídrica é diretamente proporcional ao acúmulo de biomassa por ano, ou seja, regiões com maior disponibilidade hídrica tem maior potencial de produtividade de biomassa, mas sob certas condições, como mencionadas anteriormente, o material genético pode garantir maior produtividade, mesmo que os totais de chuva sejam menores.

Como era de se esperar, em todos os cenários do Quadro 32 observa-se um acúmulo de biomassa anual líquido maior quando existe uma maior disponibilidade hídrica e é menor com maior restrição hídrica. Por exemplo, nos Cenários 9, 12, 15 e 18, o Incremento Corrente Anual aumentou 314, 294, 211 e 213 % respectivamente, entre o quinto e o sexto ano de idade, em que passou de restrição hídrica para disponibilidade hídrica. Por outro lado, nos cenários 21, 24, 27 e 30, apresentou-se uma queda de 295, 294, 176 e 178 %

respectivamente, em que passou de disponibilidade hídrica para restrição hídrica. Em todos os casos existe diferença significativa a 5 % de significância pelo teste Tukey entre idades de cinco (05) e seis (06) anos.

Nos Cenários 3 e 4 do Quadro 32, observa-se que na área oeste independente do clone, o acúmulo de biomassa por ano não apresentou diferenças significativas nas últimas cinco idades, em que nessas mesmas idades existiu disponibilidade hídrica. De igual forma, aconteceu na área leste nos Cenários 5 e 6, mas com restrição hídrica nos últimos cinco anos de idade. Por outro lado, na área oeste com restrição hídrica (Cenários 1 e 2) e na área leste com disponibilidade hídrica (Cenários 7 e 8), só nos últimos três anos de idade não apresentaram diferenças significativas (Quadro 32). Assim, demonstra-se que existem mudanças significativas no acúmulo de biomassa quando existem diferenças nas disponibilidades hídricas.

Esperava-se que os cenários com maior disponibilidade hídrica em todos os seis (06) anos de produção, mostraram os maiores valores de ICA ao sexto ano de idade (Cenários 3, 4, 7 e 8 do Quadro 32), contudo, verificou-se que dependendo das restrições históricas nas que se desenvolve um cultivo nos primeiros anos de idade, o ICA aumenta em maior proporção no sexto ano de idade (Cenários 11, 13, 14, 16, 19 e 20 do Quadro 32). Os maiores valores de ICA no sexto ano de idade dos cenários 11, 13, 14, 16, 19 e 20, podem decorrer do crescimento limitado da planta nos primeiros anos de idade por condições hídricas adversas, impedindo um acúmulo de biomassa maior, que, quando as condições hídricas são favoráveis, o seu crescimento acontece em maiores proporções, pois a planta ainda não atingiu o ponto máximo de crescimento.

No Quadro 33 estão apresentados os valores estimados de Massa Específica (ME) da madeira pelo modelo nos diferentes eventos de clima (restrição hídrica e disponibilidade hídrica), nas duas fases de crescimento.

Quadro 33. Variação da Massa Específica para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.

Cenários	Área	Material Genético	Massa Específica (g cm ⁻³)					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	0,449	0,483	0,507	0,525	0,537	0,545
2	AO	P +	0,479	0,5	0,515	0,525	0,532	0,538
3	AO	P -	0,449	0,483	0,507	0,525	0,537	0,545
4	AO	P +	0,479	0,5	0,515	0,525	0,532	0,538
5	AL	P -	0,45	0,478	0,498	0,511	0,521	0,528
6	AL	P +	0,436	0,463	0,483	0,498	0,509	0,517
7	AL	P -	0,45	0,478	0,498	0,511	0,521	0,528
8	AL	P +	0,436	0,463	0,483	0,498	0,509	0,517

As colunas não apresentam desvio padrão, pois o modelo não consegue variar os valores de Massa Específica em função das mudanças do clima.

No Quadro 33, não se apresentaram diferenças entre as restrições hídricas e as disponibilidades hídricas, ou seja, todos os anos secos e todos os anos úmidos mostraram sempre as mesmas tendências. Isso significa que o modelo 3-PG simula bem o comportamento da ME ao longo do ciclo do plantio, desde que os dados de entrada de ME sejam especificados para cada área e clone. Porém, o mesmo não estima bem a Massa Específica com variações nas condições climáticas.

O aumento da ME em todos os casos foi proporcional ao aumento das idades e observa-se que o clone P- nas duas áreas de estudo foi o que apresentou maior incremento de ME. Segundo Panshin & De Zeeuw (1980), em geral, a ME aumenta rapidamente durante o período juvenil. Após essa idade aumenta mais lentamente até atingir a maturidade, em que permanece mais ou menos constante.

Na Figura 31 é apresentado o Potencial Energético (PE) dos Cenários 1 ao 8. Verifica-se que o PE dos clones de eucalipto teve comportamento semelhante ao IMA em todos os cenários de simulação.

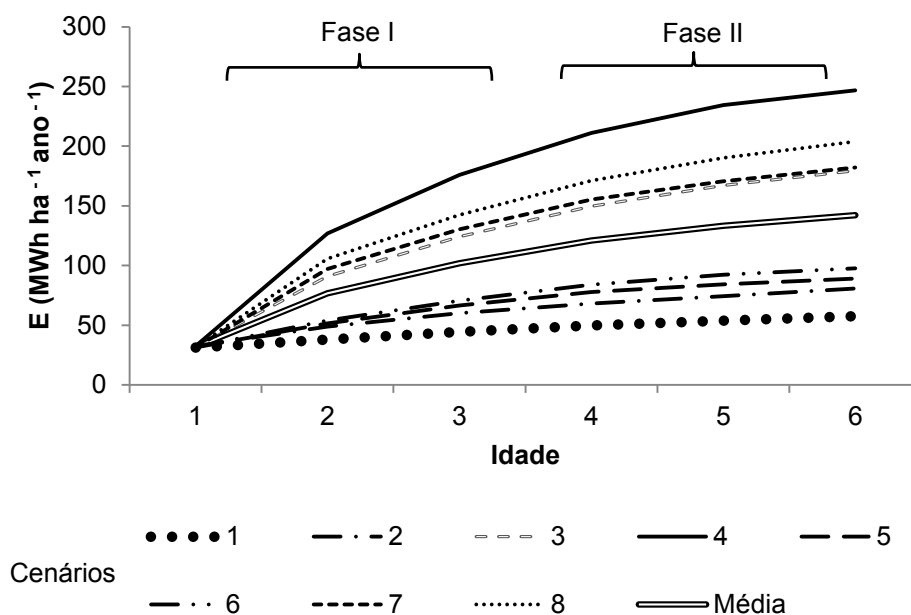


Figura 31. Variação do Potencial Energético ao longo dos seis anos de estudo dos cenários com maior disponibilidade hídrica e maior restrição hídrica

No Quadro 34 são mostrados os resultados do Potencial Energético (PE) da biomassa do eucalipto nos diferentes cenários de simulação. Os resultados foram iguais aos resultados do IMA, em que o clone P+ e a área leste mostrou os maiores Potenciais Energéticos.

Quadro 34. Variação do Potencial Energético para as diferentes condições climáticas simuladas pelo modelo (3-PG) em função das áreas e clones.

Cenários	Área	Clone	Potencial Energético (MWh ha ⁻¹ ano ⁻¹)					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 AB	44,4±3,6 BC	49,8±4,6 CD	53,7±4,6 CD	57,4±4,7 D
2	AO	P +	32,5 A	48,9±3,4 B	60,1±4,9 BC	68,1±6,1 CD	74,4±6 D	80,7±6,3 D
3	AO	P -	31,4 A	90,8±13 B	124,3±17,1 BC	149,7±20 CD	167,2±23 CD	179,3±25 D
4	AO	P +	32,5 A	126,8±17 B	175,9±22,3 BC	211,2±27 CD	234,4±31 CD	246,9±29 D
5	AL	P -	31,5 A	51,5±2,3 AB	66,5±6,9 BC	77,9±10 C	84,3±12 C	89,0±13 C
6	AL	P +	31,6 A	54,0±2,5 AB	70,6±7,6 BC	84,1±11 C	92,3±14 C	97,7±16 C
7	AL	P -	31,5 A	97,2±1,5 B	130,4±1,2 C	155,2±2,6 D	170,6±3,6 E	182,0±4,3 F
8	AL	P +	31,6 A	105,7±1,7 B	142,4±1,4 C	171,2±3,1 D	190,2±4,2 E	203,7±5 F

9	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 BC	44,4±3,6 CD	49,8±4,6 DE	53,7±4,6 E	78,6±2,6 F
10	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 AB	44,4±3,6 BC	49,8±4,6 C	80,6±3,2 D	105,3±7,2 E
11	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 A	44,4±3,6 A	84,1±4,3 B	113,1±10 C	133,1±13 C
12	AO	P +	32,5 A	48,9±3,4 B	60,1±4,9 BC	68,1±6,1 CD	74,4±6 D	109,0±4,2 E
13	AO	P +	32,5 A	48,9±3,4 B	60,1±4,9 BC	68,1±6,1 C	111,0±4,8 D	145,4±10 E
14	AO	P +	32,5 A	48,9±3,4 AB	60,0±4,9 B	116,7±6 C	157,0±13 D	184,6±18 E
15	AL	P -	31,5 A	51,5±2,3 AB	66,5±6,9 BC	77,9±10 C	84,3±12 CD	108,3±11 D
16	AL	P -	31,5 A	51,5±2,3 B	66,5±6,9 BC	77,9±10 C	107,3±9 D	128,5±7,4 E
17	AL	P -	31,5 A	67,4±27 AB	86,9±37 ABC	112,2±12 CB	129,0±5,4 C	140,8±14 C
18	AL	P +	31,6 A	54,0±2,5 AB	70,6±7,6 BC	84,1±11 C	92,4±14 C	120,1±13 D
19	AL	P +	31,6 A	54,0±2,5 B	70,6±7,6 BC	84,1±11 C	118,5±10 D	143,0±8,3 E
20	AL	P +	31,6 A	54,0±2,5 B	70,6±7,8 C	115,9±6,2 D	144,9±4,8 E	165,5±4,2 F
21	AO	P -	31,4 A	90,8±13 B	124,3±17 BC	149,7±20 C	166,5±23 C	153,2±19 C
22	AO	P -	31,4 A	90,8±13 B	124,3±17 BC	148,8±20 C	137,0±16 C	126,3±12 BC
23	AO	P -	31,4 A	90,8±13 B	123,1±16 C	112,9±11 BC	105,4±8,6 BC	100,8±6,6 BC
24	AO	P +	32,5 A	126,8±17 B	175,9±22 BC	211,2±27 C	233,6±30 C	213,7±25 C
25	AO	P +	32,5 A	126,8±17 B	175,9±22 BC	210,1±26 C	191,8±21 C	177,3±16 BC
26	AO	P +	32,5 A	126,8±17 B	174,7±21 C	158,9±15 BC	147,7±11 BC	142,6±8,1 BC
27	AL	P -	31,5 A	97,2±1,5 B	130,4±1,2 C	155,2±2,6 D	170,4±3,3 E	164,9±6,1 E
28	AL	P -	31,5 A	97,2±1,5 B	130,4±1,2 C	155,0±2,3 D	150,8±5,6 DE	145,0±6 E
29	AL	P -	31,5 A	97,2±1,5 B	130,2±0,7 C	130,9±5,3 C	127,7±6,4 C	125,4±8 C
30	AL	P +	31,6 A	105,7±1,7 B	142,4±1,4 C	171,2±3,1 D	190,1±3,8 E	184,3±7 E
31	AL	P +	31,6 A	105,7±1,7 B	142,4±1,4 C	171,0±2,6 D	167,7±6,4 D	161,6±6,8 D
32	AL	P +	31,6 A	105,7±1,7 B	142,2±0,8 C	143,8±6,1 C	141,5±7,3 C	138,9±9,8 C
33	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 A	85,1±6,8 B	84,2±6,9 B	81,9±6,1 B	81,0±5,3 B
34	AO	P -	31,4 A	90,8±13 B	123,1±16 C	112,9±11 CB	105,4±8,6 CB	100,8±6,6 CB
35	AO	P +	32,5 A	71,9±41 AB	132,3±22 C	126,7±16 CB	121,4±14 CB	120,4±12 CB
36	AO	P +	32,5 A	126,8±17 B	174,7±21 C	158,9±15 CB	147,7±11 CB	142,6±8,1 CB
37	AL	P -	31,5 A	51,5±2,6 B	98,5±1,8 C	106,7±6,2 C	108,1±7,6 C	109,0±9,1 C
38	AL	P -	31,5 A	97,2±1,5 B	130,2±0,7 C	130,9±5,3 C	127,7±6,4 C	125,4±8 C
39	AL	P +	31,6 A	54,0±2,8 B	106,6±2 C	116,5±7 C	119,3±8,6 C	120,4±10 C
40	AL	P +	31,6 A	105,7±1,7 B	142,2±0,8 C	143,8±6,1 C	141,5±7,3 C	138,9±9,8 C
41	AO	P -	31,4 A	89,2±12 B	82,2±7,2 B	114,5±11 BC	138,2±16 CD	154,9±19 D
42	AO	P -	31,4 A	38,1±2,4 A	44,4±3,6 A	84,1±4,3 B	113,1±10 C	133,1±13 C
43	AO	P +	32,5 A	125,0±15 BC	114,7±9,1 BC	160,3±14 CD	192,7±20 DE	215,1±24 E
44	AO	P +	32,5 A	48,9±3,4 AB	60,0±4,9 B	116,7±6 C	157,0±13 D	184,6±18 E
45	AL	P -	31,5 A	96,9±2,2 B	102,5±4,9 B	134,4±3,8 C	153,6±4,2 D	167,8±4,6 E
46	AL	P -	31,5 A	51,5±2,3 B	66,5±7 C	106,1±5,6 D	130,6±4,3 E	148,4±3,8 F
47	AL	P +	31,6 A	105,4±2,4 B	111,1±5,6 B	147,8±4,3 C	171,0±4,8 D	187,6±5,3 E
48	AL	P +	31,6 A	54,0±2,5 B	70,6±7,8 C	115,9±6,2 D	144,9±4,8 E	165,5±4,2 F

A coluna que apresenta os IMAs para o primeiro ano não apresentam desvio padrão, pois referencia os dados observados, uma vez que optou-se por simular o crescimento a partir da idade de 13 meses. As médias identificadas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre as diferentes idades a 5% de significância. O teste de Tukey foi feito entre as diferentes idades e não entre os distintos cenários.

Na área oeste nas condições de maior e menor disponibilidade hídrica aos seis anos de idade, espera-se um potencial de geração de energia entre 57,4 ($\pm 4,7$) e 246,9 (± 29) MWh ha⁻¹ ano⁻¹. Já para a área leste espera-se uma geração variando de 89,0 (± 13) e 203,7 (± 5) MWh ha⁻¹ ano⁻¹ (Quadro 34).

O potencial de geração de energia esperado por clone varia entre 80,7 ($\pm 6,3$) e 246,9 (± 29) MWh ha⁻¹ ano⁻¹ para o clone P+ e entre 57,4 ($\pm 4,7$) e 182 ($\pm 4,3$) MWh ha⁻¹ ano⁻¹ para o clone P- (Quadro 34).

Na área oeste nas condições de maior disponibilidade e restrição hídrica (Cenários 1, 2, 3 e 4 do Quadro 34), observa-se que nos três últimos anos do cultivo não existem diferenças significativas a 5 % de significância. Do mesmo modo, ocorreu para a área leste nas condições de déficit hídrico aos seis anos do cultivo (Cenários 5 e 6 do Quadro 34). Sendo assim, para essas condições, sugere-se uma redução do ciclo de corte das árvores, ou seja, antes do sexto ano de idade. Isso se justifica, pois as diferenças entre as últimas idades não é estatisticamente significativa. Por outro lado, para as condições de disponibilidade hídrica aos seis anos do cultivo na área leste (Cenários 7 e 8 do Quadro 34), existe diferença significativa a 5 % de significância nos três últimos anos de idade.

Quando existe um déficit hídrico nos últimos três anos de idade, não se apresentam diferenças significativas (Cenários 21 ao 40 do Quadro 34), mas quando há disponibilidade hídrica nos últimos três anos de idade, existem diferenças significativas a 5 % de significância (Cenários 9 ao 20 e 41 ao 48 do Quadro 34). Assim, dependendo das condições hídricas nas que se desenvolve uma planta em determinada região, existem diferenças significativas entre as idades, sendo, dependendo do caso, mais favorável à colheita das árvores antes da idade orçada.

No Quadro 34 observa-se que quando nos primeiros anos de idade se apresenta uma restrição hídrica e nos últimos anos uma disponibilidade hídrica, existe um acúmulo de biomassa maior no último ano de corte que quando nos primeiros anos de idade se apresenta uma disponibilidade hídrica e nos últimos anos uma restrição hídrica. Portanto, a recuperação de um cultivo depois de uma temporada de seca é mais fácil quando o cultivo está em idades jovens que em idades adultas.

5. CONCLUSÕES

A parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para as condições de estudo foi realizada de modo satisfatório, atendendo todas as previsões esperadas.

A mudança de fase, de maior aceleração de crescimento (Fase I) para aceleração constante (Fase II), ocorre aproximadamente no terceiro ano de idade do plantio de eucalipto.

O aumento da precipitação pluvial provoca um acréscimo de biomassa na área oeste de 338 e 374 % para os clones P- e P+ respectivamente, e um acréscimo na área leste de 252 e 262 % para os clones P- e P+ respectivamente.

As previsões do modelo (3-PG) de volume e incremento médio anual foram em geral consistentes com os dados observados, com correlações entre dados observados e simulados no volume por hectare acima de 0,9.

O modelo conseguiu representar o comportamento da massa específica ao longo dos seis anos de estudo. O modelo só simula a massa específica quando o dado de entrada de massa específica é explicitado nos parâmetros, mas não simula bem com a variação do clima, projetando a massa específica de acordo com o dado de entrada ao longo da idade e não do clima.

A disponibilidade hídrica nos três últimos anos de idade do cultivo de eucalipto foi variável determinística no aumento do potencial energético a partir da biomassa de eucalipto, e as restrições hídricas nos três últimos anos de idade é a que mais limita o potencial energético.

Um déficit hídrico afetara em maior proporção a produtividade do cultivo de eucalipto quando acontece nos últimos anos de idade e afetara em menor proporção a produtividade se acontecidas nos primeiros anos de idade.

6. CONCLUSÃO GERAL

Os valores médios de Poder Calorífico Superior variaram entre 4.567 e 4.652 kcal kg⁻¹ na área oeste e entre 4.547 e 4.643 kcal kg⁻¹ na área leste. Já os valores médios de Massa Específica variaram entre 0,473 e 0,543 g cm⁻³ na área oeste e entre 0,447 e 0,527 g cm⁻³ na área leste.

A área leste apesar de apresentar a maior disponibilidade hídrica ao longo do ano, a maior produtividade de biomassa e energia por hectare foi mostrada na área com maior restrição hídrica (oeste). De igual forma, os maiores valores de Massa Específica foram verificados na mesma área. Isso significa que existe uma relação inversa entre massa específica e precipitação pluvial. Também foi encontrada a relação inversa entre o IMA e a ME.

Na produtividade energética por unidade de área plantada, as melhores tendências foram mostradas pelo clone P+, nas duas áreas de estudo. O clone P- apesar de mostrar menores tendências produtivas energéticas por unidades de área, deve ser ressaltado, já que em geral, as maiores tendências de poder calorífico superior e massa específica foram para esse clone. Assim, o clone P- em termos de valor energético da madeira pode ser considerado como o melhor.

Os maiores valores de IMA do clone P- foram encontrados na área com maior disponibilidade hídrica (leste) e os maiores valores de ME foram encontradas na área com menor disponibilidade hídrica (oeste). Por outro lado, os maiores valores de IMA e ME do clone P+ foram encontrados na área oeste. Assim, verifica-se que cada clone se desenvolve melhor dependendo das condições edafoclimáticas de cada localização. Também se verificou nas variáveis IMA, ME e PCS um aumento diretamente proporcional com o aumento da idade.

Os valores médios de massa seca e energia por hectare do clone P- foram de 8,55 e 22,74 T ha⁻¹ ano⁻¹ e 45,58 e 121,76 Mwh ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Já os valores médios do clone P+ foram de 12,45 e 27,86 T ha⁻¹ ano⁻¹ e 65,78 e 148,08 Mwh ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

A parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para as condições de estudo foi realizada de modo satisfatório, atendendo todas as previsões esperadas.

O modelo conseguiu representar o comportamento da massa específica ao longo dos seis anos de estudo. O modelo só simula a massa específica quando o dado de entrada de massa específica é explicitado nos parâmetros, mas não simula bem com a variação do clima, projetando a massa específica de acordo com o dado de entrada ao longo da idade e não do clima.

A disponibilidade hídrica nos três últimos anos de idade do cultivo de eucalipto foi variável determinística no aumento do potencial energético a partir da biomassa de eucalipto, e as restrições hídricas nos três últimos anos de idade é a que mais limita o potencial energético.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de melhorar a simulação do modelo na estimativa da massa específica ao longo do cultivo nas diferentes condições edafoclimáticas, será recomendável propor, em futuros estudos, uma equação para a massa específica com variação do clima.

Considerando os resultados deste estudo, em que uma restrição hídrica melhora as propriedades da madeira, será recomendável um futuro estudo em que no último ano do plantio seja gerada uma restrição hídrica com finalidade de melhorar as qualidades da madeira para fins energéticos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.; LANDBERG, L.; SANDS, P. G. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**. v. 193, p. 179-195, 2004.

BAESSO, R. C. E. **Efeito da CO₂ na eficiência quântica do eucalipto e sua utilização na modelagem de seu crescimento pelo 3-PG**. Tese (Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2011, 130 p.

BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG. 2009, 77 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. *Comunicações Técnicas Florestais*, v. 7, n. 1, UNB, Brasília, 2005. 43p.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**. v. 95, p. 209-228, 1997.

LONDERO, E. K. **Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba**. 2011. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of wood technology*. 4 ed. New York: 1980. 722p.

RASCON, N. J. L. **Modelagem ecofisiológica do desenvolvimento do Eucalito na Amazônia**. 2012. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p.273-292, 2002.

SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, W. C. M. da; RIBEIRO A.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. **Water balance model and eucalyptus growth simulation in the rio roce basin, Brazil**. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 35, n. 4, p. 403-412, Oct.-Dec., 2013.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. **Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil**. For. Ecol. Manage, 2004, 193, 17–31.

THOMASA, D.S.; MONTAGUB, K.D.; CONROYA, J.P. Changes in wood density of *Eucalyptus camaldulensis* due to temperature—the physiological link between water viscosity and wood anatomy. **Forest Ecology and Management** 193, 157–165. 2004.

9. ANEXO

Anexo 1. Análises de variância entre a interação área–clone–idade do Incremento Médio Anual.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	59300,54	1	59300,54	3686,46	0
tratamento	4156,76	11	377,89	23,492	0
Error	482,58	30	16,09		

Anexo 2. Análises de variância entre a interação idade–área do Incremento Médio Anual.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	60623,43	1	60623,43	1726,34	0
tratamento	3375,14	5	675,03	19,222	0
Error	1264,2	36	35,12		

Anexo 3. Análises de variância entre a interação idade–clone do Incremento Médio Anual.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	61588,99	1	61588,99	1909,355	0
tratamento	3478,11	5	695,62	21,565	0
Error	1161,23	36	32,26		

Anexo 4.1. Análises de variância entre a interação idade–clone do Incremento Médio Anual na idade de 24 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	10886,9	1	10886,9	385,5247	0
tratamento	576,53	3	192,18	6,8054	0,006232
Error	338,87	12	28,24		

Anexo 4.2. Análises de variância entre a interação idade–clone do Incremento Médio Anual na idade de 48 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	28068,41	1	28068,41	1980,296	0
tratamento	232,99	3	77,66	5,479	0,017332
Error	141,74	10	14,17		

Anexo 4.3. Análises de variância entre a interação idade–clone do Incremento Médio Anual na idade de 72 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	22035,93	1	22035,93	89369,85	0
tratamento	414,29	3	138,1	560,07	0
Error	1,97	8	0,25		

Anexo 5. Análises de variância entre a interação área–clone–idade da Massa Específica.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,21504	1	18,21504	75024,5	0
tratamento	0,07391	11	0,00672	27,67	0
Error	0,01457	60	0,00024		

Anexo 6. Análises de variância entre a interação idade–área da Massa Específica.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,21504	1	18,21504	49492,56	0
tratamento	0,06418	5	0,01284	34,88	0
Error	0,02429	66	0,00037		

Anexo 7. Análises de variância entre a interação idade–clone da Massa Específica.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,21504	1	18,21504	35748,14	0
tratamento	0,05484	5	0,01097	21,53	0
Error	0,03363	66	0,00051		

Anexo 8.1. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Específica na idade de 24 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5,279643	1	5,279643	45122,47	0
tratamento	0,008176	3	0,002725	23,29	0,000001
Error	0,00234	20	0,000117		

Anexo 8.2. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Específica na idade de 48 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6,25477	1	6,25477	18077,72	0
tratamento	0,017608	3	0,005869	16,96	0,00001
Error	0,00692	20	0,000346		

Anexo 8.3. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Específica na idade de 72 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6,726408	1	6,726408	25347,92	0
tratamento	0,002338	3	0,000779	2,94	0,058268
Error	0,005307	20	0,000265		

Anexo 9. Análises de variância entre a interação área–clone–idade da Massa Mesa da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	27329,61	1	27329,61	56489,85	0
tratamento	2246,89	11	204,26	422,21	0
Error	29,03	60	0,48		

Anexo 10. Análises de variância entre a interação idade–área da Massa Mesa da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	27329,61	1	27329,61	4893,867	0
tratamento	1907,34	5	381,47	68,309	0
Error	368,57	66	5,58		

Anexo 11. Análises de variância entre a interação idade–clone da Massa Mesa da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	27329,61	1	27329,61	5135,948	0
tratamento	1924,71	5	384,94	72,341	0
Error	351,2	66	5,32		

Anexo 12.1. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Seca na idade de 24 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3859,656	1	3859,656	42295,61	0
tratamento	221,083	3	73,694	807,57	0
Error	1,825	20	0,091		

Anexo 12.2. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Seca na idade de 48 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	12795,32	1	12795,32	14243,96	0
tratamento	128,77	3	42,92	47,78	0
Error	17,97	20	0,9		

Anexo 12.3. Análises de variância entre a interação área–clone da Massa Seca na idade de 72 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	12341,97	1	12341,97	26723,55	0
tratamento	229,71	3	76,57	165,79	0
Error	9,24	20	0,46		

Anexo 13. Análises de variância entre a interação área–clone–idade do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	12341,97	1	12341,97	26723,55	0
tratamento	229,71	3	76,57	165,79	0
Error	9,24	20	0,46		

Anexo 14. Análises de variância entre a interação idade–área do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,53E+09	1	1,53E+09	469318,9	0
tratamento	5,19E+04	5	1,04E+04	3,2	0,012272
Error	2,15E+05	66	3,25E+03		

Anexo 15. Análises de variância entre a interação idade–clone do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,53E+09	1	1,53E+09	450026,5	0
tratamento	4,27E+04	5	8,53E+03	2,5	0,038259
Error	2,24E+05	66	3,39E+03		

Anexo 16.1. Análises de variância entre a interação área–clone do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto na idade de 24 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5,06E+08	1	505650090	228848,4	0
tratamento	18414	3	6138	2,8	0,067808
Error	44191	20	2210		

Anexo 16.2. Análises de variância entre a interação área–clone do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto na idade de 48 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5,08E+08	1	508039532	111024,1	0
tratamento	33555	3	11185	2,4	0,093852
Error	91519	20	4576		

Anexo 16.3. Análises de variância entre a interação área–clone do Poder Calorífico Superior da madeira de eucalipto na idade de 72 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5,14E+08	1	513818183	266506,8	0
tratamento	23140	3	7713	4	0,022064
Error	38559	20	1928		

Anexo 17. Análises de variância entre a interação área–clone–idade do Potencial Energético da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	783277,4	1	783277,4	54483,44	0
tratamento	63793,9	11	5799,4	403,4	0
Error	862,6	60	14,4		

Anexo 18. Análises de variância entre a interação idade–área do Potencial Energético da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	783277,4	1	783277,4	5265,349	0
tratamento	54838,3	5	10967,7	73,727	0
Error	9818,2	66	148,8		

Anexo 19. Análises de variância entre a interação idade–clone do Potencial Energético da madeira de eucalipto.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	783277,4	1	783277,4	5423,893	0
tratamento	55125,3	5	11025,1	76,344	0
Error	9531,2	66	144,4		

Anexo 19.1. Análises de variância entre a interação área–clone no Potencial Energético da madeira de eucalipto na idade de 24 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	109999,3	1	109999,3	35258,07	0
tratamento	6498,2	3	2166,1	694,29	0
Error	62,4	20	3,1		

Anexo 19.2. Análises de variância entre a interação área–clone no Potencial Energético da madeira de eucalipto na idade de 48 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	365293	1	365293	13721,2	0
tratamento	3107,2	3	1035,7	38,9	0
Error	532,5	20	26,6		

Anexo 19.3. Análises de variância entre a interação área–clone no Potencial Energético da madeira de eucalipto na idade de 72 meses.

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	356242	1	356242	26611,18	0
tratamento	5931,6	3	1977,2	147,7	0
Error	267,7	20	13,4		

Anexo 20. Diferenças estatísticas a 5 % pelo teste Tukey dos valores de Incremento Médio Anual e Potencial Energético dos valores estimados pelo modelo (3-PG).

Cenários	Área	Clone	Diferença estatística ao 5% teste Tukey					
			Fase I			Fase II		
			1	2	3	4	5	6
1	AO	P -	a	a	a	a	a	
2	AO	P +	a	ab	ab	ab	abc	
3	AO	P -	cd	efgh	fghij	ijklmno	ijklmno	
4	AO	P +	d	i	k	q	p	
5	AL	P -	a	abc	abc	abc	abc	
6	AL	P +	ab	abcd	abcd	bcd	bcde	
7	AL	P -	cd	gh	hij	ijklmno	ijklmno	
8	AL	P +	d	hi	jk	opq	nop	
9	AO	P -	a	a	a	a	ab	
10	AO	P -	a	a	a	ab	bcdef	
11	AO	P -	a	a	abcd	bcdef	defghi	
12	AO	P +	a	ab	ab	ab	bcdefg	
13	AO	P +	a	ab	ab	bcdefg	ghijk	
14	AO	P +	a	ab	cdefg	hijklmno	klmno	
15	AL	P -	a	abc	abc	abc	bcdefg	
16	AL	P -	a	abc	abc	bcdef	defgh	
17	AL	P -	abc	bcdef	cdef	defghi	efghij	

18	AL	P +	ab	abcd	abcd	bcd	defg
19	AL	P +	ab	abcd	abcd	cdefghi	ghijk
20	AL	P +	ab	abcd	defghi	fghijkl	ijklmn
21	AO	P -	cd	efgh	fghij	hijklmno	ghijkl
22	AO	P -	cd	efgh	fghij	defghijk	cdefg
23	AO	P -	cd	efgh	cdef	bcd	bcd
24	AO	P +	d	i	k	pq	op
25	AO	P +	d	i	k	mno	ijklmno
26	AO	P +	d	i	hij	efghijkl	fghijk
27	AL	P -	cd	gh	hij	ijklmno	hijklm
28	AL	P -	cd	gh	ghij	ghijklm	ghijk
29	AL	P -	cd	gh	efghi	defghi	defgh
30	AL	P +	d	hi	jk	opq	lmno
31	AL	P +	d	hi	jk	klmno	hijklm
32	AL	P +	d	hi	fghij	efghijkl	fghij
33	AO	P -	a	bcdef	abcd	ab	ab
34	AO	P -	cd	efgh	cdef	bcd	bcd
35	AO	P +	abc	gh	efghi	cdefghi	cdefg
36	AO	P +	d	i	hij	efghijkl	fghijk
37	AL	P -	a	bcdefg	cde	bcdef	bcdefg
38	AL	P -	cd	gh	efghi	defghi	defgh
39	AL	P +	ab	defgh	defghi	cdefghi	defg
40	AL	P +	d	hi	fghij	efghijkl	fghij
41	AO	P -	bcd	abcde	cdef	defghijk	ghijkl
42	AO	P -	a	a	abcd	bcdef	defghi
43	AO	P +	d	efgh	ij	nop	op
44	AO	P +	a	ab	cdefg	hijklmno	klmno
45	AL	P -	cd	cdefg	efghi	hijklmn	ijklmn
46	AL	P -	a	abc	bcde	defghij	ghijkl
47	AL	P +	d	efgh	ghij	lmno	mno
48	AL	P +	ab	abcd	defghi	fghijklm	ijklmn

A primeira coluna não apresenta letra porque não foi feito o teste Tukey, pois referencia aos dados observados, uma vez que se optou por simular o crescimento a partir da idade de 13 meses. Em uma mesma idade de referência, os cenários identificados com a mesma letra não apresentam diferenças significativas a 5 % de significância. O teste foi feito para ver a diferença entre os cenários na mesma idade e não entre as idades no mesmo cenário.