**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Relação entre atividades de copa e cambial de clones de *Eucalyptus*
spp. em diferentes densidades de plantio**

Patricia Borges Alves

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2021**

Patricia Borges Alves
Engenheira Florestal

Relação entre atividades de copa e cambial de clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes densidades de plantio

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Profa. Dra. **LUCIANA DUQUE SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Alves, Patricia Borges

Relação entre atividades de copa e cambial de clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes densidades de plantio / Patricia Borges Alves. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2021.

219 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Eucalipto 2. Índice de área foliar 3. Crescimento 4. Incremento diamétrico 5. Dendrômetro 6. Variáveis climáticas I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico e agradeço a Deus, de todo coração, que sempre me ilumina e concede sabedoria em todas as minhas decisões.

Aos meus pais, Dilson e Sonia, que são as pessoas que mais amo, sendo minha fortaleza e grande inspiração.

Aos meus irmãos, Priscila e Dilson Junior, pelo imenso amor, amizade, carinho e apoio.

À minha orientadora Luciana Duque Silva, a quem admiro por suas grandes virtudes como pessoa e profissional, e por toda a compreensão durante todo o período que me orientou.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, amparo, fortaleza e por atender às minhas necessidades;

À minha família pelo apoio, confiança, incentivo, compreensão, amor incondicional, por estarem sempre ao meu lado e por sempre acreditarem em mim;

À gloriosa Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo pelas inúmeras oportunidades concedidas ao longo do mestrado, pelas visitas técnicas e aulas, que propiciaram infinitos aprendizados;

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Recursos Florestais pela contribuição na minha formação profissional, pela dedicação e pela paciência;

À Professora Dra. Luciana Duque Silva pela oportunidade, amizade, dedicação, confiança, paciência, ensinamentos, conselhos, orientações, por ter propiciado as condições para a execução e elaboração deste trabalho e, sobretudo, pela oportunidade que tive de fazer parte de seu grupo de pesquisa;

Ao Professor João Luís F. Batista pela co-orientação, atenção, dedicação, ensinamentos, apoio nas análises estatísticas e valiosas contribuições;

Aos membros da Banca Examinadora pela disponibilidade de participação e pelas valiosas contribuições;

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS) pela amizade, paciência, incentivo, conhecimentos compartilhados, ajuda e contribuições dadas ao trabalho. Em especial ao Gustavo, a Gleice e o Luis que me auxiliaram muito durante o meu mestrado;

A todos os funcionários da ESALQ, principalmente do Departamento de Ciências Florestais, em especial ao Jefferson Polizel, pela amizade, apoio, dedicação, ensinamentos, ajuda e suporte;

Aos funcionários da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em especial, Rildo, Lourival, Elaine e Toninho, pela amizade, suporte e apoio para que todas as coletas de campo pudessem ser realizadas;

Ao programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da ESALQ, pela possibilidade de cursar o mestrado;

Aos amigos que fiz durante a pós-graduação, Nathalie, Solange, Gleice, Gustavo, Ulysses, Evelyn, Henry, Amarilis, Lais, Alex e Matheus; pelo companheirismo, confiança, amizade, suporte e risadas;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida;

Enfim, a todos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho e na minha vida em Piracicaba. MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Silvicultura clonal	21
2.2. As interações resultantes do manejo das plantas	26
2.3. Fenologia e arquitetura de copa.....	29
2.4. Influência do clima no crescimento e desenvolvimento de plantas	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1. Caracterização da área de estudo e delineamento experimental	45
3.2. Coleta de dados	51
3.2.1. Avaliação do crescimento das árvores	51
3.2.2. Avaliação do índice de área foliar	53
3.2.3. Deposição de folheto.....	53
3.2.4. Avaliação da atividade cambial das árvores com dendrômetro de faixa.....	54
3.2.5. Dados climáticos.....	55
3.3. Análise estatística.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Caracterização climática da área experimental.....	59
4.2. Avaliação dos Parâmetros da Copa	64
4.3. Avaliação dos Parâmetros do Câmbio.....	98
4.4. Avaliação da Produtividade	123
4.5. Relação entre a copa e o câmbio	133
4.6. Relação da deposição de folheto com o clima	148
4.7. Avaliação da Atividade Cambial	154
5. CONCLUSÕES	185
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	187
REFERÊNCIAS	189
APÊNDICES.....	203

RESUMO

Relação entre atividades de copa e cambial de clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes densidades de plantio

O entendimento da relação da atividade da copa com a atividade do câmbio de diferentes clones de eucalipto e a influência do clima nestas atividades permitem compreender melhor os mecanismos que influenciam no crescimento e desenvolvimento da floresta. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da atividade da copa na atividade cambial de clones de eucalipto submetidos a diferentes densidades de plantio e relacioná-lo com a sazonalidade climática. O experimento foi conduzido no município de Itatinga, nas coordenadas geográficas latitude 23°10'S e longitude 48°40'W, onde foi implantado em janeiro de 2012, em delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, cada uma com dezoito tratamentos, em arranjo fatorial 6 x 3, sendo seis clones de eucalipto e três arranjos de plantio. Foram mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total e a altura da base da copa de todas as nove árvores centrais das parcelas. Avaliou-se o incremento em diâmetro do tronco de duas árvores por parcela com auxílio de dendrômetros, estimou-se o índice de área foliar com o equipamento LAI-2200C e realizou-se a coleta de folheto, sendo um coletor por parcela. Os dados climáticos diários referentes a temperatura média (°C), a precipitação acumulada (mm) e a umidade relativa do ar (%) foram obtidos da estação meteorológica automática da EECFI, Itatinga-SP. Os resultados obtidos para as variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com auxílio do software R Studio, por meio do Teste F, e as médias foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott, com o nível de probabilidade de 5%. Para a análise de correlação utilizou-se o teste de Pearson. O crescimento das árvores foi influenciado pelo genótipo, pelas fases de desenvolvimento e pelas diferentes densidades de plantio. Os materiais genéticos apresentaram diferentes respostas da influência da atividade da copa na atividade cambial, para as densidades de plantio, e esta influência foi maior no período dos 20 aos 36 meses de idade em comparação com o período dos 75 aos 84 meses de idade. Observou-se também o efeito da sazonalidade climática na atividade da copa, sendo a precipitação a variável climática estudada que mais a impactou. A relação da precipitação com atividade cambial foi baixa, apesar desta acompanhar a variação na quantidade de chuvas. A análise do incremento diamétrico mostrou que a atividade cambial foi sazonal e as respostas em relação ao ritmo de crescimento foram diferentes quando se analisou a relação entre genótipo e clima na mesma densidade de plantio.

Palavras-chave: Eucalipto, Índice de área foliar, Crescimento, Incremento diamétrico, Dendrômetro, Variáveis climáticas

ABSTRACT

Relationship between crown and cambial activities of *Eucalyptus* spp. at different planting densities

The understanding of the relationship between the crown activity and the cambial activity of different eucalypt clones and the influence of the climate on these activities allows us to understand better the mechanisms that influence the growth and development of the forest. The objective of this study was to analyze the effect of crown activity on the cambial activity of eucalypt clones submitted to different planting densities and to relate it to climatic seasonality. The experiment was conducted in the municipality of Itatinga, at geographic coordinates latitude 23°10'S and longitude 48°40'W, where it was implemented in January 2012, in a randomized block design, with six replications, each with eighteen treatments, in an arrangement factorial 6 x 3, with six eucalypt clones and three planting arrangements. The diameter at breast height (DBH), the total height, and the height of the base of the crown of all nine trees in the plots were measured. The increment in trunk diameter of two trees per plot was evaluated with the aid of dendrometers, the leaf area index was estimated with the LAI-2200C equipment and leaf collection was carried out, with one collector per plot. The daily climatic data referring to the average temperature (° C), the accumulated precipitation (mm), and the relative humidity of the air (%) were obtained from the automatic meteorological station of EECFI, Itatinga-SP. The results obtained for the variables evaluated were submitted to analysis of variance (ANOVA), with the aid of the R Studio software, through the F Test, and the means were compared by the Scott-Knott test, with a probability level of 5%. Pearson's test was used for correlation analysis. The genetic materials showed differences in growth, the different stages of development and planting densities also influenced the growth of the clones. The genetic materials showed different responses to the influence of crown activity on cambial activity, for planting densities, and this influence was greater in the period from 20 to 36 months of age compared to the period from 75 to 84 months of age. The effect of climatic seasonality on the crown activity was also observed, with precipitation being the studied climatic variable that most influenced it. The relationship between precipitation and cambial activity was low, although it followed the variation in the amount of rainfall. The analysis of the diametric increment showed that the cambial activity was seasonal and the responses in relation to the growth rate were different when analyzing the relationship between genotype and climate at the same planting density.

Keywords: Eucalypt, Leaf area index, Growth, Diametric increment, Dendrometer, Climatic variables

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em Itatinga-SP.....	45
Figura 2. Diagrama climático histórico de Itatinga – SP (1990 - 2018).....	46
Figura 3. Extrato do Balanço Hídrico Mensal para o período de 1990 a 2018 de Itatinga – SP.....	47
Figura 4. Balanço Hídrico Mensal para o período de 1990 a 2018 de Itatinga – SP.....	47
Figura 5. Distribuição das árvores na parcela. A linha tracejada em vermelho delimita a parcela útil.	51
Figura 6. (A) Medição do DAP com suta; (B) Medição da altura total e da base da copa com o hipsômetro Vertex IV.	52
Figura 7. Distribuição sistemática dos pontos de leitura na parcela, para a estimação do IAF.....	53
Figura 8. (A) Coletor de folheto em campo; (B) Secagem das amostras em estufa a 65 °C; (C) Pesagem das amostras.....	54
Figura 9. Dendrômetro de faixa instalado no tronco da árvore na altura do CAP para avaliação da atividade cambial.	55
Figura 10. Dados de precipitação, temperatura máxima, média e mínima, para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019, em Itatinga – SP.....	60
Figura 11. Extrato do Balanço Hídrico Mensal para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019 em Itatinga – SP.	61
Figura 12. Balanço Hídrico Mensal para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019 em Itatinga – SP.	62
Figura 13. Crescimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável altura (m) ao longo de todo o período de avaliação.	65
Figura 14. Crescimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável altura (m) ao longo de todo o período de avaliação.....	66
Figura 15. Crescimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável altura (m). (A) Março de 2014 e (B) Janeiro de 2019.....	69
Figura 16. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável comprimento de copa (m) ao longo de todo o período de avaliação.	71
Figura 17. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável comprimento de copa (m) ao longo de todo o período de avaliação.....	72
Figura 18. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável comprimento de copa (m). (A) Abril de 2018; (B) Julho de 2018 e (C) Outubro de 2018.	76
Figura 19. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável porcentagem de copa (%) ao longo de todo o período de avaliação.	78
Figura 20. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável porcentagem de copa (%) ao longo de todo o período de avaliação.	79
Figura 21. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável porcentagem de copa (%). (A) Abril de 2018; (B) Julho de 2018 e (C) Outubro de 2018.....	82
Figura 22. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável IAF (m ² .m ⁻²) ao longo de todo o período de avaliação.....	84
Figura 23. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável IAF (m ² .m ⁻²) ao longo de todo o período de avaliação.	85
Figura 24. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável deposição de folheto (kg.ha ⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.	88
Figura 25. (Continuação) Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável deposição de folheto (kg.ha ⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.	89

Figura 26. Desenvolvimento médio nos diferentes arranjos de plantio para a variável deposição de folhodo (kg.ha-1) ao longo de todo o período de avaliação.....	92
Figura 27. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável deposição de folhodo (kg.ha-1). (A) Maio de 2013; (B) Agosto de 2013 e (C) Maio de 2017.....	97
Figura 28. Crescimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável DAP (cm) ao longo de todo o período de avaliação.....	99
Figura 29. Crescimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável DAP (cm) ao longo de todo o período de avaliação.....	100
Figura 30. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável grau de esbeltez (m.cm-1) ao longo de todo o período de avaliação.....	104
Figura 31. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável grau de esbeltez (m.cm-1) ao longo de todo o período de avaliação.	105
Figura 32. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável grau de esbeltez (m.cm-1). (A) Janeiro de 2015 e (B) Janeiro de 2019.....	109
Figura 33. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável área transversal (m².árvore-1) ao longo de todo o período de avaliação.	110
Figura 34. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável área transversal (m².árvore-1) ao longo de todo o período de avaliação.....	111
Figura 35. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável área transversal (m².árvore-1). (A) Setembro de 2013; (B) Janeiro de 2014; (C) Março de 2014 e (D) Julho de 2014.....	114
Figura 36. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável volume por árvore (m³.árvore-1) ao longo de todo o período de avaliação.	116
Figura 37. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável volume por árvore (m³.árvore-1) ao longo de todo o período de avaliação.	117
Figura 38. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável volume por árvore (m³.árvore-1). (A) Setembro de 2013; (B) Janeiro de 2014; (C) Março de 2014 e (D) Julho de 2014.....	121
Figura 39. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável volume por árvore (m³.árvore-1). (A) Julho de 2018; (B) Outubro de 2018 e (C) Janeiro de 2019.....	122
Figura 40. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável área basal (m².ha-1) ao longo de todo o período de avaliação.	124
Figura 41. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável área basal (m².ha-1) ao longo de todo o período de avaliação.	125
Figura 42. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável área basal (m².ha-1). (A) Novembro de 2014; (B) Julho de 2018; (C) Outubro de 2018 e (D) Janeiro de 2019.....	128
Figura 43. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável volume por área (m³.ha-1) ao longo de todo o período de avaliação.....	130
Figura 44. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável volume por área (m³.ha-1) ao longo de todo o período de avaliação.....	131
Figura 45. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação.....	155
Figura 46. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação nos diferentes arranjos de plantio.....	155
Figura 47. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação.....	156
Figura 48. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação no arranjo de plantio 3 m x 1 m.....	156

Figura 49. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação no arranjo de plantio 3 m x 2 m.	157
Figura 50. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação no arranjo de plantio 3 m x 4 m.	157
Figura 51. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	158
Figura 52. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	158
Figura 53. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	159
Figura 54. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	159
Figura 55. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone CO1404, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	160
Figura 56. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	160
Figura 57. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação nos diferentes arranjos de plantio.	169
Figura 58. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação.	171
Figura 59. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação a precipitação nos diferentes arranjos de plantio.	173
Figura 60. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média.	205
Figura 61. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.	205
Figura 62. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média.	206
Figura 63. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 1 m.	206
Figura 64. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 2 m.	207
Figura 65. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 4 m.	207
Figura 66. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	208
Figura 67. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	208
Figura 68. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	209
Figura 69. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	209
Figura 70. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone CO1404, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	210
Figura 71. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	210
Figura 72. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.	211

Figura 73. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média.....	211
Figura 74. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.....	212
Figura 75. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa.....	212
Figura 76. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.....	213
Figura 77. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa.....	213
Figura 78. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 1 m.	214
Figura 79. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 2 m.	214
Figura 80. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 4 m.	215
Figura 81. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	215
Figura 82. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	216
Figura 83. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	216
Figura 84. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	217
Figura 85. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone CO1404, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	217
Figura 86. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.	218
Figura 87. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.....	218
Figura 88. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa.....	219
Figura 89. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.....	219

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físicos e químicos de amostras de solo coletadas em duas profundidades do perfil de solo Latossolo Vermelho Distroférrico Típico A moderado textura argilosa localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em Itatinga-SP.	49
Tabela 2. Descrição dos Tratamentos (clone/arranjo de plantio).	50
Tabela 3. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável altura (m) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	65
Tabela 4. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável altura (m) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	66
Tabela 5. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável comprimento de copa (m) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	71
Tabela 6. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável comprimento de copa (m) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	72
Tabela 7. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável porcentagem de copa (%) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	78
Tabela 8. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável porcentagem de copa (%) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	79
Tabela 9. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável IAF ($m^2.m^{-2}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	84
Tabela 10. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável IAF ($m^2.m^{-2}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	85
Tabela 11. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($kg.ha^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	90
Tabela 12. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($kg.ha^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	91
Tabela 13. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($kg.ha^{-1}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	93
Tabela 14. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável DAP (cm) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	99
Tabela 15. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável DAP (cm) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	100
Tabela 16. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável grau de esbeltez ($m.cm^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	104

Tabela 17. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável grau de esbeltez (m.cm-1) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	105
Tabela 18. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área transversal (m ² .árvore-1) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	110
Tabela 19. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área transversal (m ² .árvore-1) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	111
Tabela 20. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por árvore (m ³ .árvore-1) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	116
Tabela 21. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por árvore (m ³ .árvore-1) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	117
Tabela 22. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área basal (m ² .ha-1) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	124
Tabela 23. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área basal (m ² .ha-1) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	125
Tabela 24. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por área (m ³ .ha-1) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	130
Tabela 25. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por área (m ³ .ha-1) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.	131
Tabela 26. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 20 aos 36 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	135
Tabela 27. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 75 aos 84 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	136
Tabela 28. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 20 aos 36 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	143
Tabela 29. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 75 aos 84 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	145
Tabela 30. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período sem defasagem. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	149
Tabela 31. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 30 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	150
Tabela 32. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 60 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	151

Tabela 33. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período sem defasagem. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	175
Tabela 34. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 15 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	176
Tabela 35. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 28 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	177
Tabela 36. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 45 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$	178
Tabela 37. Valores anuais do balanço hídrico utilizando a metodologia proposta por Rolim e Sentelhas (1999) para Itatinga-SP, durante o período de condução do estudo. (CAD=100 mm).....	203
Tabela 38. Dados de crescimento e produtividade aos 84 meses de idade.	204

1. INTRODUÇÃO

As árvores são seres vivos estacionários, seus componentes (raízes, copa, tronco, etc.) reagem com os fatores ambientais do local em que estão inseridas. Assim, os processos fisiológicos das árvores (fluxo de seiva, respiração, transpiração, etc.) acabam sendo afetados pelas variáveis ambientais (precipitação, temperatura, etc.), refletindo na atividade cambial. Esta, por sua vez, é influenciada pelo genótipo (longevidade, crescimento, forma, etc.) e pelos fatores bióticos (associações com micorrizas, microrganismos patogênicos, etc.) e abióticos (temperatura, água, luz, nutrientes, vento, etc.) (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

Além destes, a atividade cambial também é influenciada, indiretamente, pela atividade da copa das árvores. A copa fornece uma ligação entre o ambiente e os processos fotossintéticos que convertem a energia solar em produção de matéria seca e madeira (BEADLE, 1997).

As mudanças que ocorrem na copa estão relacionadas a dois processos, o primeiro diz respeito ao tamanho da copa, que é influenciado pelas mudanças no ambiente físico, respondendo à essas alterações com episódios de expansão ou queda foliar; o segundo refere-se ao desenvolvimento da copa, que é consequência do aumento no tamanho da copa até o fechamento de copas, que pode ser acompanhado por mudanças na disposição dos galhos e das folhas (BEADLE, 1997). Estes processos, por sua vez, são influenciados pelas condições ambientais em que as plantas estão inseridas.

A copa é o aparato fotossintético da planta, é nela que ocorre a fotossíntese, e esta por sua vez influencia diretamente no crescimento secundário, ou seja, na atividade do câmbio. Segundo Taiz et al. (2017), as plantas, a fim de evitar ou mitigar os efeitos de extremos abióticos como o estresse hídrico, podem reduzir a sua área foliar através da abscisão das folhas, com a finalidade de reduzir a transpiração, conservando a água no solo por um período maior, entretanto essa alteração interfere diretamente na fotossíntese, que é determinada pela quantidade de área foliar.

A resposta dos diferentes genótipos de eucalipto às condições ambientais irá depender da interação destes com o ambiente. Assim, entender esta interação e seu efeito no crescimento é importante para a manutenção da produtividade e da sustentabilidade dos povoamentos de eucalipto nos diferentes ambientes em que são plantados.

Além disso a resposta dos clones de eucalipto às condições ambientais também dependerá da idade do povoamento. Nas fases inicial e intermediária, as plantas investem mais no crescimento primário. São nestas fases que se tem o maior crescimento da parte aérea e do sistema radicular, visando garantir o suprimento de água e nutrientes e a produção de

fotoassimilados. As plantas, nestas duas fases, não competem entre si pelos recursos do meio, como água, luz, nutrientes e área para o crescimento da parte aérea e do sistema radicular.

Após o fechamento de copas, as copas já se encontram totalmente desenvolvidas, passando as plantas a investir mais no crescimento secundário, ou seja, na formação do tronco e engrossamento das raízes, é nesta fase que a competição pelos recursos do meio intensifica.

Entretanto, a idade em que cada fase irá ocorrer dependerá da densidade de plantio. Em plantios mais adensados, o fechamento de copas se inicia mais cedo, bem como a competição, já em plantios menos adensados, o fechamento de copas e a competição se iniciam mais tarde.

Assim, a presente pesquisa visou o entendimento da relação da atividade da copa com a atividade do câmbio de diferentes clones de eucalipto, uma vez que as mudanças que ocorrem na copa, como a diminuição da área foliar, afetam a taxa fotossintética, a qual interfere diretamente no crescimento secundário.

Além disto, foi estudada a influência do clima na atividade da copa e do câmbio ao longo de toda a rotação e, para isto, utilizou-se diferentes densidades de plantio, uma vez que estas afetam a disponibilidade de água no solo para as plantas.

Deste modo, um melhor entendimento da interação dos clones com a densidade de plantio e as condições climáticas permitem compreender melhor os mecanismos que influenciam no crescimento e desenvolvimento da floresta.

Portanto, a fim de verificar a influência da atividade da copa na atividade cambial nas diferentes densidades de plantio estudadas foram testadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: A densidade de plantio interfere na resposta dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp. quanto a atividade da copa que, por sua vez, afeta a atividade cambial.

Hipótese 2: Dentre as variáveis climáticas, a precipitação é que mais influencia na atividade da copa e na atividade cambial.

Hipótese 3: Menores densidades de plantio proporcionam menores índices de área foliar, o que resulta em redução da atividade cambial devido à menor área fotossintética.

Objetivo Geral

Analisar o efeito da atividade da copa na atividade cambial de clones de eucalipto submetidos a diferentes densidades de plantio e relacioná-lo com a sazonalidade climática.

Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da atividade da copa na atividade cambial dos diferentes clones de eucalipto em resposta à densidade de plantio.
- Determinar a influência do clima na atividade da copa e na atividade cambial.
- Avaliar a relação entre a densidade de plantio, a atividade da copa e a atividade cambial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Silvicultura clonal

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, é nativo da Austrália, Tasmânia e demais ilhas da Oceania, com mais de 800 espécies e apenas duas delas, *E. urophylla* e *E. deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano (EMBRAPA, 2014; REMADE, 2001; FLORES et al., 2016). Apesar do elevado número de espécies, somente 20 delas são utilizadas para fins comerciais em todo mundo (EMBRAPA, 2014). Existe ainda um elevado número de variedades e híbridos (REMADE, 2001).

São muito diversas as condições climatológicas dos seis estados da Austrália, assim, cada espécie de eucalipto apresenta as suas exigências. Existem espécies que ocorrem somente em um dos estados, em condições especiais, muitas vezes em clima úmido e frio, já outras, ao contrário, são originárias de regiões de solo arenoso e clima tórrido, tem-se também outras que se encontram espalhadas por todo o território da Austrália, como o *E. microtheca*, e outras que existem apenas ao longo da costa, como o *E. saligna* (ANDRADE, 1939).

Na seleção da espécie de eucalipto para plantio em determinado local, deve-se levar em conta as condições de clima e solo. Quanto maior for a semelhança das condições do local de plantio com as do local de origem, melhor será o desempenho da espécie. No Brasil, as principais espécies de eucalipto cultivadas são de origem tropical e subtropical (MORA; GARCIA, 2000).

As primeiras plantações de eucaliptos foram estabelecidas em zonas temperadas das regiões sudeste e sul do Brasil, onde se encontram a maior concentração de plantios florestais e o mercado florestal já se encontra consolidado. Entretanto, nas últimas décadas, devido aos altos preços da terra nestas regiões, a silvicultura brasileira começou a expandir para outras regiões mais tropicais do Nordeste e Centro-Oeste (terras mais baratas), conhecidas como as novas fronteiras florestais. Nos estados de Mato Grosso do Sul, Maranhão, Piauí e Tocantins, abrangidos pelo bioma Cerrado, que apresenta acentuada sazonalidade e, segundo a classificação de Köppen, possui clima tropical úmido com inverno seco (Aw) e subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwa). Nestes o estresse hídrico varia de médio a alto, devido às chuvas mal distribuídas entre as estações, o que afeta consideravelmente a produtividade das plantações florestais. O estresse hídrico é ainda mais severo durante os períodos de veranico, quando existem duas ou mais semanas de seca no meio da estação chuvosa, principalmente se as temperaturas médias forem elevadas. Portanto, o maior desafio nessas regiões é obter novos genótipos adaptados a essas condições mais quentes e xéricas (GONÇALVES et al., 2013).

O foco principal dos programas de melhoramento, atualmente, é a busca por genótipos produtivos e tolerantes à seca, devido à expansão dos plantios de eucalipto para regiões com déficit hídrico moderado a alto e pelo agravamento dos períodos de seca. Nestas regiões, o estresse hídrico possui altas variações temporais e locais, exigindo a seleção de genótipos mais plásticos e com alta resistência ao estresse abiótico. Entretanto, os fatores de estresse são mais complexos, assim, são um desafio para os programas de melhoramento, exigindo maior interação entre melhoristas de plantas e pesquisadores de diferentes áreas, como meteorologistas, fisiologistas, patologistas e entomologistas (GONÇALVES et al., 2017).

Dentre as espécies de eucalipto tolerantes ao déficit hídrico mais importantes têm-se: as do gênero *Eucalyptus* encontradas no subgênero *Symphyomyrtus* seções *Transversaria* (ex. *E. urophylla*) e *Exsertaria* (ex. *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. brassiana*), subgênero *Idiogenes* (ex. *E. cloeziana*), e as espécies de *Corymbia* (ex. *C. citriodora*, *C. torelliana* e *C. maculata*) (GONÇALVES et al., 2013).

A espécie *E. urophylla* (S.T. Blake), pertencente ao subgênero *Symphyomyrtus*, é de origem tropical e ocorre naturalmente na Indonésia e em Timor (maior área de ocorrência), entre as latitudes 7° S e 10° S, em altitudes variando desde 400 a 3000 m, em florestas tropicais pluviais nas altitudes inferiores e em florestas temperadas montanas nas altitudes superiores, com clima variando desde tropical subúmido a montano úmido, nos mais variados tipos de solos (MORA; GARCIA, 2000; FERREIRA, 1992; MOURA, 2004; FERREIRA, 1979). O clima de sua área de ocorrência apresenta precipitação média anual variando de 1000 a 1500 mm, concentrada no verão, com período seco não ultrapassando 4 meses, e temperatura média máxima do mês mais quente de aproximadamente 29 °C e as mínimas do mês mais frio variando de 8 a 12 °C (FERREIRA, 1979). Esta espécie pode atingir de 30 a 60 m de altura e quase dois metros de diâmetro, apresenta boa forma de fuste, boa brotação, bom crescimento, lignotubérculo, bom enraizamento, densidade básica de aproximadamente 0,52 g.cm⁻³, é bem responsivo ao espaçamento de plantio e a adubação, apresenta bom desenvolvimento na segunda rotação, boa tolerância ao déficit hídrico e resistência à ferrugem do eucalipto (*Puccinia psidii* Winter), mas é susceptível a geadas (FERREIRA, 1992; MOURA, 2004; GONÇALVES et al., 2017). O *E. urophylla* é uma das espécies de eucalipto mais cultivada no Brasil, por apresentar tolerância ao fungo causador do cancro do eucalipto, o *Cryphonectria cubensis* (Bruner) Hodges, e por possuir boa produtividade e diversos fins de utilização, como celulose e papel, chapas duras, serraria, carvão e lenha (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2004). Por possuir alta adaptabilidade a diversas regiões do Brasil, o *E.*

urophylla tem sido amplamente utilizado no desenvolvimento de híbridos interespecíficos com o *E. grandis*, com a finalidade de obter materiais tolerantes à seca e resistentes ao cancro de eucalipto (GONÇALVES et al., 2013).

A utilização de clones de híbridos interespecíficos, como o *E. urophylla* x *grandis*, conhecido como *Eucaliptus urograndis*, surgiu durante a década de 1980 quando as plantações de eucalipto estavam em fase de expansão do estado de São Paulo para outras regiões, devido à problema de adaptação a fatores bióticos, como o cancro do tronco causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis*, e abióticos, como os períodos de seca, apresentados pelos materiais seminais selecionados para o estado de São Paulo quando utilizado fora desta região (GONÇALVES et al., 2013).

Os programas de melhoramento de essenciais florestais, especificamente do eucalipto, visam a redução na idade de exploração; maior produção de madeira de melhor qualidade, no menor lapso de tempo e por unidade de área; maior resistência à pragas e à doenças; maior tolerância à seca e à geadas; racionalização das atividades operacionais e redução nos custos de exploração e transporte; além de procurar melhorar a adaptação, a plasticidade e a produtividade das espécies/procedências (FERREIRA, 1992; GONÇALVES et al., 2017).

Entretanto, genótipos propagados vegetativamente, em consequência da menor variabilidade genética, geralmente, possuem menor plasticidade que genótipos propagados sexualmente, assim, podem apresentar maior risco de incompatibilidade com o ambiente (GONÇALVES et al., 2017).

A ampla variedade de espécies e híbridos de eucalipto com diferentes aptidões climáticas e edáficas, associadas a possibilidade de propagação por sementes e clonagem, permitiu a adaptação de plantações de eucalipto em diversas regiões do Brasil. Somando-se a isto, tem-se ainda os diversos usos da madeira e o conhecimento acumulado sobre silvicultura de eucalipto, o que incentiva ainda mais o seu uso na maioria das plantações florestais (GONÇALVES et al., 2013).

As plantações com genótipos híbridos, em condições tropicais, propagados por clonagem são predominantes em regiões com sazonalidade acentuada e períodos de seca moderados a longos (GONÇALVES et al., 2013). Os clones híbridos são mais vantajosos em relação às mudas de espécies puras originadas por sementes, pois podem combinar as características silviculturais, como qualidade da madeira e adaptabilidade do local (GONÇALVES et al., 2013). Entretanto, é inviável economicamente o plantio de eucalipto para fins industriais em regiões com déficit hídrico acima de 400 mm.ano⁻¹ e estação seca

maior ou igual a 6 meses, devido à baixa produtividade, má qualidade da madeira e altos custos de produção (GONÇALVES et al., 2013; GONÇALVES et al., 2017).

A empresa mineira ArcelorMittal BioEnergia Ltda, entre os anos de 1996 e 2004, realizou um teste clonal na microrregião de Turmalina/MG com o objetivo de avaliar o desempenho de 87 clones de eucalipto em condições de deficiência hídrica. Estes clones foram classificados aos 89 meses de idade como: “Tolerantes” (mortalidade menor que 8%; deformação menor que 10% e incremento médio anual (IMA) maior que 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), “Levemente Não Tolerantes” (mortalidade entre 8 e 15%; deformação entre 10 e 15% e IMA entre 28 e 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹), “Moderadamente Não Tolerantes” (mortalidade entre 15 e 22%; deformação entre 15 e 25% e IMA entre 20 e 28 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e “Não Tolerantes” (mortalidade maior que 22%; deformação maior que 25% e IMA menor que 20 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) (ARCELORMITTAL BIOENERGIA LTDA, 2009). Os clones AEC0144, AEC0224, AEC1528 e AEC0042 foram classificados como tolerantes ao déficit hídrico, devido ao seu bom desempenho, mesmo quando cultivados em regiões com deficiência hídrica e elevadas temperaturas (REIS; SANTOS; PALUDZYSZYN FILHO, 2014; ARCELORMITTAL BIOENERGIA LTDA, 2009). A base genética dos clones pertence à espécie *E. urophylla*, com exceção do clone AEC1528 (*Eucalyptus spp.*) (REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES - RNC/MAPA, 2019). Estes clones foram selecionados para a produção de carvão vegetal (REIS; SANTOS; PALUDZYSZYN FILHO, 2014).

O clone AEC0144 foi desenvolvido pela ArcelorMittal Bioenergia Ltda no estado de Minas Gerais, porém, por apresentar boa adaptação a várias condições edafoclimáticas, é plantado em várias regiões do Brasil (REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES - RNC/MAPA, 2019; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Seu cultivo é recomendado para solos argilosos e arenosos, e pode ser indicado para regiões que possuem elevada umidade relativa do ar, devido à tolerância a ferrugem do eucalipto (R&S FLORESTAL, 2013; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Por apresentar densidade básica de 515 kg.m⁻³ e bom incremento de madeira é utilizado para fins energéticos (biomassa, lenha, carvão, cavacos e pellets) e madeira tratada (estacas, mourões e postes) (R&S FLORESTAL, 2013; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Também possui tolerância ao déficit hídrico e média tolerância ao psilídeo-de-concha (R&S FLORESTAL, 2013; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Porém não é indicado para regiões que ocorram geadas e, também, não é recomendado para serraria pois apresenta grã espiralada, ou seja, tronco com disposição das fibras em espiral (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA,

2014). Este clone não possui desrama natural, apresenta seca de ponteiro com perda de dominância apical, tortuosidade no terço superior e floração precoce (IPEF, 2013 apud SILVA, 2014).

O clone AEC0224 foi desenvolvido pela ArcelorMittal Bioenergia Ltda no estado de Minas Gerais, porém, por apresentar boa adaptação a várias condições edafoclimáticas, é plantado em várias regiões do Brasil (RNC/MAPA, 2019; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Por possuir boa qualidade e bom incremento de madeira e densidade básica de 498 kg.m^{-3} , pode ser indicado para produção de energia, serraria e outros fins (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Apresenta bom desenvolvimento em solos argilosos, resistência ao psilídeo-de-concha, tolerância ao déficit hídrico e regeneração natural (CAMARGO et al., 2009; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Porém não deve ser indicado para regiões que ocorram geadas (IPEF, 2013 apud SILVA, 2014) e apresenta susceptibilidade a ferrugem do eucalipto (IPEF, 2013 apud SILVA, 2014). Este clone não possui desrama natural e apresenta quebra de ponteiro com perda de dominância apical, susceptibilidade a quebra de fuste no terço superior e floração tardia (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013; IPEF, 2013 apud SILVA, 2014).

O clone AEC1528 é um híbrido de polinização controlada de *Eucalyptus* spp., desenvolvido pela ArcelorMittal Bioenergia Ltda no estado de Minas Gerais (RNC/MAPA, 2019; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013). Por apresentar densidade básica de 531 kg.m^{-3} e ótimo rendimento gravimétrico, pode ser indicado para a produção de carvão vegetal, lenha, cavacos, pellets, madeira serrada e tratada (estacas, mourões e postes) (R&S FLORESTAL, 2013; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013). É recomendado seu cultivo em solos argilosos e em altitudes acima de 700 m (R&S FLORESTAL, 2013). Este clone possui tolerância ao déficit hídrico, ao psilídeo-de-concha e a ferrugem do eucalipto, mas é susceptível ao cancro do eucalipto (R&S FLORESTAL, 2013; SILVA, 2014).

O clone AEC0042 foi desenvolvido pela ArcelorMittal Bioenergia Ltda no estado de Minas Gerais, possui tolerância ao déficit hídrico e é resistente ao psilídeo-de-concha (CAMARGO et al., 2009; SILVA, 2014; RNC/MAPA, 2019).

O clone CO1404 é procedente da região de Esplanada, no estado da Bahia, desenvolvido pela Copener Florestal Ltda, apresenta densidade básica de $0,47 \text{ g.cm}^{-3}$ e, segundo a empresa, média tolerância ao déficit hídrico, e pode ser utilizado para a fabricação de celulose e papel (PAULINO; LIMA, 2018; RNC/MAPA, 2019; GOMES, 2013).

O clone CO1407 foi desenvolvido pela Copener Florestal Ltda no estado da Bahia e apresenta, segundo a empresa, baixa tolerância ao déficit hídrico (RNC/MAPA, 2019; GOMES, 2013).

2.2. As interações resultantes do manejo das plantas

As espécies interagem entre si e entre diversas outras espécies. Em um monocultivo florestal a interação entre indivíduos de uma mesma espécie é mais intensa. No caso de um plantio de eucalipto, a interação entre as árvores será mais intensa com o aumento da idade, devido a diminuição da área disponível para o crescimento de cada árvore, passando as plantas a competirem entre si pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes, tal interação é conhecida como competição, que pode ocorrer tanto acima do solo, entre a parte aérea das plantas, como abaixo, entre as raízes (CASTRO; GARCIA, 1996; ZANINE; SANTOS, 2004).

A área disponível de cada árvore em um plantio florestal é influenciada pelo arranjo de plantio e espaçamento adotados no início do plantio e, também, pelo manejo das plantas, por exemplo, por meio do desbaste. Este aumenta o volume de solo disponível para cada árvore, o que diminui a competição e favorece o crescimento em diâmetro e volume das árvores remanescentes, por meio do aumento da interceptação da radiação por árvore, que aumenta a fotossíntese, e da redução do estresse hídrico, em virtude da menor interceptação da chuva pela copa das árvores e do maior volume de água armazenada no solo (BUTCHER; HAVEL, 1976; LAURENT et al., 2003; WHITE et al., 2009; STOGSDILL et al., 1992; BREDA et al., 1995).

O arranjo de plantio em um povoamento florestal é a distância entre as linhas de plantio e entre as árvores nesta linha, e determina a área disponível, ou seja, o espaçamento de plantio, que será explorado pelo sistema radicular e pela parte aérea da árvore durante o seu desenvolvimento, influenciando na taxa de crescimento, na forma do tronco, na qualidade da madeira produzida, na idade de corte, na época de realização de desbastes, nas práticas de manejo e nos custos de produção (EMBRAPA, 2019).

O arranjo de plantio deve ser definido com base nos objetivos do plantio, variando comumente entre 3 m x 2 m e 3 m x 3 m, pois estes favorecem os tratamentos silviculturais mecânicos. Em relação à forma, os retangulares ou quadrados são os mais recomendados e utilizados. Quando se visa a produção de madeira para fins energéticos são utilizados os espaçamentos de plantio mais adensados, já quando se quer produzir madeira para celulose e

papel ou serraria e laminados são utilizados os menos adensados. A influência da densidade de plantio é mais expressiva no crescimento diamétrico do que em altura (EMBRAPA, 2019).

Na escolha da densidade de plantio deve-se levar em conta as condições edafoclimáticas do local, as exigências do mercado e os diversos propósitos da plantação (GONÇALVES et al., 2013). Em regiões mais secas a disponibilidade de água pode impor sérias limitações ao crescimento do povoamento, assim densidades de plantio mais baixas podem reduzir o risco de mortalidade nestas regiões (GONÇALVES et al., 2013; GONÇALVES et al., 2017, WHITE et al., 2019). A utilização de clones altamente produtivos, somado ao potencial de reduzir os custos de colheita com a produção de árvores maiores, e a falta de água em alguns locais, podem levar a uma redução da densidade de plantio inicial para 800 a 1100 árvores.ha⁻¹ (GONÇALVES et al., 2013). Assim, nas regiões mais quentes e secas, a escolha do espaçamento de plantio deve considerar, também, a vulnerabilidade à seca dos genótipos (GONÇALVES et al., 2017). Portanto, além da densidade de plantio, o nível de produtividade deve ser limitado de acordo com a disponibilidade de água, com a finalidade de se reduzir a evapotranspiração e o risco de morte das árvores pela seca (GONÇALVES et al., 2017).

A definição do espaçamento de plantio é uma das mais importantes decisões silviculturais para o estabelecimento de um povoamento de eucalipto, pois determinará a quantidade de recursos naturais disponíveis para o crescimento e desenvolvimento de cada árvore (GONÇALVES et al., 2017). O espaçamento de plantio afeta muito a produção de madeira e têm várias implicações nos aspectos silviculturais, tecnológicos e econômicos, já que influencia no crescimento e sobrevivência das árvores, na qualidade da madeira, na quantidade de copa e galho, na quantidade de casca, na idade de corte, nos processos de colheita e no manejo florestal e, assim, nos custos de produção do povoamento de eucalipto (GONÇALVES et al., 2004; LEITE et al., 1997; LELES et al., 2001).

Quando a densidade de plantio é baixa, ou seja, os espaçamentos de plantio são maiores, maior é o volume de madeira individual das árvores, menor os custos de implantação, maior o número de tratos culturais, maior a conicidade do fuste e mais tarde são realizados os desbastes (EMBRAPA, 2019). Nestes casos, as árvores não aproveitam todos os recursos como água, luz e nutrientes disponíveis e, assim, haverá menor produção por unidade de área (EMBRAPA, 2019). Já quando a densidade de plantio é alta, ou seja, os espaçamentos de plantio são menores, maior o volume de madeira por hectare, mais rápido o fechamento de copas, menor o número de tratos culturais, menor a conicidade do fuste e mais cedo são realizados os desbastes (EMBRAPA, 2019). Caso a densidade de plantio seja muito alta, os

recursos como água, luz e nutrientes não serão o suficiente para atender à demanda do plantio, o que acarretará no decréscimo do volume e da qualidade de madeira das árvores (EMBRAPA, 2019). Entretanto, o aumento da densidade de plantio aumentará o incremento médio anual e encurtará o tempo ao máximo (GONÇALVES et al., 2013). No geral, para uma determinada duração de rotação, o aumento da densidade de plantio leva ao aumento da produção total de biomassa por unidade de área, mas diminui a biomassa por árvore (GONÇALVES et al., 2013).

O período inicial de desenvolvimento de um povoamento florestal apresenta baixas taxas de crescimento diamétrico à medida que o dossel aumenta até um máximo. Com o aumento da densidade de plantio é possível reduzir o período de tempo necessário para o desenvolvimento total do dossel, entretanto, o valor do desenvolvimento rápido do dossel pode depender, em parte, da hidrologia do local. Após a colheita e o plantio, o armazenamento de água no solo pode ser muito alto, pois a área foliar permanece baixa. Porém, em altas densidades de plantio, o desenvolvimento rápido da área foliar pode começar a drenar essa água armazenada mais cedo do que em densidades de plantio mais baixas, contudo, a rápida redução da água armazenada no solo pode não conduzir a um incremento médio anual mais alto para toda a rotação, com interessantes interações potenciais entre a retirada da água armazenada no solo e o genótipo, a densidade de plantio, as práticas silviculturais e a taxa de desenvolvimento do dossel (STAPE et al., 2010).

Espaçamentos de plantio mais adensados promovem o desenvolvimento mais rápido do índice de área foliar, aumentando a interceptação de luz e a fotossíntese, favorecendo o crescimento, mas aumentando a transpiração (GONÇALVES et al., 2013; LINDER, 1985; LANDSBERG; WARING, 1997). Entretanto, a eficiência de conversão é regulada pelo suprimento de água e nutrientes (GONÇALVES et al., 2013). A dinâmica do índice de área foliar pode ser utilizada para caracterizar as etapas anterior e posterior ao fechamento de copas nos estágios de desenvolvimento dos plantios de eucalipto, sendo esses afetados de diferentes formas pelas práticas silviculturais (LANDSBERG; WARING, 1997; GONÇALVES et al., 2013). Após o fechamento de copas, a competição intraespecífica por recursos, como água, luz e nutrientes, é maior (GONÇALVES et al., 2013).

Espécies de eucalipto com copas mais densas, como o *E. grandis*, o *E. urophylla*, o *E. saligna* e o *E. pellita*, são mais responsivas a variações de espaçamento de plantio do que espécies de eucalipto com copas menos densas, como o *E. camaldulensis*, o *E. tereticornis*, o *C. citriodora* e o *E. brassiana* (GONÇALVES; MELLO, 2004).

O consumo e a eficiência do uso da água são afetados consideravelmente pelo espaçamento de plantio (GONÇALVES et al., 2013). Leite et al. (1999) avaliaram a precipitação interna, a evapotranspiração e o regime hídrico do solo, em um experimento localizado no município de Santa Bárbara, no estado de Minas Gerais, em um povoamento de *E. grandis* dos 32 aos 38 meses de idade, em Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura franco-argilo-arenosa, com densidades de plantio variando de 500 a 5000 plantas.ha⁻¹. A interceptação de chuva pelas copas (de 17,6 a 21,1%) aumentou linearmente com o aumento da densidade de plantio devido ao maior índice de área foliar (IAF), enquanto as taxas de evapotranspiração não foram significativamente influenciadas, já a umidade do solo aumentou com a redução da densidade de plantio (LEITE et al., 1999). Ainda, Leite et al. (1997) concluíram que os plantios em densidades menores respondem mais em crescimento, ao aumento de água disponível no solo que os plantios mais adensados. Tais resultados demonstram o importante papel desempenhado pelo espaçamento de plantio no uso e manejo eficiente do regime hídrico do solo, além disso, o consumo e a eficiência no uso da água são maiores em espaçamentos de plantio menos adensados, devido, principalmente, a menor interceptação da precipitação pelo dossel, diferente de espaçamentos de plantio mais adensados onde se perde mais água por evaporação (GONÇALVES et al., 2013).

2.3. Fenologia e arquitetura de copa

Fenologia é a parte da botânica que estuda as fases do crescimento e desenvolvimento das plantas, tanto as fases vegetativas (germinação, emergência e crescimento da parte aérea e das raízes), quanto as reprodutivas (florescimento, frutificação e maturação), demarcando as épocas de ocorrência de cada fase, bem como suas respectivas características (CÂMARA, 2006).

Ainda, de acordo com Lieth (1974), a fenologia é o estudo dos eventos biológicos recorrentes e sua relação com os fatores bióticos e abióticos, bem como a inter-relação entre fases da mesma espécie ou de espécies diferentes. Assim, é a expressão de um equilíbrio entre os processos endógenos de crescimento e desenvolvimento e as restrições exógenas exercidas pelo ambiente (BARTHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007).

A copa das árvores fornece uma ligação dinâmica entre o ambiente biofísico e os processos fotossintéticos que convertem a energia solar em produção de matéria seca e madeira. As mudanças que ocorrem nas copas das árvores são dinâmicas e estão relacionadas a dois processos: o primeiro é o tamanho da copa que responde às mudanças no ambiente físico por meio de episódios de expansão e queda foliar; o segundo é o desenvolvimento da

copa, que é consequência do aumento progressivo no tamanho da copa até o fechamento de copas, isto é geralmente acompanhado por mudanças na disposição dos galhos e das folhas (BEADLE, 1997).

A copa também está relacionada com a produtividade de determinada cultura, já que está ligada a quantidade de radiação interceptada pelo dossel, assim, o IAF torna-se uma medida importante, uma vez que expressa o tamanho do aparato fotossintético e relaciona-se com a capacidade do dossel em interceptar e absorver radiação (MATTOS, 2015).

Segundo Ishii e Asano (2010), a arquitetura de copa e a fenologia foliar representam, respectivamente, a estratégia espacial e temporal para a interceptação de luz e, embora sofram influência das condições climáticas, influenciam, portanto, a produtividade do ecossistema.

Para Ahl et al. (2006), a fenologia refere-se à relação entre o clima e o desenvolvimento periódico da biomassa fotossintética e seu estudo é importante para quantificar as trocas de carbono e água entre as florestas e a atmosfera e sua resposta às mudanças climáticas, pois espera-se que as mudanças climáticas mudem a fenologia do dossel das florestas temperadas e boreais, o que afetará o balanço de carbono, água e energia.

As características foliares estão intimamente relacionadas a tolerância a seca, sendo que, a anatomia foliar, a arquitetura do dossel, a quantidade de folhas por área plantada e sua variação temporal estão entre as características mais importantes (WHITEHEAD; BEADLE, 2004; GONÇALVES et al., 2017). O conhecimento de certas características relacionadas à arquitetura da copa das árvores, como área foliar por planta, comprimento da copa, área foliar específica e índice de área foliar (IAF), podem indicar como as plantas respondem às condições do ambiente em que estão inseridas (LEITE et al., 1997).

Como exemplo, tem-se o trabalho de Pita e Pardos (2001), que estudaram o crescimento, a morfologia foliar, o uso da água e as relações hídricas teciduais de clones de *E. globulus* em resposta ao déficit hídrico e encontraram que todos os materiais estudados, visando diminuir a transpiração no período seco e, assim, diminuir a perda de água, reduziram sua biomassa foliar, área foliar, área foliar específica e expansão foliar.

Vários mecanismos para tolerar as condições de déficit hídrico utilizados pelas espécies de eucalipto já foram identificados, como baixos valores e grandes mudanças dinâmicas sazonais no IAF, disposição quase vertical das folhas, alta sensibilidade estomática ao déficit de saturação do ar, capacidade de desenvolvimento da raiz em grandes profundidades e manipulação osmótica para manter o turgor nas folhas (WHITEHEAD; BEADLE, 2004).

Segundo Watson (1947), o IAF é a área de folhas por unidade de terreno ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$), ou seja, é a relação entre a área de folhagem e a superfície do solo por ela ocupada, e é utilizado para estimar a densidade de área foliar que cobre um terreno. Este autor demonstrou que o aumento do IAF ocorre por meio do aumento do número de folhas e do aumento da área foliar individual e varia de acordo com a espécie, o clima, as estações do ano e o estágio de desenvolvimento da planta.

O IAF oferece importantes informações para a compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres, uma vez que determina e controla a interceptação de água e radiação solar pelo dossel, e as trocas gasosas (O_2 , CO_2 e H_2O), além de interferir nos aspectos ecológicos, como a competição inter e intraespecífica entre plantas, a retenção de carbono e a conservação do solo, e é um componente chave dos ciclos biogeoquímicos em ecossistemas (BRÉDA, 2003).

Segundo Gonçalves et al. (2017), a utilização de materiais genéticos e a adoção de práticas silviculturais que resultem em redução do IAF em áreas sujeitas ao déficit hídrico podem auxiliar no processo de adaptação das plantas à seca. Ainda, segundo Pinheiro et al. (2016), os genótipos mais adaptados a seca, com menor IAF, investem mais na área radicular fina do que na área foliar, quando comparado com genótipos adaptados às regiões úmidas, que apresentam maior IAF.

Leite et al. (1997) avaliaram o efeito da densidade de plantio, variando de 500 a 5000 plantas. ha^{-1} , sobre o crescimento e características da copa de um povoamento de *E. grandis*, dos 31 aos 39 meses de idade e encontraram correlação significativa entre as características da copa e a produção de biomassa e a radiação interceptada, o que sugere que as características relacionadas à copa definem o crescimento das árvores.

Segundo Lang e MacMurtrie (1992) e Levitt (1972), a área foliar está diretamente relacionada com a produtividade e a evapotranspiração em ecossistemas florestais, desempenhando um papel importante na determinação do uso da água e absorção de carbono pelas plantas.

O comprimento da copa e a área foliar por planta tendem a aumentar com o aumento do espaçamento de plantio. A copa das árvores de eucalipto nos plantios menos adensados é mais bem distribuída ao longo do tronco, pois a desrama natural dos galhos inferiores é mais tardia, o que pode ser reflexo da arquitetura da copa e do não fechamento de copas, permitindo maior exposição das folhas da base da copa a uma quantidade de radiação maior do que aquela correspondente ao seu ponto de compensação luminoso (intensidade luminosa em que a taxa fotossintética é exatamente igual à respiração celular) (LEITE et al., 1997;

OLIVEIRA, 2015). Assim, essas folhas terão um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo (LEITE et al., 1997). Ainda, segundo Ackerly (1999), os aumentos na área foliar das plantas durante o crescimento devem-se à ramificação, que aumenta o número de ramos de folhas, e o aumento no tamanho das folhas individuais, principalmente em plantas jovens.

A interceptação de luz é dependente do IAF, que interfere na produção de biomassa, portanto, a identificação dos fatores que afetam o IAF, bem como a magnitude destes, são importantes na escolha das práticas de manejo que busquem a manutenção do IAF em condições que propiciem a interceptação mais eficiente de luz, gerando maiores taxas de crescimento. Em geral, o IAF tende a aumentar com a diminuição do espaçamento de plantio, assim, a quantidade total de radiação interceptada por área tende a aumentar com o aumento da densidade de plantio. Portanto, as maiores produções por área devem ser obtidas até a idade em que a saturação do IAF for atingida (LEITE et al., 1997).

Segundo Whitehead e Beadle (2004), a produtividade das plantações de eucalipto é fortemente dependente da taxa de desenvolvimento do IAF à medida que o povoamento amadurece e o valor máximo é atingido. Logo após o plantio, o IAF aumenta rapidamente, atingindo um pico, depois diminui à medida que as árvores amadurecem. Para a cultura do eucalipto, os maiores valores de IAF são alcançados quando a água e os nutrientes não são limitantes.

A alta produtividade potencial de algumas espécies de eucalipto, quando a água e os nutrientes não são limitantes, resulta dos altos valores de IAF, condutância estomática e taxa fotossintética (WHITEHEAD; BEADLE, 2004). Em geral, quanto maior a área foliar, maior a assimilação de carbono (GONÇALVES et al., 2017). Entretanto, com o aumento do IAF, aumenta-se a interceptação da radiação e o crescimento, porém, aumenta-se também a transpiração e a interceptação da chuva pela copa das árvores (LEITE et al., 1997; LEITE et al., 1999; WHITE et al., 2009; BATTAGLIA et al., 1998).

Segundo Le Maire et al. (2011), o IAF é um parâmetro-chave envolvido em uma variedade de processos do ecossistema, como interceptação de luz e chuva, fotossíntese, transpiração, respiração da planta e respiração heterotrófica do solo através da serapilheira. Tal parâmetro, segundo estes autores, em plantações de eucalipto de rápido crescimento, é muito dinâmico, variando tanto interanualmente quanto sazonalmente ao longo de uma rotação, e é espacialmente variável, dependendo das condições edafoclimáticas. Quanto a idade do plantio de eucalipto, o IAF atinge o valor máximo, geralmente, durante o segundo ou terceiro ano, já quanto a sazonalidade, o pico do IAF ocorre durante a estação chuvosa e o valor mais baixo durante a estação seca, quando o estresse hídrico causa uma maior ou menor

diminuição do IAF, até aproximadamente 50%, dependendo da idade do plantio e da capacidade de retenção de água do solo.

A dinâmica típica do IAF compreende um rápido aumento do IAF durante o primeiro e, ocasionalmente, o segundo ano de plantio e, então, varia sazonalmente, principalmente devido à estação seca, entretanto, geralmente, mantém um valor alto, em torno de 3 a 4. Porém a tendência geral da dinâmica do IAF com a idade é variável entre os plantios (LE MAIRE et al., 2011).

As previsões de crescimento dos plantios são altamente sensíveis as mudanças no IAF e este é muito sensível as mudanças na taxa de deposição de folheto ou na vida útil das folhas (BATTAGLIA et al. 1998; LACLAU, et al. 2009).

A área foliar específica também varia sazonalmente, apresentando os menores valores no final da estação seca, quando o IAF é mais baixo, e os maiores valores durante a estação chuvosa, próximo do pico do IAF. Portanto, é muito provável que a variação sazonal da área foliar específica segue as variações do IAF (LE MAIRE et al., 2011).

O IAF pode ser estimado em campo usando métodos ópticos, como LICOR LAI-2000 e fotográficas hemisféricas, e métodos diretos e semidiretos, como a amostragem destrutiva, a coleta de serapilheira e os métodos alométricos (LE MAIRE et al., 2011).

Segundo Laclau et al. (2009), as árvores podem utilizar a deposição de folheto para reduzir a transpiração durante os períodos em que a regulação da condutância estomática não é suficiente para combinar a captação de água no solo com a demanda atmosférica. Além disso, ainda segundo estes autores, a deposição de folheto pode ser controlada por outros fatores além do estresse hídrico.

Segundo King (2003), as árvores podem alterar seus padrões de alocação de recursos visando sua aclimação, dependendo do seu tamanho e do ambiente luminoso. Ainda segundo este autor, a plasticidade na alocação varia de acordo com os recursos envolvidos, com o estágio de desenvolvimento ou tamanho da planta, com a arquitetura de copa, o tempo de vida das folhas e a tolerância à sombra. Por exemplo, a árvore pode alocar maior quantidade de recursos para as folhas e raízes, aumentando a interceptação de luz e a captação de água e nutrientes necessários para operar e expandir o sistema fotossintético, visando aumentar as suas taxas de crescimento.

A produtividade das culturas é afetada pela senescência foliar, uma vez que esta reduz a área fotossintética ativa (WOLFE, 1988). A estrutura e dinâmica da copa e a senescência foliar, em espécies pioneiras de rápido crescimento e sempre-verdes, são influenciadas pela idade das folhas e, principalmente, pela posição da folha no interior da copa (ACKERLY;

BAZZAZ, 1995; ACKERLY, 1999). Embora a senescência foliar progrida com a idade, ela também é influenciada por outros fatores como o auto-sombreamento e a nutrição. Em relação a luminosidade, quanto maior a incidência de luz, menor a longevidade das folhas e o número de folhas, em decorrência da intensa atividade metabólica. Já em ambientes com baixa luminosidade, ocorre redução da longevidade das folhas e do número de folhas conforme aumenta-se o sombreamento. Assim, o número de folhas e a longevidade das folhas são regulados por padrões de auto-sombreamento. Em ambientes com elevada quantidade de nutrientes, a longevidade das folhas diminui e o número de folhas aumenta, pois aumenta-se a taxa de iniciação foliar, a qual não é influenciada pelas condições de luminosidade. Já a fotossíntese é maior quanto maior for a luminosidade e a quantidade de nutrientes. Porém, em ambientes com baixo teor de nutrientes, o declínio da capacidade fotossintética é mais rápido na parte aérea que recebe alta luminosidade. Assim, a longevidade das folhas é, geralmente, mais curta, em ambientes que apresentam alta produtividade, alto teor de nutrientes e luz, assim, onde se tem altas taxas fotossintéticas, estando associada às espécies que apresentam taxas de crescimento rápido (ACKERLY; BAZZAZ, 1995).

O auto-sombreamento entre as folhas é uma das consequências do crescimento em altura das árvores, já que folhas novas são produzidas na posição superior da copa, assim, as folhas mais velhas acabam por ocupar as posições sucessivamente mais baixas e menos iluminadas (FIELD, 1983; ACKERLY; BAZZAZ, 1995). Nos níveis mais reduzidos de luz, devido a limitação de energia, as taxas fotossintéticas são reduzidas, o que diminui o ganho de carbono nessas posições, além de as folhas mais velhas que ocupam essa parte da copa apresentarem menor capacidade fotossintética (FIELD, 1983; ACKERLY, 1999). Quanto mais velha a folha, menor a sua capacidade fotossintética. Na parte superior da copa com maior incidência de luz, a taxa de produção foliar é mais rápida do que na parte interior. A medida que a luminosidade diminui, aumenta-se a vida útil da folha, provavelmente devido ao envelhecimento mais lento resultante da redução do metabolismo fotossintético. No geral, quando os nutrientes, a luz ou a água são limitantes, a atividade metabólica é reduzida, ocorrendo redução do potencial fotossintético da folha e aumento da sua vida útil, atrasando a senescência foliar. Entretanto, a partir de um ponto limitante, quando os recursos são mais escassos, diminuindo a aquisição de carbono, a senescência é acelerada. Isso ocorre na parte inferior da copa, onde estão localizadas as folhas mais baixas e mais velhas, e também aonde a incidência de luz é menor (VINCENT, 2006).

O tempo de vida das folhas engloba o período que dura desde a emergência das folhas e sua expansão até a queda das folhas. A queda das folhas é antecedida pela senescência

foliar, a fase final do desenvolvimento da folha, definida como um processo degenerativo ativo, que marca a transição da assimilação líquida de carbono e nitrogênio para um período de catabolismo, seguido pelo desvio de nutrientes para as outras partes em desenvolvimento da planta (NOODÉN et al., 1997; VINCENT, 2006).

Segundo Munné-Bosch e Alegre (2004), a senescência foliar é um processo fisiológico altamente regulado que leva à morte da folha e está sujeita à regulação por fatores ambientais e endógenos. Os estímulos ambientais podem acelerar a senescência foliar, pois afetam o envelhecimento fisiológico, o desenvolvimento reprodutivo e os níveis hormonais, enquanto que os fatores endógenos podem afetar a capacidade da planta de induzir a senescência sob estresse. Dependendo da duração e da severidade do estresse, a senescência foliar pode permitir que a planta mantenha as folhas jovens vivas e que estas cresçam mais assim que as condições estressantes tiverem passado. Além disso, a senescência foliar comumente ocorre simultaneamente com outros mecanismos de resistência ao estresse em folhas jovens, de forma que a planta possa reiniciar o crescimento e desenvolvimento reprodutivo durante a temporada seguinte.

A senescência, como parte do processo de envelhecimento das folhas e dos eventos que compõem a fase final do desenvolvimento foliar, é reconhecida também como uma forma de morte celular programada, porém diferente de outros tipos de morte celular programada, ocorre mais lentamente e está associada, pelo menos em parte, à reciclagem eficiente de nutrientes que são translocados das células senescentes para outras partes da planta, como folhas jovens, flores e frutos em desenvolvimento, e tecidos de armazenamento, permitindo que o restante da planta se beneficie dos nutrientes acumulados durante a vida da folha (MUNNÉ-BOSCH; ALEGRE, 2004).

Apesar de a senescência levar a morte de células e órgãos, contribui para a sobrevivência da planta sob estresse, pois desempenha um papel na resistência a este. Visando realocar os nutrientes para os órgãos reprodutivos e eliminar o consumo de água pelas folhas mais velhas e menos produtivas, as plantas desenvolveram mecanismos pelos quais a senescência foliar pode ser induzida por estresses ambientais contribuindo, portanto, para a sobrevivência da planta sob estresse hídrico. Ainda, quando a senescência é acompanhada de abscisão foliar, evita grandes perdas de água pela transpiração, o que contribui para a manutenção de um balanço hídrico favorável de toda a planta (MUNNÉ-BOSCH; ALEGRE, 2004).

Além disso, quando a senescência foliar é induzida pela seca leva a um declínio progressivo da fotossíntese, de modo que a folha atinge o ponto de compensação luminoso, no

qual a assimilação de carbono e a respiração são iguais. A partir deste ponto a folha não contribuirá mais como um órgão fotossintético para as necessidades de assimilação do restante da planta. Assim, o tecido do aparato fotossintético desta folha senescente será desmontado e os nutrientes serão exportados para os tecidos jovens em crescimento (MUNNÉ-BOSCH; ALEGRE, 2004).

2.4. Influência do clima no crescimento e desenvolvimento de plantas

O entendimento das interações genótipo-ambiente e seu efeito no crescimento é de fundamental importância, em termos da tolerância das espécies a diferentes ambientes, para a manutenção da produtividade e sustentabilidade do meio ambiente (OTTO et al., 2013).

Identificar quando os fatores do meio (água, luz, temperatura e nutrientes) são limitantes para o crescimento das plantas é fundamental para compreender como estes podem ser amenizados em caso de déficit (WOOLHOUSE, 1984). Neste caso, intensificar as práticas de manejo com a finalidade de reduzir os fatores estressantes e realizar pesquisas objetivando encontrar genótipos que apresentam maior resiliência frente a estes é de suma importância (WOOLHOUSE, 1984).

Aqui entram dois princípios importantes, e que devem ser observados, no estudo do crescimento de árvores, o princípio do fator limitante e o princípio do crescimento agregado. O princípio do fator limitante estabelece que “o crescimento de uma árvore é sempre controlado por determinados fatores externos (água, temperatura, luz, CO₂, O₂, etc.) e internos (enzimas, fatores de crescimento, etc.)”. Portanto, o ritmo dos processos biológicos, como o crescimento em diâmetro e altura das árvores, é controlado pela disponibilidade desses fatores. Assim, por exemplo, se a precipitação é o principal fator limitante para o crescimento em diâmetro do tronco de uma árvore, a atividade cambial no decorrer do ano será, então, o reflexo da quantidade total de chuvas ao longo do ano (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

E o princípio do crescimento agregado estabelece que “o crescimento de uma árvore, em um dado ano, pode ser decomposto por fatores do ambiente (antropogênicos ou naturais) que afetam o padrão de crescimento dessa árvore através do tempo”. Assim, o crescimento de uma árvore, em um ano, é função de uma série de variáveis como a idade (relacionada com a tendência do crescimento em função do envelhecimento da árvore), as condições climáticas anuais, os distúrbios internos (queda de árvores, competição, etc.) e externos (epidemia de

pragas e doenças, incêndios, etc.) do povoamento florestal, e os processos não explicados pelos fatores ou o erro (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

No século 21, um dos maiores desafios para a silvicultura do eucalipto será a adaptação de genótipos às mudanças climáticas e às condições mais longas de estresse hídrico em regiões onde há novos plantios (GONÇALVES et al., 2017). Assim é necessário à realização de estudos para compreender como os fatores do meio afetam o crescimento e o desenvolvimento das espécies/clones/procedências de eucalipto utilizadas atualmente no Brasil.

Quanto aos fatores do meio pode-se destacar alguns fatores bióticos e abióticos que influenciam na produtividade dos eucaliptos. Dentre os fatores abióticos têm-se: a precipitação (bom crescimento entre 900 a 2000 mm, maiores produtividades em regiões onde não ocorre déficit hídrico); o solo (preferência por solos profundos, bem drenados e sem camadas de impedimento); a adubação (fornecer os seguintes nutrientes N, P, K, B, Zn, Ca e Mg, quando verificada sua necessidade); o espaçamento de plantio (definir de acordo com o uso final, idade de corte e local); os tratos culturais (mato-competição interfere negativamente); e a idade (idade de corte varia de 5 a 7 anos, sendo possível realizar duas a três rotações) (MORA; GARCIA, 2000). E entre os fatores bióticos têm-se: a espécie (grande variação genética dentro da espécie, deve-se verificar as melhores procedências para o local); as pragas (controle de formigas cortadeiras e demais pragas); e as doenças (seleção de espécies/procedências/clones e árvores resistentes) (MORA; GARCIA, 2000).

Dentre os fatores abióticos pode-se destacar os elementos climáticos, como a radiação solar, a precipitação, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica e os ventos, que são variáveis meteorológicas que caracterizam o tipo climático de uma determinada região ou local e, por sua vez, influenciam na vegetação da região ou local (FIORIN; ROSS, 2015).

As variáveis climáticas do local em que as árvores estão inseridas afetam os processos fisiológicos destas, refletindo na atividade cambial e na formação dos anéis de crescimento (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001). Assim, a produtividade das espécies florestais será afetada pelos elementos climáticos do microclima da área de plantio e, segundo Tomazello Filho, Botosso e Lisi (2001), a precipitação, a temperatura e a luz seriam as variáveis climáticas mais importantes.

Durante muito tempo constituiu-se quase um consenso entre os pesquisadores de que as árvores nas regiões tropicais e subtropicais não apresentariam sazonalidade da atividade cambial, pelas condições climáticas serem consideradas praticamente constantes durante o

ano e, assim, não formariam anéis de crescimento anuais, pela ausência da estação indutora de dormência ou de redução dos processos fisiológicos. Porém atualmente, através dos resultados obtidos e publicados em revistas e livros, tem-se demonstrado que inúmeras espécies tropicais, em diversas condições ecológicas, apresentam sazonalidade e crescimento rítmico resultando na formação de anéis de crescimento anuais (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001).

Esta periodicidade da atividade cambial, em árvores tropicais e subtropicais, parece ser decorrente de alterações na temperatura, no comprimento do dia e na precipitação pluviométrica, com os fatores endógenos inerentes a cada espécie, controlando o seu ritmo de crescimento. Em diversas pesquisas realizadas em florestas tropicais no continente africano, verificou-se que o crescimento em diâmetro das árvores analisadas dependia diretamente da disponibilidade de água no período de chuvas e que ocorria durante a estação seca uma redução da atividade cambial com a formação de anéis de crescimento no lenho (BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001).

Segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), o crescimento das árvores tende a acompanhar os ciclos climáticos que ocorrem ao longo do ano, se alternando em duas estações, a de crescimento, que ocorre nos períodos em que o ambiente está quente e há disponibilidade de luz e água, e a de dormência, que ocorre nos períodos muito frios ou quando não há água disponível no solo, cessando completamente o crescimento. Segundo Almeida et al. (2007), as plantações sofrem mudanças sazonais ao longo do ano, principalmente em decorrência da estação seca, quando a água se torna um fator limitante para as árvores.

Ainda Stape et al. (2010) estudando a produtividade potencial do eucalipto em diferentes sítios experimentais por todo o Brasil, com relação a influência da água, dos nutrientes e da uniformidade do povoamento na produção de madeira, obtiveram que à resposta a irrigação foi muito maior que à fertilização, além de a resposta à irrigação ser forte tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. Entretanto, a taxa de crescimento foi menor durante o período seco mesmo com a irrigação, tal fato se deve, provavelmente, a menor entrada de luz solar. O mesmo foi observado nos tratamentos não irrigados durante a estação seca, onde os efeitos combinados da menor entrada de luz e do maior estresse hídrico levaram a diminuição da taxa de crescimento. Portanto, pode-se afirmar que a água é um fator crítico para a produtividade dos povoamentos de eucalipto.

O desenvolvimento das árvores é influenciado, principalmente, pelas condições ambientais do local em que estão estabelecidas e pelos ciclos climáticos que ocorrem em

escalas temporais variadas: diárias, sazonais ou anuais, em décadas, em séculos e até milenares. As condições ambientais e climáticas agem duplamente sobre os arvoredos influenciando o comportamento das árvores, primeiro, pela influência direta no comportamento de cada árvore que compõe o arvoredo e, segundo, pela influência nas relações e interações entre as árvores do arvoredo (BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014). Assim, quando se estuda os efeitos do clima no crescimento e desenvolvimento das árvores de eucalipto, é importante compreender a distinção entre estes dois e as diferentes fases que englobam o desenvolvimento das plantações arbóreas.

Segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), o crescimento seria o aumento do tamanho das árvores, enquanto que o desenvolvimento implicaria não somente o aumento do tamanho, mas também a diferenciação dos tecidos e estruturas da árvore resultando em mudanças sensíveis na sua forma, incluindo a maturação para a reprodução, com a formação de flores e frutos.

Na perspectiva da mensuração das árvores de florestas plantadas, pode-se dividir o desenvolvimento em quatro fases: a colonização; o estabelecimento; a maturidade; e a senescência e morte. A colonização se inicia com o plantio das mudas e prossegue até o fechamento de copas, ou seja, quando as copas das árvores se tocam de forma a cobrir totalmente o solo, nesta fase o estabelecimento das mudas é muito sensível às condições ambientais extremas como a insolação, a seca e as geadas. O estabelecimento caracteriza-se pelo rápido crescimento em altura e o estabelecimento da hierarquia das copas das árvores na floresta, nesta fase o crescimento em diâmetro segue o crescimento em altura, ocorrendo na medida necessária para que a árvore adquira o suporte lenhoso para o crescimento em altura. A maturidade ocorre após o estabelecimento das árvores no dossel, passando as árvores a aumentar o seu tamanho pelo crescimento da copa, ramos, tronco e sistema radicular. O aumento da copa e do sistema radicular ocorre por meio da multiplicação dos eixos de crescimento, seguido do aumento do diâmetro do tronco e dos ramos que sustentam a copa e do engrossamento das raízes. Nesta fase, a altura das árvores se estabiliza, mas o diâmetro do tronco continua aumentando. A fase da maturidade reprodutiva, para a maioria das árvores, ocorre nessa fase, assim, essa fase é caracterizada por ciclos, alternando entre crescimento vegetativo, aumento do tamanho das árvores, e reprodutivo, com a produção de flores e frutos e a dispersão de sementes. Para as florestas plantadas o sinal mais claro da maturidade da floresta é a estagnação do crescimento diamétrico. A senescência ocorre quando o crescimento é reduzido até ao ponto de não permitir mais a reconstituição dos componentes da árvore, que se degradam e morrem, com o tempo a copa começa a se reduzir e o

crescimento secundário passa a ser muito pequeno ou nulo, culminando na estagnação completa do crescimento e caso não ocorra alguma interferência de manejo a árvore morrerá (BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014).

As florestas plantadas, também, passam por mudanças temporais em decorrência da velocidade de crescimento e do grau de competição entre as árvores. Inicialmente as árvores crescem muito rapidamente, sem influência da competição, e a velocidade de crescimento aumentará a cada ano, pois quanto maior o tamanho da árvore, maior a sua velocidade de crescimento, até que se inicie a competição entre as árvores, que se torna gradualmente mais intensa conforme as árvores crescem e se tornam maiores, reduzindo a velocidade de crescimento, que se tornará cada vez mais lenta. Quando a competição passar a ser muito intensa e caso não seja realizada alguma interferência de manejo visando reduzir a densidade da floresta, como o desbaste, o crescimento das árvores se tornará muito pequeno até a sua completa estagnação e, após passar um certo tempo da estagnação, ocorrerá a morte de várias árvores, liberando as sobreviventes para iniciar um novo período de crescimento mais intenso, até que a competição se estabeleça novamente. Entretanto, esta escala temporal de ciclos de crescimento e competição dependerá da espécie arbórea, das condições ambientais e climáticas, e das condições silviculturas iniciais de implantação. Fenômenos climáticos como um período de seca mais intensa ou mais prolongada que o normal, ou ainda a ocorrência de invernos rigorosos ou geadas, podem resultar em uma alta taxa de mortalidade, reduzindo a competição e antecipando o retorno do ciclo de crescimento das árvores (BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014).

Em geral, a planta possui mecanismos e processos que permitem-na lidar com um déficit hídrico periódico e severo no solo, estes envolvem uma compensação por parte da planta em relação ao potencial de crescimento, que é reduzido (GONÇALVES et al., 2017). Assim, as plantas utilizam parte dos nutrientes absorvidos e fotoassimilados produzidos para possibilitar a sua sobrevivência a este período de déficit hídrico, que culmina na diminuição ou estagnação da taxa de crescimento.

Para se efetivar o estudo e a determinação, a médio e longo prazo, do ritmo e da taxa de crescimento das árvores, bem como da periodicidade da atividade cambial e da influência dos fatores climáticos, realiza-se a avaliação contínua dos incrementos em circunferência do tronco das árvores. Dentre os equipamentos utilizados para o acompanhamento do crescimento do tronco das espécies arbóreas destacam-se as faixas ou bandas dendrométricas, que são fitas metálicas graduadas e um dos tipos básicos de dendrômetros mais utilizados, em decorrência da precisão e execução da leitura, facilidade de montagem, instalação e

manutenção em condições de campo e baixo custo. Seu uso possibilita a determinação do ritmo e da taxa de crescimento de árvores, da periodicidade da atividade cambial e sua relação com as condições climáticas. Estas faixas dendrométricas tem-se mostrado indispensáveis para a medição contínua do crescimento em circunferência do tronco das árvores, pois possibilitam avaliar pequenas mudanças no crescimento em intervalos de tempo relativamente reduzidos (BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001).

Em estudo desenvolvido na Floresta de Terra Firme na Amazônia, observou-se que nas espécies estudadas (*Cedrela odorata*, *Eperua bijuga* e *Calophyllum angulare*) as variações nas taxas de crescimento em circunferência do tronco estão estreitamente relacionadas com a precipitação e a disponibilidade de água no solo durante a estação chuvosa e que ocorre redução e/ou cessação da atividade cambial durante o período de seca. Na fase de menor precipitação, a maioria das árvores reduziu e/ou paralisou o crescimento em circunferência do tronco em resposta as alterações da atividade cambial. Verificou-se, ainda, que o crescimento é sensivelmente afetado pela estação chuvosa, mas conforme se aproxima o término dessa estação e o início do período de seca, o crescimento se torna cada vez mais reduzido. Ocorrendo a retomada lenta e gradual do crescimento no início e durante o período seco (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000). Imediatamente após as primeiras e baixas precipitações que antecedem a estação chuvosa, quando os tecidos recém-formados recuperam sua turgidez e o câmbio retoma sua atividade, ocorre os máximos valores de crescimento do tronco (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000; PRÉVOST; PUIG, 1981; DÉTIENNE et al, 1988). Esta redução das taxas de crescimento durante o final do período chuvoso e início do período seco parece estar associada à saturação de água no solo, pois a saturação de água no solo pode ocasionar a asfixia temporária e inibição do crescimento do sistema radicular (DÉTIENNE et al., 1988; BHATTACHARYYA et al., 1992; BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000). Em geral, os picos de máximo e mínimo de incremento do tronco das curvas de crescimento ocorrem no final do período seco e início do chuvoso, e no final do período chuvoso e início do seco, respectivamente (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000).

Diferenças nas taxas de crescimento em circunferência do tronco em resposta às variações climáticas, podem ainda ocorrer, entre árvores e espécies, como exemplo, no caso de espécies, tem-se a *Cedrela odorata* que apresentou uma taxa de incremento em diâmetro do tronco reduzida e inexistente durante a fase mais crítica da seca, demonstrando uma redução da atividade cambial em virtude do estresse causado pelo déficit de água no solo. Outro exemplo, no caso de árvores, tem-se o *Calophyllum angulare*, em que se observou

baixa taxa de incremento, porém sem interrupção do crescimento do tronco, em uma das 5 árvores desta espécie, tal fato é função do vigor e da capacidade de competição da árvore na floresta. Assim, a atividade cambial possui relação com a espécie, as condições climáticas, o vigor da árvore, incluindo sua idade e posição social no povoamento (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000).

Também se verificou que a espécie *Cedrela odorata* apresentou, durante a estação seca, uma contração do tronco das árvores que resultou na redução de seu diâmetro (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000), tal fato ocorre, segundo Détienne et al. (1988), porque as árvores utilizam a reserva de água de seus tecidos recém-formados para manterem suas funções fisiológicas em níveis mínimos durante a estação de seca, o que resulta na contração do diâmetro do tronco. Segundo a explicação dada por Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000) e Pévost e Puig (1981), o que ocorre é que o incremento do tronco avaliado ou medido pelos dendrômetros no campo compreende o incremento real do tronco mais o intumescimento da casca pela embebição de água, tal intumescimento é reversível e, durante a estação seca, esta água que causa a dilatação da casca ou do tronco é utilizada pela árvore ou evaporada, o que provoca uma retração do diâmetro do tronco que corresponde à paralisação do crescimento em algumas espécies.

Em um outro estudo desenvolvido em quatro áreas de mata mesófila semidecídua da região Sudeste do estado de São Paulo com 148 árvores de 22 espécies, verificou-se, nas avaliações iniciais do crescimento em circunferência, a tendência de redução do incremento para 6 espécies, geralmente a partir de março-abril, em decorrência da diminuição e/ou cessação da atividade cambial em virtude da diminuição da taxa de precipitação, com o início do déficit hídrico (estação seca), e das temperaturas mais baixas dos meses que antecedem o início do inverno. Porém outras duas espécies, o cumaru e o guarantã, apesar de apresentarem diminuição da taxa do ritmo de crescimento em circunferência, estas foram continuas no mesmo período (BOTOSSO, TOMAZELLO FILHO, 2001). Tal fato demonstra a influência tanto da precipitação como da temperatura na atividade cambial e a sua variação de acordo com a espécie.

Por fim, Mariaux (1969) estudando o crescimento em circunferência do tronco de árvores da espécie tropical *Terminalia superba*, em três países do continente Africano (Congo, Camarões e Costa do Marfim), utilizando faixas dendrométricas, e sua relação com a fenologia, periodicidade dos anéis de crescimento anuais e precipitação, demonstrou que o período de maior atividade cambial ou de formação da madeira correspondia à fase mais longa de permanência das folhas nas árvores, com a formação do lenho (atividade cambial)

iniciando-se com a brotação das folhas e paralisando (dormência cambial) com a queda das folhas durante a estação seca.

Assim, a mensuração contínua do crescimento em circunferência do tronco utilizando faixas dendrométricas possibilitará, a médio e longo prazo, o entendimento da dinâmica das populações florestais, bem como o crescimento das espécies e sua relação com as condições climáticas de cada região (BOTOSSO, TOMAZELLO FILHO, 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo e delineamento experimental

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), pertencente à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), onde são desenvolvidos pesquisas e experimentos supervisionados pelo Departamento de Ciências Florestais da ESALQ (LCF).

A Estação está localizada no interior do estado de São Paulo, no município de Itatinga, nas coordenadas geográficas latitude 23°10'S e longitude 48°40'W (Figura 1), com altitude média de 806 m, apresentando topografia suavemente ondulada, com predominância de solos dos tipos Latossolos e Podzólicos, com área total de 2.119,6 hectares (LCF, 2008; Gonçalves et al., 2012).

Figura 1. Mapa de localização e de divisão territorial da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em Itatinga-SP.

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2012).

O clima é do tipo temperado úmido com inverno pouco seco e frio e verão quente e úmido, Cfa ou subtropical úmido (Gonçalves et al., 2012), segundo a classificação climática

de Köppen-Geiger, com precipitação média anual de 1.452,52 mm e sem déficit hídrico, como se pode observar nas figuras de 2 a 4. A temperatura média anual é de 20,1 °C, sendo a temperatura média mínima do mês mais frio de 3,1 °C e a temperatura média máxima do mês mais quente de 33,9 °C.

Figura 2. Diagrama climático histórico de Itatinga – SP (1990 - 2018).

Fonte: Dados climáticos da Estação Meteorológica Automática da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga.

Figura 3. Extrato do Balanço Hídrico Mensal para o período de 1990 a 2018 de Itatinga – SP.

Legenda: De acordo com Rolim e Sentelhas (1999); para o cálculo do balanço hídrico considerou-se a CAD igual a 100 mm.

Figura 4. Balanço Hídrico Mensal para o período de 1990 a 2018 de Itatinga – SP.

Legenda: De acordo com Rolim e Sentelhas (1999); para o cálculo do balanço hídrico considerou-se a CAD igual a 100 mm.

O solo onde o experimento foi instalado é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico A moderado textura argilosa (LVdf), formado a partir da intemperização do basalto, do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1984; GONÇALVES et al.,

2012). Tal tipo de solo é caracterizado por apresentar baixa saturação por bases (distrófico), baixa fertilidade natural e alto teor de óxidos de ferro (Fe_2O_3), além disso, são solos muito profundos, porosos a muito porosos, bem drenados, apresentando, assim, boas condições físicas, entretanto, devido a sua textura argilosa apresentam susceptibilidade à compactação (EMBRAPA, 2013; EMBRAPA, 2019).

Segundo Gonçalves et al. (2012), o solo LVdf dentro da EECFI foi encontrado nas áreas mais declivosas, no terço inferior das vertentes e, em menores altitudes, entre 750 a 775 m, predominando na variação de declividade de 10 a 30%, em relevo ondulado a fortemente ondulado. Neste solo encontrou-se baixa concentração de P, matéria orgânica e bases trocáveis (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos de amostras de solo coletadas em duas profundidades do perfil de solo Latossolo Vermelho Distroférico Típico A moderado textura argilosa localizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, em Itatinga-SP.

Horiz.	Prof. cm	Granulometria				Relação Silte/Argila	MO ³ g.kg ⁻¹	pH em KCl ⁴	P - resina ⁵ mg.kg ⁻¹	Cátions Trocáveis					CTCe
		Argila ¹	Silte	Areia grossa ²	Areia fina ²					Ca ⁵	Mg ⁵	K ⁵	H ⁵	Al ⁵	
		g.kg ⁻¹								mmol.c.kg ⁻¹					
A1	0-20	550	120	330	-	0,22	33	4,3	9	19	10	3,2	70	8	40
Bw	70-90	630	70	300	-	0,11	12	4,2	5	3	1	1,3	36	2	7

Método: ¹ Método da pipeta; ² Peneiramento; ³ Dicromato de potássio e ácido sulfúrico; ⁴ KCl 1 mol L⁻¹; ⁵ Resina de troca catiônica.

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2012).

O experimento foi implantado no mês de janeiro de 2012, em delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, cada uma composta por dezoito tratamentos, em arranjo fatorial 6 x 3, tendo como fatores clone e arranjo de plantio, seis clones de eucalipto (CO1404, CO1407, AEC1528, AEC0042, AEC0224 e AEC0144) e três arranjos de plantio (3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m). Os clones foram selecionados com base na sua tolerância ao estresse hídrico de acordo com as experiências observadas em povoamentos florestais de grande escala pelas empresas que os desenvolveram. Segundo informações pessoais, os clones AECs foram selecionados na região de Turmalina/MG e de Itamarandiba/MG e os clones COs na região de Alagoinhas/BA e Esplanada/BA. A utilização de 3 arranjos de plantio visou simular diferentes restrições de acesso das plantas aos recursos do meio como a água. Os tratamentos são apresentados em detalhe na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos Tratamentos (clone/arranjo de plantio).

Nome do Clone*	Nome Científico*	Arranjo de plantio (m x m)
CO1404	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4
CO1407	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4
AEC1528	<i>Eucalyptus</i> spp.	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4
AEC0042	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4
AEC0224	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4
AEC0144	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	3 x 1
		3 x 2
		3 x 4

*Legenda: RNC/MAPA, 2019.

As parcelas são do tipo retangular (5 linhas por 5 plantas), constituídas de 25 árvores cada, com área útil composta pelas nove árvores centrais, tendo, assim, bordadura interna simples em cada parcela (Figura 5) e bordadura externa dupla à área experimental.

Figura 5. Distribuição das árvores na parcela. A linha tracejada em vermelho delimita a parcela útil.

Seguiu-se os princípios de cultivo mínimo segundo Gonçalves et al. (2000) para a implantação. Como a área já tinha sido manejada anteriormente, a subsolagem foi realizada nas entrelinhas do ciclo anterior à 0,40 m de profundidade. Em seguida realizou-se o controle de formigas e da mato-competição.

Uma semana após o plantio as mudas receberam a adubação de base que consistia de 200 kg.ha⁻¹ de N-P-K 06-30-06, 17 kg.ha⁻¹ de FTE Br 12 e 2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação de cobertura foi realizada aos três meses de idade, na qual aplicou-se 68 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio, 5 kg.ha⁻¹ de borogran e 50 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio; também foi realizada uma adubação complementar, aos oito meses de idade, na qual aplicou-se 78 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio.

3.2. Coleta de dados

3.2.1. Avaliação do crescimento das árvores

As árvores da parcela útil foram mensuradas em dois intervalos durante o ciclo de cultivo, no período de setembro de 2013 a janeiro de 2015 e de abril de 2018 a janeiro de 2019.

Foram mensurados o diâmetro na altura de 1,30 m em relação ao solo, designado como diâmetro à altura do peito (DAP cm), utilizando uma suta de 40 cm com precisão de 0,001 m (Figura 6A), e a altura total (m), utilizando o hipsômetro Vertex IV com precisão de 0,1 m (Figura 6B), aos 20, 24, 26, 30, 34, 36, 75, 78, 81 e 84 meses de idade e a altura da base da copa (m) aos 26, 30, 34, 36, 75, 78, 81 e 84 meses de idade. A base da copa foi considerada onde tem-se o primeiro ramo vivo acima do qual todos os ramos são vivos.

Obteve-se comprimento da copa (m) pela diferença entre a altura total (m) e a altura da base da copa (m). A porcentagem de copa (%) foi obtida por meio da divisão do comprimento de copa (m) pela altura total (m), multiplicando-se por 100. Também foi calculado o grau de esbeltez ($GE\ m.cm^{-1}$), que foi obtido pela divisão da altura total (m) pelo DAP (cm).

Figura 6. (A) Medição do DAP com suta; (B) Medição da altura total e da base da copa com o hipsômetro Vertex IV.

Estimou-se a área basal segundo Machado e Figueiredo Filho (2003) para avaliação da ocupação das árvores na área de cada tratamento (clone/arranjo de plantio). Para a estimativa do volume por árvore de cada tratamento (clone/arranjo de plantio) realizou-se a cubagem rigorosa das árvores pelo método de Smalian, descrito por Machado e Figueiredo Filho (2003), utilizando 30 árvores por tratamento e 10 árvores por classe de DAP (classe inferior, média e superior), adotando o seguinte procedimento: derrubada das árvores e medição dos diâmetros no toco (0,1 m); entre o toco e o DAP (0,7 m); no DAP (1,3 m); na altura 2,0 m e, a partir desta última, em distâncias de 1 m até o diâmetro mínimo de 3 cm. A partir dos dados de cubagem gerou-se a equação de predição do volume por árvore para cada clone utilizando o modelo de Schumacher-Hall (SCHUMACHER; HALL, 1933) (Equação 1). Após estimou-se o volume por árvore e por hectare.

$$\ln(v) = \beta_0 + 2,280694 \cdot \ln(DAP) + 0,5009882 \cdot \ln(H) \quad (1)$$

onde:

v = volume total da árvore (dm^3);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

H = altura total da árvore (m).

Abaixo tem-se a constante de proporcionalidade (βo) para cada clone:

Clone	βo
AEC0042	0,096163
AEC0114	0,092816
AEC0224	0,083101
AEC1528	0,079823
CO1404	0,089777
CO1407	0,088802

3.2.2. Avaliação do índice de área foliar

As estimativas do índice de área foliar (IAF $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) foram realizadas juntamente com as avaliações de crescimento, no período de março de 2014 a janeiro de 2015 e de abril de 2018 a janeiro de 2019, aos 26, 29, 34, 36, 75, 78, 81 e 84 meses de idade. As estimativas foram realizadas sob luz difusa, no começo da manhã ou no final da tarde, utilizando o equipamento LAI-2200C, que possui duas hastes. Uma delas foi disposta fora do dossel (à céu aberto) e a outra foi utilizada abaixo do dossel, ambas as hastes sempre foram posicionadas na direção oposta ao sol visando garantir condições de iluminação similares. A haste que funciona remotamente (à céu aberto) foi programada para registrar dados a cada 15 segundos. Já com a haste que registra os dados sob o dossel foram realizadas 24 leituras por parcela, sempre distribuídas de forma sistemática (Figura 7). Em ambas as hastes foi utilizado o ângulo de abertura de 10° . Os dados foram processados por meio do software FV-2200.

Figura 7. Distribuição sistemática dos pontos de leitura na parcela, para a estimativa do IAF.

3.2.3. Deposição de folheto

A coleta das amostras de folheto foram realizadas mensalmente de abril de 2013 a janeiro de 2015 (dos 15 aos 36 meses de idade) e de janeiro de 2017 a janeiro de 2019 (dos 60 aos 84 meses de idade). Os coletores do tipo bandeja foram confeccionados com moldura de madeira com fundo em tela de nylon possuindo dimensões de 0,50 m x 0,50 m ($0,25 \text{ m}^2$)

(Figura 8A). Um coletor foi instalado no centro de cada parcela a 0,50 m em relação à superfície do solo e após a instalação dos coletores, iniciaram as coletas. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Ecofisiologia Florestal e Silvicultura (LEFS) da ESALQ/USP, onde foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 65 °C até atingirem peso constante (Figura 8B) e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g para determinação do peso seco (g) (Figura 8C).

Figura 8. (A) Coletor de folheto em campo; (B) Secagem das amostras em estufa a 65 °C; (C) Pesagem das amostras.

3.2.4. Avaliação da atividade cambial das árvores com dendrômetro de faixa

Foram coletados, quinzenalmente, dados de incremento em circunferência do tronco no período de junho de 2014 (29 meses de idade) a janeiro de 2019 (84 meses de idade). Para isto foram confeccionados dendrômetros utilizando fitas de aço inoxidável de 12,7 mm de largura por 0,15 mm de espessura de acordo com a metodologia descrita por Botosso e Tomazello Filho (2001). Nestas fitas foram demarcadas uma escala em mm e uma em nônio, com precisão de leitura de 0,2 mm, e foram mantidas sob tração no tronco das árvores por uma mola de aço inoxidável, de 100 mm de comprimento por 8 mm de diâmetro (Figura 9).

Figura 9. Dendrômetro de faixa instalado no tronco da árvore na altura do CAP para avaliação da atividade cambial.

O comprimento total de cada dendrômetro de faixa foi determinado por meio da medição da circunferência a altura do peito (CAP) do tronco das árvores em mm, somando a este valor, 170 mm, que corresponde a sobreposição da escala em mm e em nônio. As graduações das escalas de nônio e mm foram demarcadas na fita de aço com auxílio de um gabarito (BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001).

Os dendrômetros de faixa foram instalados na altura do DAP (1,30 m) sempre nas árvores 13 e 19 de cada parcela (Figura 5) para avaliação da sazonalidade da atividade cambial. As leituras foram realizadas em um mesmo intervalo de horas fixo, entre as 8 e as 10 horas da manhã. Posteriormente, os dados foram correlacionados com as variáveis climáticas.

3.2.5. Dados climáticos

Os dados climáticos diários referentes a temperatura média (°C), a precipitação acumulada (mm) e a umidade relativa do ar (%) foram obtidos da estação meteorológica automática da EECFI, Itatinga-SP. Os equipamentos que coletam os dados estão ligados a um sistema de aquisição de dados (datalogger CR100, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA). Nos períodos de 17 de novembro a 01 de dezembro de 2014, de 19 de abril a 12 de maio de 2015, de 02 de fevereiro a 24 de março de 2016, de 22 de abril a 26 de julho de 2016, de 07 a 11 de abril de 2017 e de 17 de outubro a 1 de novembro de 2018, devido a falhas nos equipamentos, os dados foram perdidos, assim, foram utilizados os dados climáticos da estação meteorológica automática de Avaré – INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) por ser a mais próxima da área de estudo. Os dados climáticos foram agrupados em período de aproximadamente 15 dias coincidentes com as leituras dos dendrômetros de faixa e nos períodos de 15, 28 e 45 dias antes da leitura dos dendrômetros de faixa, e em período de

aproximadamente 30 dias coincidentes com a deposição de folheto e nos períodos de 30 e 60 dias antes da deposição de folheto, para determinação do período de resposta das árvores às variáveis climáticas, o qual é conhecido como defasagem (lag). Para isso, foi realizada a correlação destes dados com os valores de incremento em circunferência do tronco e deposição de folheto.

3.3. Análise estatística

A análise estatística foi realizada com o auxílio do software R Studio para Windows utilizando os pacotes ScottKnott, gplots e lattice. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), em nível de probabilidade de 5%, utilizando-se o modelo matemático da Equação 2:

$$Y_{kij} = \mu + \delta_k + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \varepsilon_{kij} \quad (2)$$

onde:

Y_{kij} : é o valor observado na parcela que recebeu o i-ésimo clone, no j-ésimo arranjo de plantio, no k-ésimo bloco;

μ : é a constante inerente a toda população;

δ_k : é o efeito do k-ésimo bloco; k = 1, 2, 3, 4, 5 e 6;

α_i : é o efeito (fixo) do i-ésimo clone; i = 1, 2, 3, 4, 5 e 6;

τ_j : é o efeito (fixo) do j-ésimo arranjo de plantio; j = 1, 2 e 3;

$(\alpha\tau)_{ij}$: é o efeito da interação entre o i-ésimo clone e o j-ésimo arranjo de plantio;

ε_{kij} : é o efeito dos fatores não controlados do i-ésimo clone, no j-ésimo arranjo de plantio, no k-ésimo bloco (erro aleatório).

Quando o Teste F da ANOVA indicou diferença significativa entre os tratamentos, as médias das variáveis foram comparadas pelo Teste de Scott-Knott, com o nível de probabilidade de 5%.

A análise de correlação entre o DAP e a altura total e o comprimento de copa; entre a altura e o comprimento de copa, a área transversal e o volume por árvore; entre o comprimento de copa e a área transversal e o volume por árvore; entre o IAF e a deposição de folheto, o incremento em área basal e o incremento em volume por área; e entre a deposição de folheto e a área basal e o volume por área; foram realizadas pelo teste de Pearson (r). Para

esta análise foram divididos os dados em dois períodos, dos 20 aos 36 meses de idade e dos 75 aos 84 meses de idade, por serem fases diferentes do desenvolvimento das árvores. E para correlação dos dados de IAF foram utilizados os incrementos em área basal e volume por área para melhor compreensão do efeito deste no crescimento. Também foram realizadas análises de correlação entre as variáveis climáticas (precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar) e a deposição de folheto e o incremento em diâmetro do tronco pelo teste de Pearson (r)

Para análise dos resultados de correlação foi adaptada a classificação proposta por Dancey e Reidy (2013) que consideram o r fraco de 0 a 0,39; moderado de 0,40 a 0,69; forte de 0,70 a 0,99 e, perfeito igual a 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização climática da área experimental

As variáveis da copa e do crescimento são afetadas pelo genótipo e pela densidade de plantio, bem como pelos elementos climáticos. Entretanto, como tais interações e fatores afetam cada variável ainda necessitam de mais estudos. Primeiramente é preciso conhecer as condições climáticas normais para o local e identificar as diferenças encontradas entre estas e o período de estudo.

Na Figura 10 estão representadas a temperatura mínima, máxima e média e a precipitação, mensais, obtidas para o período de avaliação do experimento. Na Figura 11 e 12 tem-se o balanço hídrico mensal do período de avaliação do experimento, calculado a partir dos dados de temperatura média e precipitação por meio da metodologia proposta por Rolim e Sentelhas (1999).

Figura 10. Dados de precipitação, temperatura máxima, média e mínima, para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019, em Itatinga – SP.

Fonte: Dados climáticos da Estação Meteorológica Automática da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga e Estação Meteorológica Automática de Avaré – INMET.

Figura 11. Extrato do Balanço Hídrico Mensal para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019 em Itatinga – SP.

Legenda: Foi utilizada a metodologia proposta por Rolim e Sentelhas (1999) para o cálculo do balanço hídrico utilizando o CAD igual a 100 mm.

Figura 12. Balanço Hídrico Mensal para o período de estudo de 2012 a janeiro de 2019 em Itatinga – SP.

Legenda: Foi utilizada a metodologia proposta por Rolim e Sentelhas (1999) para o cálculo do balanço hídrico utilizando o CAD igual a 100 mm.

Quando se observa a Figura 2, onde se têm as variáveis climatológicas médias do período de 1990 a 2018 de Itatinga/SP, é possível verificar que a temperatura média varia ao longo do ano entre 15,62 e 23,23 °C, a máxima entre 28,07 e 33,87 °C e a mínima entre 3,15 e 13,75 °C, e a precipitação varia entre 40,70 e 266,82 mm. Esta região, onde o experimento estava localizado, apresenta período seco e chuvoso bem definido. O período seco ocorre entre os meses de abril e setembro e apresenta as menores temperaturas e precipitações (40,7 a 90,0 mm), entretanto não se verifica a ocorrência de déficit hídrico (Figura 3 e 4). Já o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e março e apresenta as maiores temperaturas e precipitações (127,1 a 266,82 mm).

Ao comparar-se o período histórico (Figura 2, 3 e 4) com os dados climáticos do período de avaliação do experimento (Figuras 10, 11 e 12), observa-se diferenças que certamente geraram distintas respostas no crescimento e desenvolvimento das árvores de eucalipto. No ano de 2013 ocorreram chuvas irregulares, com precipitação alta no mês de junho (202,99 mm), baixas nos meses de novembro (69,48 mm) e dezembro (29,15 mm) e ausente no mês de agosto, entretanto as temperaturas não variaram tanto, com exceção de março, julho e agosto que apresentaram temperaturas mínimas muito baixas (3,30, 2,04 e 1,03 °C, respectivamente), devido a estes fatos, ocorreu déficit hídrico de -35,94 mm, no mês de dezembro, e a precipitação anual (1.343,9 mm) ficou abaixo da média histórica.

O ano de 2014 foi um ano atípico. As chuvas continuaram irregulares, ocorrendo precipitações muito baixas durante o período chuvoso e seco, além da ocorrência de temperaturas muito altas, como em outubro (35,51 °C), e muito baixas, como em julho (0 °C), a precipitação anual deste ano foi de 1.081,7 mm, abaixo da média histórica de 1.452,5 mm, em consequência destas variações, ocorreu déficit hídrico no mês de outubro (-25,35 mm).

Em 2015, ocorreram precipitações muito baixas nos meses de junho (7,15 mm) e agosto (29,45 mm) e muito alta no mês de julho (140,39 mm), setembro (239 mm) e novembro (472,86 mm), além de temperaturas muito altas em janeiro (35,01 °C), setembro (34,67 °C) e outubro (34,60 °C) e muito baixa em julho (1,87 °C), a precipitação anual foi alta (2.036,03 mm).

Em 2016, ocorreram baixas precipitações em abril (30,83 mm), julho (12,60 mm), setembro (31,74 mm) e novembro (80,91 mm) e alta em janeiro (414,92 mm), maio (172,80 mm), junho (120,60 mm) e agosto (113,75 mm), além de temperaturas muito baixas em agosto (2,93 °C) e setembro (1,38 °C), com ocorrência de déficit hídrico em abril (-12,22 mm), a precipitação anual foi acima do esperado (1.626,38 mm).

No ano de 2017, ocorreram chuvas irregulares, com precipitações muito altas como em janeiro (470,14 mm), maio (267,62 mm) e junho (199,65 mm), muito baixas como em fevereiro (78,88 mm) e setembro (42,96 mm) e ausente em julho, além de temperatura muito baixa em junho (1,7 °C), a precipitação anual foi de 2.403,97 mm, muito acima da média histórica.

Por fim, no ano de 2018, também ocorreram chuvas irregulares, com precipitações baixas em fevereiro (74,99 mm), junho (38,82 mm) e julho (13,63 mm) e altas em agosto (177,59 mm) e setembro (166,44 mm), além de temperaturas muito baixas em março (1,17 °C), julho (2,62 °C) e agosto (1,60 °C), com déficit hídrico no mês de julho (-11,00 mm), a precipitação anual foi de 1.586,40 mm.

É importante enfatizar que segundo o balanço hídrico do período histórico (Figura 3), o local onde o experimento está localizado não possui déficit hídrico, entretanto, durante o ano de 2012 e entre a metade do ano de 2013 até o final do ano de 2014 (Figura 11), ocorreram dois períodos de déficit hídrico muito longo, atípicos para o local, onde ocorreram baixas precipitações com temperaturas variando entre valores muito altos (34,5 °C) e muito baixos (0 °C), o que pode ter afetado significativamente o crescimento das árvores nas diferentes densidades de plantio.

4.2. Avaliação dos Parâmetros da Copa

A altura é mais influenciada pela qualidade do sítio e pela idade do plantio do que pela densidade de plantio, entretanto, com o aumento da densidade de plantio, mais cedo ocorre o fechamento de copas (EMBRAPA, 2019) e a competição pelos recursos do meio como água, luz e nutrientes (GONÇALVES et al., 2013). Segundo Stape et al. (2010), com o aumento da densidade de plantio é possível reduzir o período de tempo necessário para o desenvolvimento total do dossel, entretanto, o valor do desenvolvimento rápido do dossel dependerá em parte da hidrologia do local.

Com base nos dados das Figuras 13 e 14 e das Tabelas 3 e 4, verifica-se que os maiores aumentos em altura ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 13 e Tabela 3) e arranjo de plantio (Figura 14 e Tabela 4), o que demonstra a influência da idade do plantio na altura total.

Figura 13. Crescimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável altura (m) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 3. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável altura (m) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	11,86	A	13,91	A	15,15	A	15,55	B	16,89	A	19,12	A	26,68	A	26,96	A	27,22	B	27,94	B
AEC0224	11,03	C	13,20	B	13,94	B	15,26	B	16,39	B	18,48	B	26,20	B	26,72	A	27,12	B	27,73	B
AEC1528	11,49	B	13,64	A	14,92	A	15,68	B	16,97	A	19,48	A	25,93	B	26,02	B	26,34	C	27,29	B
AEC0042	11,29	C	13,67	A	14,77	A	16,10	A	17,21	A	19,64	A	27,23	A	27,76	A	28,48	A	29,31	A
CO1404	10,47	D	12,63	C	13,57	B	14,75	C	15,79	C	17,36	C	25,12	B	25,50	B	26,02	C	26,81	B
CO1407	10,22	D	12,33	C	13,42	B	14,33	C	15,62	C	17,65	C	26,19	B	26,64	A	27,20	B	28,38	A

Figura 14. Crescimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável altura (m) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 4. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável altura (m) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	11,12	ns	13,10	ns	13,95	B	14,76	B	15,85	C	17,78	B	22,52	C	22,82	C	23,26	C	24,16	C
3 m x 2 m	11,14	ns	13,35	ns	14,39	A	15,39	A	16,53	B	18,92	A	26,57	B	26,96	B	27,40	B	28,20	B
3 m x 4 m	10,92	ns	13,25	ns	14,55	A	15,69	A	17,06	A	19,17	A	29,58	A	30,02	A	30,53	A	31,37	A

*Legenda: ns = não significativo.

Segundo Gonçalves et al. (2000), antes do fechamento de copas e após a plena adaptação das plantas no campo (fase inicial e intermediária), ocorre uma fase de intenso crescimento primário, com altas taxas de absorção de nutrientes que se relacionam diretamente com a idade do plantio. Nesta fase, todos os fotoassimilados sintetizados são canalizados para formação de copas (expansão da área foliar) e sistema radicular, visando garantir o suprimento de água e nutrientes, além disso, não ocorre competição entre as árvores por fatores do meio, sendo o crescimento limitado pelas condições fisiológicas das plantas (GONÇALVES et al., 2000).

Após o fechamento de copas, entre os 2 e 4 anos pós-plantio, a formação de copas atinge uma fase de relativa estabilidade, em consequência do auto-sombreamento que impõe uma área foliar máxima limite, passando as plantas a investir mais no crescimento secundário, ou seja, na formação do tronco e engrossamento das raízes (GONÇALVES et al., 2000). É nesta fase que a competição pelos recursos como água, luz, nutrientes e espaço é maior. Entretanto, a idade que cada fase ocorrerá dependerá da densidade de plantio, ou seja, em espaçamentos de plantio mais adensados o fechamento de copas se inicia mais cedo, bem como a competição, já em espaçamentos de plantio menos adensados, o fechamento de copas e a competição se iniciam mais tarde.

Os clones AEC0144, AEC0224, AEC1528 e AEC0042 foram os que apresentaram as maiores alturas, com maior destaque para o clone AEC0042 que apresentou as maiores alturas dos 24 aos 84 meses de idade, e o clone CO1404 foi o que apresentou as menores alturas no período avaliado, o clone CO1407 inicialmente apresentou as menores alturas, dos 20 aos 36 meses de idade, mas dos 75 aos 84 meses de idade passou a apresentar as maiores, sendo que aos 84 meses de idade, juntamente com o AEC0042, foi um dos clones com a maior altura (Figura 13 e Tabela 3). Tais diferenças ocorreram, provavelmente, em consequência da diferença entre os genótipos e dos locais de seleção dos mesmos. Os clones AECs foram selecionados na região de Turmalina-MG e Itamarandiba-MG, onde o clima é classificado como Aw, segundo Köppen-Geiger, este tipo climático apresenta estação seca durante o inverno, assim como o clima da região de Itatinga-SP (Cfa), que apresenta as menores precipitações e temperaturas durante o inverno. Já os clones COs foram selecionados na região de Esplanada-BA, onde o clima é o As, que apresenta estação mais seca durante o verão, e de Alagoinhas-BA, onde o clima é o Af, o qual não apresenta estação seca definida e possui elevada temperatura média durante todo o ano, diferente do encontrado na região de Itatinga-SP, que apresenta as menores precipitações e temperaturas durante o inverno.

Quando observa-se a Figura 14 e Tabela 4 verifica-se que no período de setembro de 2013 a janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade), a altura média das árvores era muito próxima nos diferentes arranjos de plantio, pois ainda não ocorreu o fechamento de copas e a competição entre as árvores nos espaçamentos de plantio menos adensados ainda não era muito significativa neste período, porém a partir de abril de 2018 (dos 75 aos 84 meses de idade), verifica-se uma diferença nítida entre as alturas médias nos diferentes arranjos de plantio, com as maiores alturas no arranjo de plantio 3 m x 4 m e as menores no 3 m x 1 m (Tabela 4), pois neste período já ocorreu o fechamento de copas e a competição pelos recursos do meio entre as árvores é mais intensa. Nesta fase, os fatores limitantes do crescimento começam a escassear entrando o povoamento em estagnação (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em março de 2014 (26 meses de idade) e em janeiro de 2019 (84 meses de idade) (Figura 15). Aos 26 meses de idade (Figura 15A), os clones CO1404, CO1407 e AEC0042 apresentaram o mesmo comportamento, a maior altura média no arranjo de plantio 3 m x 4 m e a menor no 3 m x 1 m. Já para os clones AEC1528 e AEC0144, a maior altura média foi no arranjo de plantio 3 m x 2 m e a menor no arranjo de plantio 3 m x 1 m. O clone AEC0224 apresentou a maior altura média no arranjo de plantio 3 m x 1 m e a menor no 3 m x 4 m. As diferenças observadas se devem a resposta de cada genótipo aos diferentes arranjos de plantio. Por exemplo, no caso do clone AEC0224, ainda não ocorreu o fechamento de copas nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, somente para o 3 m x 1 m, o que é consequência do menor crescimento inicial se comparado com os clones CO1404, CO1407 e AEC0042, que tiveram um crescimento primário mais intenso inicialmente, já apresentando o fechamento de copas e uma competição mais intensa nos arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m.

Já aos 84 meses de idade, (Figura 15B) os clones AEC0042, AEC1528 e AEC0224 apresentaram uma diferença de altura entre os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m similar a diferença de altura entre os arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m. O clone CO1404 apresentou uma maior diferença entre os arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m. E os clones AEC0144 e CO1407 apresentaram uma maior diferença entre os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m. Entretanto, para todos os clones a maior altura média ocorreu no arranjo de plantio 3 m x 4 m e a menor no 3 m x 1 m. Essa maior ou menor diferença observada entre as alturas vai depender da adaptação do genótipo ao ambiente. No caso do clone CO1404 esta menor diferença entre as alturas nos espaçamentos de plantio mais adensados e maior diferença nos menos adensados indica que este clone é menos tolerante a

competição pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes. Dentre os clones este foi o que apresentou a menor altura média nas diferentes idades.

Figura 15. Crescimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável altura (m). (A) Março de 2014 e (B) Janeiro de 2019.

A copa é muito afetada pelas condições climáticas, como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, apresentando variação no seu comprimento dentro do ano de acordo com as estações (verão, outono, inverno e primavera); e pela densidade de plantio, que influencia na quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que chega no interior do povoamento. Com base nos dados das Figuras 16 e 17 e das Tabelas 5 e 6, verifica-se que os maiores comprimentos de copas ocorreram entre os meses de março de 2014 e janeiro de 2015 (dos 26 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 16 e Tabela 5) e

arranjo de plantio (Figura 17 e Tabela 6), o que demonstra, também, a influência da idade do plantio no comprimento de copa. Dos 26 aos 36 meses de idade, o menor tamanho das árvores permitia que uma maior quantidade de luz incidisse dentro do povoamento, favorecendo a formação de galhos novos e a manutenção dos galhos mais velhos, assim, a copa é melhor distribuída ao longo do fuste. Além disso, neste período, a competição entre as árvores pelos recursos do meio era menor e o investimento no crescimento primário era maior, resultando em um maior comprimento de copa, o que favoreceu a produção de mais fotoassimilados pela planta, em consequência da maior quantidade de folhas, e estes, por sua vez, puderam ser utilizados para aumentar o crescimento da árvore neste período.

Figura 16. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável comprimento de copa (m) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 5. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável comprimento de copa (m) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	8,20	B	6,76	B	8,38	A	9,93	B	4,30	B	4,08	C	4,22	C	5,85	B
AEC0224	8,53	B	6,94	B	7,76	B	9,77	B	4,05	C	4,40	C	4,01	C	5,13	B
AEC1528	9,70	A	7,91	A	8,61	A	10,29	A	3,97	C	4,04	C	4,11	C	5,79	B
AEC0042	8,06	B	7,49	A	8,52	A	10,55	A	4,10	C	4,35	C	4,37	C	5,58	B
CO1404	7,29	C	6,80	B	7,71	B	8,77	C	4,58	B	4,92	B	4,80	B	6,27	B
CO1407	8,38	B	6,99	B	8,14	A	9,81	B	5,62	A	5,77	A	5,54	A	7,27	A

Figura 17. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável comprimento de copa (m) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 6. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável comprimento de copa (m) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	7,46	C	6,57	C	7,43	C	8,75	C	3,43	C	3,69	C	3,41	C	5,78	B
3 m x 2 m	8,45	B	7,15	B	8,15	B	9,79	B	4,31	B	4,39	B	4,43	B	5,64	B
3 m x 4 m	9,18	A	7,73	A	8,98	A	11,01	A	5,56	A	5,71	A	5,68	A	6,52	A

Na Figura 16 é possível observar que o comprimento de copa foi maior para todos os clones nos meses de janeiro de 2015 (36 meses de idade) e janeiro de 2019 (84 meses de idade), o que corresponde com o aumento das precipitações e das temperaturas na época chuvosa, já nos demais meses o comprimento de copa foi menor, em consequência das menores precipitações e temperaturas do período seco, pois as plantas visando diminuir a transpiração neste período e, assim, diminuir a perda de água, depositam mais galhos e folhas, diminuindo, consequentemente, o comprimento de copa.

Inicialmente, observa-se a formação de dois grupos, clones com maior comprimento de copa e menor, isto dos 26 aos 36 meses de idade, posteriormente, dos 75 aos 84 meses de idade, distinguem-se 3 grupos, os clones AEC0144, AEC0224, AEC1528 e AEC0042 que formam o grupo com os menores comprimentos de copa, o CO1404 com um comprimento intermediário e o CO1407 com o maior comprimento de copa (Figura 16 e Tabela 5), o que demonstra que o comprimento de copa também é influenciado pelo material genético. Isto se deve as diferentes adaptações edafoclimáticas dos materiais em consequência das distintas regiões em que foram selecionados.

Quanto a influência da densidade de plantio, comumente quanto maior a densidade de plantio, mais cedo ocorre o fechamento de copas e, consequentemente, menor a incidência de luz dentro do povoamento, o que compromete a formação de galhos novos e a manutenção dos galhos mais velhos (desrama natural). Isto pode ser observado na Figura 17 e na Tabela 6, onde o menor comprimento de copa é apresentado pelo arranjo de plantio 3 m x 1 m e o maior pelo arranjo de plantio 3 m x 4 m, isto dos 26 aos 84 meses de idade.

As espécies de eucalipto são, no geral, intolerantes à sombra. Assim, as árvores sombreadas são as que apresentam menor crescimento e maior probabilidade de morte, já que as espécies intolerantes à sombra quando sombreadas são ineficientes (BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014). Isto pode ser observado no arranjo de plantio 3 m x 1 m, onde as árvores se encontram em uma competição mais intensa, assim, estas apresentam um menor crescimento em altura e, consequentemente, possuem também um menor comprimento de copa.

Ainda segundo Balloni e Simões (1980), a desrama natural ocorrerá mais rapidamente nos menores espaçamentos de plantio em consequência da competição mais intensa por luz, o que causa uma morte mais precoce dos ramos inferiores, diminuindo, assim, o comprimento de copa.

O comprimento de copa tende a aumentar com a diminuição da densidade de plantio, pois a copa nos plantios menos adensados é mais bem distribuída ao longo do tronco, já que a

desrama natural dos galhos inferiores é mais tardia, o que pode ser reflexo da arquitetura de copa e do não fechamento de copas, permitindo maior exposição das folhas da base da copa a uma quantidade de luz maior do que aquela correspondente ao seu ponto de compensação luminoso, gerando um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo nas folhas (LEITE et al., 1997).

Nas Figuras 16 e 17 observa-se que o comprimento de copa também varia entre os anos, geralmente, verifica-se a tendência de diminuição do comprimento de copa com o aumento da idade, devido ao maior fechamento de copas e competição pelos recursos do meio, passando a árvore a investir mais no crescimento em diâmetro do tronco do que na produção de folhas.

Com o fechamento de copas, aumenta-se o auto-sombreamento entre as folhas, assim, a partir de um ponto limitante, onde a incidência de luz é muito baixa, diminui-se a vida útil das folhas, acelerando a senescência foliar e diminuindo o comprimento de copa, isso pode ser observado na Figura 17, no arranjo de plantio 3 m x 1 m, principalmente. Segundo Field (1983) e Ackerly e Bazzaz (1995), o auto-sombreamento entre as folhas é uma das consequências do crescimento em altura das árvores, já que folhas novas são produzidas na posição superior da copa, assim, as folhas mais velhas acabam ocupando as posições mais baixas e menos iluminadas. Na parte superior da copa, com maior incidência de luz, a taxa de produção foliar é mais rápida do que na parte interior. A medida que a luminosidade diminui, aumenta-se a vida útil da folha, em consequência da redução do metabolismo fotossintético, como ocorre na parte intermediária da copa. No geral, quando a luz, a água ou os nutrientes são limitantes, a atividade metabólica é reduzida, reduzindo o potencial fotossintético da folha e aumentando a sua vida útil, atrasando a senescência foliar. Entretanto, a partir de um ponto limitante, quando os recursos são mais escassos, diminuindo aquisição de carbono, a senescência é acelerada, isso ocorre na parte inferior da copa, onde estão localizadas as folhas mais baixas e mais velhas, que apresentam menor capacidade fotossintética, e também onde a incidência de luz é menor (FIELD, 1983; ACKERLY, 1999; VINCENT, 2006).

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em abril de 2018 (75 meses de idade), em julho de 2018 (78 meses de idade) e em outubro de 2018 (81 meses de idade) (Figura 18). Nos três casos os clones AEC0042 e CO1404 se comportaram semelhantemente, com pouca diferença em comprimento de copa entre os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m e entre o 3 m x 2 m e o 3 m x 4 m. O Clone CO1407 e o AEC0224 foram os mais diferentes entre os clones, o primeiro apresentou grande diferença entre o comprimento de copa dos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m quando comparado com

a diferença entre o 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, já o segundo clone apresentou menor comprimento de copa no arranjo de plantio 3 m x 2 m e maior no 3 m x 4 m, com o 3 m x 1 m intermediário entre os dois. Os clones AEC1528 e AEC0144 apresentaram um comportamento muito semelhante, com a diferença entre os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m e do 3 m x 2 m e 3 m x 4 m muito semelhante entre si. Essa maior ou menor diferença observadas entre os comprimentos de copa depende da adaptação do genótipo ao ambiente.

Figura 18. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável comprimento de copa (m). (A) Abril de 2018; (B) Julho de 2018 e (C) Outubro de 2018.

A porcentagem da copa é a relação entre o comprimento de copa e a altura total das árvores, e é influenciada pelas condições climáticas, pela idade e pela densidade de plantio. Nas Figuras 19 e 20 e Tabelas 7 e 8, observa-se que todos os clones e os três arranjos de plantio apresentaram maior porcentagem de copa dos 26 aos 36 meses de idade e menor porcentagem dos 75 aos 84 meses de idade, tal fato é consequência da menor competição pelos recursos do meio, devido ao menor tamanho das árvores nos primeiros anos, assim, nesta fase tem-se uma maior entrada de radiação fotossinteticamente ativa no interior do povoamento, favorecendo a formação de galhos novos e a manutenção dos galhos mais velhos ao longo do fuste.

Figura 19. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável porcentagem de copa (%) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 7. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável porcentagem de copa (%) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014	Jul/2014	Nov/2014	Jan/2015	Abr/2018	Jul/2018	Out/2018	Jan/2019
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão
	26 meses	30 meses	34 meses	36 meses	75 meses	78 meses	81 meses	84 meses
AEC0144	53,87 C	43,15 C	49,38 ns	51,62 B	16,36 C	15,37 C	15,79 C	21,86 B
AEC0224	61,20 B	45,38 B	47,36 ns	51,60 B	15,88 C	17,18 C	15,07 C	19,48 B
AEC1528	64,95 A	50,42 A	50,63 ns	52,51 B	15,50 C	15,91 C	15,81 C	21,63 B
AEC0042	54,28 C	46,42 B	49,30 ns	53,44 A	14,54 C	15,18 C	14,89 C	18,93 B
CO1404	53,58 C	46,12 B	48,61 ns	49,61 B	18,21 B	19,28 B	18,21 B	24,01 A
CO1407	62,21 B	48,63 A	52,22 ns	55,28 A	21,58 A	21,97 A	20,00 A	26,43 A

*Legenda: ns = não significativo.

Figura 20. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável porcentagem de copa (%) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 8. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável porcentagem de copa (%) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014	Jul/2014	Nov/2014	Jan/2015	Abr/2018	Jul/2018	Out/2018	Jan/2019
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão
	26 meses	30 meses	34 meses	36 meses	75 meses	78 meses	81 meses	84 meses
3 m x 1 m	53,27 C	44,31 C	46,80 B	48,25 C	15,99 C	17,14 B	15,33 B	25,10 A
3 m x 2 m	58,70 B	46,44 B	49,22 B	51,56 B	16,34 B	16,44 B	16,13 B	20,37 B
3 m x 4 m	63,07 A	49,31 A	52,74 A	57,23 A	18,71 A	18,87 A	18,43 A	20,68 B

Wink et al. (2012) obtiveram resultados semelhantes a estes, em que as árvores de eucalipto da floresta mais jovem (20 meses de idade), em fase de crescimento ativo ou acelerado, apresentaram os maiores valores de porcentagem de copa, quando comparadas com as árvores das florestas mais velhas (44 e 240 meses de idade). Ainda segundo estes autores, com o avanço da idade, as árvores de eucalipto tendem a apresentar um crescimento mais acelerado do DAP em relação ao desenvolvimento da copa.

Na Figura 19 e na Tabela 7 verifica-se que os clones nos primeiros meses, 30 aos 36 meses de idade, tiveram porcentagem de copa semelhantes, mas dos 75 aos 84 meses de idade se dividiram inicialmente em 3 grupos, o AEC0144, o AEC0224, o AEC1528 e o AEC0042 com a menor porcentagem de copa, o CO1404 como intermediário e o CO1407 com a maior porcentagem, assim, a porcentagem de copa também é influenciada pelo material genético.

Em relação a influência da densidade de plantio, com o aumento da densidade de plantio, o fechamento de copas ocorre mais cedo e aumenta-se a competição entre as árvores, o que pode ser visto na Figura 20 e na Tabela 8, nota-se que, no geral, o arranjo de plantio 3 m x 1 m foi o que apresentou menor porcentagem de copa, por vezes semelhante ao arranjo de plantio 3 m x 2 m, e o arranjo de plantio 3 m x 4 m a maior porcentagem. Isto também é influenciado pela altura das árvores, pois as árvores nos espaçamentos de plantio mais adensados possuem menor altura média em comparação com os espaçamentos de plantio menos adensados.

Aos 84 meses de idade, o arranjo de plantio 3 m x 1 m apresentou a maior porcentagem de copa, mesmo com a maior competição entre as árvores. Ainda que a altura das árvores e o comprimento de copa seja maior no arranjo de plantio 3 m x 4 m, e tenha aumentado em consequência da alta precipitação e altas temperaturas apresentadas no mês de janeiro de 2019. No arranjo de plantio 3 m x 1 m, a altura teve um aumento insignificante em relação a outubro de 2018, porém o comprimento de copa praticamente dobrou, aumentando a porcentagem de copa. Tal fato, se deve ao aumento das precipitações e temperaturas, que estimulou a produção de galhos e folhas ao longo do fuste, visando aumentar a produção de fotoassimilados para o crescimento secundário.

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em abril de 2018 (75 meses de idade), em julho de 2018 (78 meses de idade) e em outubro de 2018 (81 meses de idade) (Figura 21). Os clones CO1404 e AEC0042 tiveram comportamentos semelhantes nos três casos, com menor porcentagem de copa no arranjo de plantio 3 m x 1 m e maior no arranjo de plantio 3 m x 4 m, o mesmo ocorreu com o AEC0224 que apresentou maior porcentagem no arranjo de plantio 3 m x 1 m e menor no arranjo de plantio 3 m x 2 m e

o AEC0144 que teve maior porcentagem de copa no arranjo de plantio 3 m x 4 m e menor no arranjo de plantio 3 m x 2 m. O Clone CO1407 e o AEC1528 foram os mais diferentes entre os clones, o primeiro aos 75 e 78 meses de idade apresentou a maior porcentagem de copa no arranjo de plantio 3 m x 4 m e a menor no arranjo de plantio 3 m x 2 m, já aos 81 meses de idade a menor porcentagem passou a ser apresentada pelo arranjo de plantio 3 m x 1 m e a maior continuou no arranjo de plantio 3 m x 4 m. Já o segundo clone, AEC1528, primeiramente apresentou a maior porcentagem de copa no arranjo de plantio 3 m x 4 m e a menor no arranjo de plantio 3 m x 2 m, depois, aos 78 meses de idade, passou a apresentar a maior porcentagem no arranjo de plantio 3 m x 1 m e a menor continuou no arranjo de plantio 3 m x 2 m, por fim, aos 81 meses de idade, a maior porcentagem foi no arranjo de plantio 3 m x 4 m e a menor no arranjo de plantio 3 m x 1 m. Essas variações observadas entre as porcentagens de copa dependerão da adaptação do genótipo ao ambiente.

Por exemplo, no caso do AEC1528, a maior porcentagem de copa apresentada no arranjo de plantio 3 m x 4 m, aos 75 meses de idade, se deve as precipitações e altas temperaturas apresentadas no mês de março de 2018, porém, com a queda brusca da quantidade de chuvas e da temperatura no mês de abril de 2018 que continuou diminuindo até julho de 2018, quando apresentou um déficit hídrico de 11 mm, a maior porcentagem de copa passou a ser apresentada pelo arranjo de plantio 3 m x 1 m, pois neste as árvores já se encontravam mais adaptadas a seca, já as árvores do arranjo de plantio 3 m x 4 m sentiram mais essa queda de temperatura e quantidade de chuvas, o que levou a uma maior deposição de folhas dos galhos inferiores, porém com o retorno das chuvas e aumento das temperaturas a partir de agosto de 2018, as árvores do arranjo de plantio 3 m x 4 m voltaram a apresentar as maiores porcentagens de copa.

Figura 21. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável porcentagem de copa (%). (A) Abril de 2018; (B) Julho de 2018 e (C) Outubro de 2018.

O IAF é influenciado pela densidade de plantio, pela idade do plantio, pelo material genético e pelas condições edafoclimáticas, dentre outros fatores. Entre os materiais genéticos estudados (Figura 22 e Tabela 9), o IAF variou pouco entre os clones, somente aos 26, 29, 78 e 84 meses de idade ocorreu diferença significativa. Os materiais que apresentaram esta variação ao longo do período de estudo foram o AEC1528, o AEC0042, o CO1404 e o CO1407, já o AEC0144 e o AEC0224 mantiveram valores altos de IAF ao longo de todo o período. Assim, pode-se concluir que o IAF também varia com o material genético, podendo ter materiais mais responsivos as variações climáticas como o CO1404 e menos responsivos como o AEC0144.

O IAF, geralmente, aumenta com o aumento da densidade de plantio, em consequência do rápido fechamento de copas e do maior número de árvores por área. Na Figura 23 e Tabela 10 pode-se observar que o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que apresentou menor IAF dos 26 aos 84 meses de idade, já o arranjo de plantio 3 m x 1 m foi o que apresentou as maiores médias.

Figura 22. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável IAF ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 9. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável IAF ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014		Jun/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	26 meses		29 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	3,59	A	3,66	A	2,75	ns	3,57	ns	3,00	ns	2,92	A	2,97	ns	3,67	A
AEC0224	3,86	A	3,73	A	2,79	ns	3,63	ns	3,10	ns	2,68	A	3,05	ns	3,55	A
AEC1528	3,54	A	3,38	B	2,64	ns	3,35	ns	3,03	ns	2,96	A	2,86	ns	3,33	B
AEC0042	3,82	A	3,66	A	2,84	ns	3,59	ns	3,10	ns	2,54	B	2,84	ns	3,25	B
CO1404	3,64	A	3,43	B	2,46	ns	3,42	ns	3,05	ns	2,28	B	2,66	ns	3,21	B
CO1407	3,20	B	3,58	A	2,80	ns	3,67	ns	3,00	ns	2,48	B	2,79	ns	3,34	B

*Legenda: ns = não significativo.

Figura 23. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável IAF ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 10. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável IAF ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Mar/2014		Jun/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	26 meses		29 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	3,71	A	3,72	A	2,82	A	3,69	A	3,28	A	2,80	A	2,99	A	3,65	A
3 m x 2 m	3,70	A	3,68	A	2,84	A	3,61	A	3,02	B	2,71	A	2,88	A	3,43	B
3 m x 4 m	3,42	B	3,32	B	2,48	B	3,32	B	2,84	B	2,43	B	2,70	B	3,09	C

Os espaçamentos de plantio mais adensados promovem o desenvolvimento mais rápido do IAF, aumentando a interceptação de luz e a fotossíntese, o que favorece o crescimento, porém aumenta-se a interceptação de chuva pelas copas das árvores e a evapotranspiração (GONÇALVES et al., 2013; LIDER, 1985; LANDSBERG; WARING, 1997; LEITE et al., 1999).

Segundo Le Maire et al. (2011), o IAF em plantações de eucalipto de rápido crescimento é muito dinâmico e varia tanto interanualmente quanto sazonalmente ao longo de uma rotação, e é especialmente variável de acordo com as condições edafoclimáticas. Ainda segundo estes autores, quanto a idade do plantio de eucalipto, o IAF atinge o valor máximo durante o segundo ou terceiro ano, o que pode ser observado nas Figuras 22 e 23, onde os maiores valores de IAF foram obtidos entre os 26 e 29 meses de idade. Segundo Whitehead e Beadle (2004), logo após o plantio, o IAF aumenta rapidamente, atingindo um pico e depois diminui à medida que as árvores amadurecem.

Quanto a sazonalidade, o pico do IAF ocorre durante a estação chuvosa e o valor mais baixo durante a estação seca (LE MAIRE et al., 2011), o que também pode ser observado nas Figuras 22 e 23, onde ocorreu em janeiro de 2015 e 2019, valores altos de IAF em decorrência das altas precipitações, e nos meses de novembro de 2014 e julho de 2018 foram apresentadas as menores médias em consequência do período seco com déficit hídrico prolongado. Segundo Whitehead e Beadle (2004), as grandes mudanças sazonais do IAF, bem como a queda do valor do mesmo, são alguns dos mecanismos, já identificados, utilizados pelas espécies de eucalipto para tolerar as condições de déficit hídrico.

Assim, a dinâmica típica do IAF compreende um rápido aumento do IAF durante o primeiro e, ocasionalmente, o segundo ano de plantio e, então, varia sazonalmente, principalmente devido à estação seca, entretanto, geralmente, mantém um valor alto, em torno de 3 a 4. Porém a tendência geral da dinâmica do IAF com a idade é variável entre os plantios (LE MAIRE et al., 2011).

Durante o período estudado o valor do IAF variou de 2 a 4, com os menores valores correspondendo à estação seca e os maiores valores com à estação chuvosa com altas temperaturas. Os valores abaixo de 3 são consequência dos prolongados períodos de déficit hídrico ocorridos de junho a novembro de 2014 e de abril a julho de 2018.

A deposição de folheto é influenciada pelas condições edafoclimáticas e pela densidade de plantio. De acordo com as estações do ano, independente do material genético e da densidade de plantio, o verão é a estação do ano onde ocorre as maiores deposições, em decorrência das altas precipitações, temperaturas e radiação, que intensifica a atividade

fotossintética das folhas, tendo, assim, uma maior renovação foliar, neste trabalho a média geral desta estação foi de 630,14 kg.ha⁻¹. Na estação seguinte, o outono, ainda se mantém uma alta deposição de folheto (515,84 kg.ha⁻¹), em consequência da quantidade de chuva e da alta temperatura. Já no inverno é onde encontra-se as menores deposições de folheto (374,22 kg.ha⁻¹), pois nesta estação a atividade fotossintética é mais baixa, bem como a renovação foliar, em consequência das menores temperaturas, precipitações e radiação. Já na primavera, com a volta das chuvas e o aumento da temperatura, inicia-se a renovação foliar e, assim, aumenta-se a deposição de folheto (407,79 kg.ha⁻¹). Isto pode ser observado na Figuras 24, 25 e 26 e nas Tabelas 11, 12 e 13.

Figura 24. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável deposição de folheto (kg.ha^{-1}) ao longo de todo o período de avaliação.

Figura 25. (Continuação) Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável deposição de folheto (kg.ha⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 11. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

Estação		Outono									
Idade	15 meses	16 meses	26 meses	27 meses	28 meses	62/63 meses	64 meses	74 meses	75 meses	76 meses	
Clone	Abr/2013	Maio/2013	Mar/2014	Abr/2014	Maio/2014	Mar/Abr/2017	Maio/2017	Mar/2018	Abr/2018	Maio/2018	
AEC0144	230,58 A	193,40 A	120,73 ns	634,24 B	424,87 B	1.502,69 A	462,90 B	610,11 A	683,24 A	547,82 A	
AEC0224	156,91 B	131,16 B	179,87 ns	825,56 A	640,33 A	1.343,87 A	395,17 B	661,78 A	632,11 A	502,20 A	
AEC1528	112,62 B	72,22 B	120,76 ns	553,93 B	555,07 A	1.477,42 A	605,90 A	598,73 A	627,00 A	547,07 A	
AEC0042	202,29 A	139,62 B	128,69 ns	624,40 B	475,71 B	1.238,36 A	386,27 B	503,82 B	475,07 B	397,29 B	
CO1404	191,69 A	202,76 A	111,80 ns	839,73 A	495,56 B	1.351,18 A	393,93 B	618,18 A	593,29 A	413,60 B	
CO1407	104,07 B	87,69 B	154,82 ns	687,18 B	503,11 B	1.386,44 A	396,80 B	646,49 A	550,09 B	499,93 A	
Estação		Inverno									
Idade	18 meses	19 meses	29 meses	30 meses	31 meses	65 meses	66/67 meses	77 meses	78 meses	79 meses	
Clone	Jul/2013	Ago/2013	Jun/2014	Jul/2014	Ago/2014	Jun/2017	Jul/Ago/2017	Jun/2018	Jul/2018	Ago/2018	
AEC0144	361,47 A	453,76 A	244,63 B	243,07 B	222,16 A	611,64 B	945,09 ns	457,44 ns	394,11 ns	114,69 ns	
AEC0224	189,07 B	194,19 C	329,10 A	275,52 B	212,13 A	578,02 B	840,36 ns	457,40 ns	374,07 ns	89,69 ns	
AEC1528	209,11 B	219,89 C	327,77 A	288,40 B	170,77 B	699,02 A	922,80 ns	479,84 ns	416,47 ns	128,36 ns	
AEC0042	257,33 B	330,08 B	236,47 B	250,72 B	270,37 A	516,04 B	871,09 ns	374,64 ns	376,24 ns	95,51 ns	
CO1404	382,60 A	541,39 A	233,03 B	468,88 A	230,35 A	564,49 B	798,93 ns	400,51 ns	359,60 ns	104,00 ns	
CO1407	111,04 C	209,68 C	242,33 B	202,05 B	186,32 B	604,33 B	880,56 ns	422,40 ns	386,07 ns	95,93 ns	

*Legenda: ns = não significativo.

Tabela 12. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

Estação			Primavera																											
Idade	32 meses			33 meses			34 meses			68 meses			69 meses			70 meses			80 meses			81 meses			82 meses					
Clone	Set/2014			Out/2014			Nov/2014			Set/2017			Out/2017			Nov/2017			Set/2018			Out/2018			Nov/2018					
AEC0144	470,48	ns		229,60	ns		550,77	A	565,67	ns		436,96	ns		236,53	ns		272,22	A	588,58	ns		461,96	ns						
AEC0224	408,66	ns		189,53	ns		396,00	B	514,84	ns		394,49	ns		235,40	ns		231,00	B	552,36	ns		543,62	ns						
AEC1528	373,30	ns		214,00	ns		539,52	A	574,98	ns		413,07	ns		232,84	ns		301,09	A	678,91	ns		474,27	ns						
AEC0042	428,44	ns		222,93	ns		535,28	A	538,13	ns		464,56	ns		232,84	ns		201,82	B	562,58	ns		478,38	ns						
CO1404	418,02	ns		180,73	ns		424,61	B	579,27	ns		460,53	ns		243,16	ns		244,18	B	604,84	ns		553,27	ns						
CO1407	401,65	ns		210,07	ns		432,11	B	529,87	ns		416,24	ns		243,33	ns		219,71	B	613,31	ns		500,22	ns						
Estação			Verão																											
Idade	23 meses			24 meses			25 meses			35 meses			60 meses			61 meses			71 meses			72/73 meses			83 meses			84 meses		
Clone	Dez/2013			Jan/2014			Fev/2014			Dez/2014			Jan/2017			Fev/2017			Dez/2017			Jan/Fev/2018			Dez/2018			Jan/2019		
AEC0144	786,88	A		1.609,18	A		586,75	ns	68,89	B	611,38	ns	404,99	B	414,31	ns	1.134,87	B	534,48	ns		366,24	ns							
AEC0224	492,91	B		1.277,53	B		550,08	ns	66,91	B	545,11	ns	423,92	B	411,40	ns	1.238,53	A	463,01	ns		368,67	ns							
AEC1528	615,04	B		1.221,64	B		570,80	ns	153,78	A	643,60	ns	539,47	A	481,91	ns	1.269,80	A	481,12	ns		371,80	ns							
AEC0042	689,07	A		1.409,24	B		590,21	ns	63,98	B	599,36	ns	405,73	B	421,09	ns	1.159,62	B	446,16	ns		338,58	ns							
CO1404	842,83	A		1.363,96	B		584,29	ns	77,89	B	637,91	ns	437,60	B	434,89	ns	1.275,20	A	472,99	ns		369,44	ns							
CO1407	506,64	B		1.490,24	A		571,79	ns	75,38	B	678,04	ns	462,11	B	477,02	ns	1.294,69	A	505,52	ns		422,04	ns							

*Legenda: ns = não significativo.

Figura 26. Desenvolvimento médio nos diferentes arranjos de plantio para a variável deposição de folheto (kg.ha⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 13. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável deposição de folheto ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

Estação		Outono									
Idade	15 meses	16 meses	26 meses	27 meses	28 meses	62/63 meses	64 meses	74 meses	75 meses	76 meses	
Arranjo de plantio	Abr/2013	Maio/2013	Mar/2014	Abr/2014	Maio/2014	Mar/Abr/2017	Maio/2017	Mar/2018	Abr/2018	Maio/2018	
3 m x 1 m	197,42 ns	203,98 A	145,56 ns	673,10 ns	492,42 ns	1.433,07 ns	461,58 ns	629,91 ns	636,22 A	510,08 ns	
3 m x 2 m	152,21 ns	114,97 B	112,14 ns	711,17 ns	498,01 ns	1.385,61 ns	438,60 ns	626,14 ns	576,92 B	490,89 ns	
3 m x 4 m	149,44 ns	94,48 B	150,63 ns	698,26 ns	556,89 ns	1.331,30 ns	420,30 ns	563,50 ns	567,26 B	452,99 ns	
Estação		Inverno									
Idade	18 meses	19 meses	29 meses	30 meses	31 meses	65 meses	66/67 meses	77 meses	78 meses	79 meses	
Arranjo de plantio	Jul/2013	Ago/2013	Jun/2014	Jul/2014	Ago/2014	Jun/2017	Jul/Ago/2017	Jun/2018	Jul/2018	Ago/2018	
3 m x 1 m	307,70 A	402,77 A	257,70 ns	362,91 A	240,65 ns	602,52 ns	899,11 A	469,80 A	414,46 ns	123,59 A	
3 m x 2 m	222,30 B	304,73 B	294,93 ns	270,45 B	214,76 ns	596,47 ns	906,94 A	446,91 A	383,10 ns	99,88 B	
3 m x 4 m	225,31 B	266,99 B	254,03 ns	230,96 B	190,64 ns	587,79 ns	823,36 B	379,41 B	355,72 ns	90,62 B	
Estação		Primavera									
Idade	32 meses	33 meses	34 meses	68 meses	69 meses	70 meses	80 meses	81 meses	82 meses		
Arranjo de plantio	Set/2014	Out/2014	Nov/2014	Set/2017	Out/2017	Nov/2017	Set/2018	Out/2018	Nov/2018		
3 m x 1 m	466,34 A	237,88 ns	499,57 ns	555,73 ns	473,37 A	272,83 A	269,44 A	663,69 A	548,87 A		
3 m x 2 m	397,61 B	185,28 ns	467,07 ns	572,31 ns	404,38 B	233,52 B	258,00 A	603,44 A	485,48 B		
3 m x 4 m	386,33 B	200,27 ns	472,51 ns	523,33 ns	415,18 B	205,70 B	207,57 B	533,16 B	471,51 B		
Estação		Verão									
Idade	23 meses	24 meses	25 meses	35 meses	60 meses	61 meses	71 meses	72/73 meses	83 meses	84 meses	
Arranjo de plantio	Dez/2013	Jan/2014	Fev/2014	Dez/2014	Jan/2017	Fev/2017	Dez/2017	Jan/Fev/2018	Dez/2018	Jan/2019	
3 m x 1 m	734,77 A	1.530,18 A	589,33 ns	96,04 ns	612,62 ns	454,13 ns	468,83 A	1.275,20 A	517,56 ns	388,70 ns	
3 m x 2 m	619,93 B	1.337,77 B	592,03 ns	84,73 ns	645,32 ns	446,37 ns	447,98 A	1.258,18 A	476,75 ns	378,70 ns	
3 m x 4 m	611,97 B	1.317,96 B	545,60 ns	72,63 ns	599,76 ns	436,40 ns	403,50 B	1.152,98 B	457,33 ns	350,99 ns	

*Legenda: ns = não significativo.

A plasticidade na alocação de recursos varia de acordo com os recursos envolvidos, com o estágio de desenvolvimento ou tamanho da planta, com a arquitetura de copa, o tempo de vida das folhas e a tolerância à sombra, por exemplo, a árvore pode alocar maior quantidade de recursos para as folhas e raízes, aumentando a interceptação de luz e a captação de água e nutrientes necessários para operar e expandir o sistema fotossintético, visando aumentar as suas taxas de crescimento (KING, 2003). Isto ocorre, por exemplo, durante o verão, devido a maior atividade fotossintética, ocorre maior deposição de folheto e, assim, a renovação foliar é mais intensa, visando aumentar o crescimento secundário.

Quanto aos materiais genéticos, Figuras 24 e 25 e Tabelas 11 e 12, observar-se um comportamento muito semelhante entre os clones. No geral, tem-se dois grupos, os clones AEC0144, AEC1528 e CO1404 com as maiores deposições ao longo de todo o período de estudos e os clones AEC0224, AEC0042 e CO1407 com as menores deposições de folheto.

Quando se observa as estações do ano é possível verificar que se têm clones que depositaram mais em determinada estação. No geral, no outono os clones AEC0144, AEC0224, AEC1528 e CO1404 foram os que depositaram as maiores quantidades de folheto. No inverno o clone CO1404 foi o que realizou as maiores deposições e o AEC0144 ficou entre os dois grupos. Na primavera, as maiores deposições foram realizadas pelos clones AEC0144 e AEC1528 e o clone AEC0042 ficou intermediários entre os dois grupos. Já no verão, o clone AEC1528 foi o que apresentou as maiores deposições.

Em relação ao arranjo de plantio, Figura 26 e Tabela 13, o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que apresentou as menores deposições ao longo do período de estudo e os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m as maiores, porém ocorreram momentos que o arranjo de plantio 3 m x 2 m não diferiu do 3 m x 4 m. Isto se deve a maior competição nos espaçamentos de plantio mais adensados, pois aumenta-se o sombreamento e a perda de água do solo.

Segundo Laclau et al. (2009), as árvores podem utilizar a deposição de folheto para reduzir a transpiração durante os períodos em que a regulação da condutância estomática não é suficiente para combinar a captação de água no solo com a demanda atmosférica. O que pode ser observado no arranjo de plantio 3 m x 1 m, as árvores visando reduzir a perda de água do solo e, assim, reduzir o estresse hídrico, aumentam a deposição de folheto, o que reduz a evapotranspiração e o risco de morte das árvores pela seca.

A senescência foliar e a estrutura e dinâmica da copa são influenciadas pela idade das folhas e, principalmente, pela posição das folhas no interior da copa (ACKERLY; BAZZAZ, 1995; ACKERLY, 1999). Embora a senescência foliar progrida com a idade, ela também é

influenciada por outros fatores como o auto-sombreamento e a nutrição. Em relação a luminosidade, quanto maior a incidência de luz, menor a longevidade das folhas e o número de folhas, em decorrência do acelerado metabolismo fotossintético. A medida que a luminosidade diminui, aumenta-se a vida útil da folha, devido a redução do metabolismo fotossintético, mas a partir de um ponto limitante, quando os recursos são mais escassos, diminuindo a aquisição de carbono, a senescência passa a ser acelerada. Assim, conforme aumenta-se o sombreamento, a partir do ponto em que a luz se torna limitante, como em ambientes com baixa luminosidade, a longevidade das folhas e o número de folhas passa a ser reduzido (ACKERLY; BAZZAZ, 1995; VINCENT, 2006). Assim, nos espaçamentos de plantio mais adensados, arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, em consequência do maior sombreamento da copa, maior é a deposição de folheto, já o inverso se observa nos espaçamentos de plantio menos adensado, como no arranjo de plantio 3 m x 4 m, onde se tem uma menor deposição.

Nos espaçamentos de plantio mais adensados, ocorre maior deposição em decorrência da menor disponibilidade de recursos. Segundo Vincent (2006), quando os nutrientes, a luz ou a água são limitantes, a atividade metabólica é reduzida, ocorrendo redução do potencial fotossintético da folha e aumento da sua vida útil, atrasando a senescência foliar. Entretanto, a partir de um ponto limitante, quando os recursos são mais escassos, diminuindo a aquisição de carbono, a senescência é acelerada.

Ao observar-se o comportamento do IAF (Figuras 22 e 23) e comparar com a deposição de folheto (Figuras 24, 25 e 26), verifica-se que, no geral, quando a deposição diminui o IAF aumenta e vice-versa, isto demonstra a influência da taxa de deposição de folheto nos valores de IAF, que por sua vez influencia no crescimento dos plantios, o que corrobora com Battaglia et al. (1998) e Laclau, et al. (2009). Segundo estes, as previsões de crescimento dos povoamentos são altamente sensíveis as mudanças no IAF e este, por sua vez, é muito sensível as mudanças na taxa de deposição de folheto ou na vida útil das folhas. O mesmo comportamento do IAF comparado com a deposição de folheto, no geral, pode ser observado para o comprimento de copa e a porcentagem de copa (Figuras 16, 17, 19 e 20).

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em maio de 2013 (16 meses de idade), em agosto de 2013 (19 meses de idade) e em maio de 2017 (64 meses de idade) (Figura 27). Em maio de 2013 (Figura 27A), cada clone teve um comportamento diferente em cada arranjo de plantio, o CO1404 apresentou uma alta deposição de folheto no arranjo de plantio 3 m x 1 m e menor nos demais, semelhante a ele tem-se o AEC224, porém este apresentou uma deposição no arranjo de plantio 3 m x 1 m bem

menor. O clone CO1407 apresentou maior deposição de folheto no arranjo de plantio 3 m x 4 m, seguido do 3 m x 1 m e do 3 m x 2 m. O AEC1528 teve maior deposição no 3 m x 1 m, já nos outros dois arranjos de plantio, a deposição foi muito semelhante. No AEC0042 a maior deposição foi no 3 m x 4 m, o 3 m x 1 m e o 3 m x 2 m tiveram a quantidade de folheto muito próxima. Por fim, o AEC0144, apresentou maior deposição no 3 m x 1 m, seguido do 3 m x 2 m e do 3 m x 4 m, mas a queda da quantidade de folheto depositado foi semelhante. A temperatura vinha caindo de março para maio, apesar de a precipitação estar aumentando de abril para maio, assim, o efeito desta queda brusca de temperatura, no caso da média de 20,56 °C em março para 16,31 °C em maio, gerou está resposta diferente para cada clone.

Em agosto de 2013 (Figura 27B), os clones AEC0042, AEC0224 e AEC0144 apresentaram comportamento semelhante nos diferentes arranjos de plantio, com maior quantidade de deposição de folheto nos espaçamentos de plantio mais adensados, sendo muito semelhante a deposição do 3 m x 1 m com o 3 m x 2 m, e menor deposição no 3 m x 4 m. O CO1404 apresentou maior deposição no 3 m x 1 m e a quantidade depositada no 3 m x 2 m foi semelhante quantidade depositada no 3 m x 4 m. Já o CO1407 apresentou maior deposição no 3 m x 1 m, seguido do 3 m x 4 m e do 3 m x 2 m. Por fim, o AEC1528 apresentou maior quantidade depositada no 3 m x 4 m, sendo muito semelhante a quantidade depositada no 3 m x 1 m com o 3 m x 2 m. No mês de agosto de 2013, a temperatura era muito baixa e praticamente não houve precipitação, o que gerou um déficit hídrico de -7,58 mm, sendo que ocorreu uma diminuição brusca da quantidade de chuva de junho (202,99 mm) para agosto (1,03 mm), o que gerou um comportamento diferenciado entre os clones CO1404, CO1407 e AEC1528 em relação aos demais, por exemplo, o CO1404 no arranjo de plantio 3 m x 1 m foi o que mais sentiu essa mudança no clima, com alta quantidade de deposição de folheto.

Já em maio de 2017 (Figura 27C), os clones CO1407 e AEC1528 apresentaram maior deposição no arranjo de plantio 3 m x 2 m, seguido do 3 m x 1 m e do 3 m x 4 m. O CO1404 teve maior deposição no 3 m x 4 m, seguido do 3 m x 2 m e 3 m x 1 m. Os clones AEC0224 e AEC0144 apresentaram comportamento semelhante, com maior deposição no 3 m x 1 m, seguido do 3 m x 4 m e 3 m x 2 m. Por fim, o AEC0042 apresentou maior deposição no 3 m x 1 m e menor no 3 m x 4 m. Neste mês a precipitação foi alta (267,62 mm), porém a temperatura média vinha caindo de fevereiro (22,62°C) para maio (17,41°C), o que gerou uma resposta diferente de cada genótipo nos arranjos de plantio.

Figura 27. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável deposição de folheto (kg.ha^{-1}). (A) Maio de 2013; (B) Agosto de 2013 e (C) Maio de 2017.

4.3. Avaliação dos Parâmetros do Câmbio

O crescimento em diâmetro do tronco é afetado tanto pelo genótipo quanto pela densidade de plantio. Segundo Balloni e Simões (1980), o DAP das árvores é uma característica passível de alteração pelo espaçamento de plantio. Segundo eles, quando se aumenta o espaçamento de plantio entre árvores, aumenta-se o DAP, o que pode ser observado na Figura 29. As características climáticas também influenciam no crescimento em diâmetro, porém esta influência é mais perceptível quando trabalha-se com uma escala de tempo de medição menor e correlaciona-se estes incrementos com as variáveis climáticas, o que será visto posteriormente no item 4.7 sobre a avaliação da atividade cambial.

Com base nos dados das Figuras 28 e 29 e das Tabelas 14 e 15, verifica-se que os maiores aumentos em DAP ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 28 e Tabela 14) e arranjos de plantio (Figura 29 e Tabela 15), o que demonstra a influência da idade do plantio no DAP. Nesta fase, antes do fechamento de copas, a planta investe mais no crescimento primário, canalizando os fotoassimilados produzidos para a formação do sistema radicular e da copa, assim, observa-se um aumento do comprimento de copa e da porcentagem de copa neste período, pois com a expansão da área foliar, a árvore aumenta a produção de fotoassimilados para o seu crescimento e desenvolvimento, e com a expansão do sistema radicular, aumenta a superfície de absorção de água e nutrientes. Além disso, a maior disponibilidade de recursos, em decorrência da menor competição entre as plantas, e a maior produção de fotoassimilados, estimulam também o crescimento secundário da árvore, o que gera esta maior taxa de crescimento em DAP nos primeiros anos, assim, o crescimento em DAP segue o crescimento em altura, dando o suporte lenhoso que a árvore precisa para o crescimento primário.

Figura 28. Crescimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável DAP (cm) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 14. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável DAP (cm) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	8,59	A	10,08	A	10,46	A	11,05	A	11,83	B	12,19	B	15,32	B	15,47	B	15,62	B	15,79	B
AEC0224	8,62	A	10,24	A	10,70	A	11,18	A	12,22	A	12,64	A	16,06	A	16,23	A	16,41	A	16,56	A
AEC1528	8,67	A	10,28	A	10,63	A	11,29	A	12,11	A	12,65	A	16,00	A	16,22	A	16,34	A	16,52	A
AEC0042	8,24	B	9,75	B	10,01	B	10,54	B	11,58	B	12,00	B	14,85	C	15,02	C	15,21	C	15,40	C
CO1404	7,35	C	9,19	C	9,40	C	9,81	C	10,66	D	10,94	D	13,72	D	13,93	D	14,06	D	14,24	D
CO1407	7,65	C	9,42	C	9,69	C	10,11	C	11,15	C	11,57	C	14,81	C	14,99	C	15,16	C	15,35	C

Figura 29. Crescimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável DAP (cm) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 15. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável DAP (cm) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	7,13	C	8,36	C	8,55	C	8,93	C	9,61	C	9,85	C	11,59	C	11,71	C	11,82	C	11,96	C
3 m x 2 m	8,15	B	9,73	B	10,03	B	10,57	B	11,46	B	11,83	B	14,83	B	15,00	B	15,16	B	15,33	B
3 m x 4 m	9,28	A	11,40	A	11,86	A	12,49	A	13,70	A	14,32	A	18,96	A	19,22	A	19,43	A	19,65	A

Quanto ao genótipo, Figura 28 e Tabela 14, os clones AEC0224 e AEC1528 foram os que apresentaram os maiores DAPs dos 20 aos 84 meses de idade. O AEC0144 inicialmente, dos 20 aos 30 meses de idade, estava entre os clones que apresentavam os maiores DAPs, mas a partir dos 34 meses de idade ficou no segundo grupo com maior DAP. O mesmo aconteceu com o AEC0042, dos 20 aos 36 meses de idade estava no segundo grupo com o maior DAP e dos 34 aos 84 meses de idade ficou no terceiro grupo com maior DAP. O CO1407 dos 20 aos 84 meses de idade ficou no terceiro grupo com maior DAP e o CO1404, que dos 20 aos 30 meses de idade estava no mesmo grupo do CO1407, foi o que apresentou o menor DAP dos 34 aos 84 meses de idade. Tais diferenças ocorrem, provavelmente, em consequência da diferença entre os genótipos e dos locais de seleção dos mesmos, como foi observado também para a altura total. Os clones AEC0144 e AEC0224 são plantados em várias regiões do Brasil por apresentar boa adaptação a várias condições edafoclimáticas (IPEF, 2013 apud SILVA, 2014), o que explica o melhor desempenho destes materiais. Quanto o AEC1528, que também apresentou bom desempenho no local, o clima onde este foi selecionado apresenta algumas similaridades com o clima em Itatinga-SP, o que provável também favoreu o seu crescimento.

Quando se analisa o período dos 26 aos 36 meses de idade, observa-se que os clones AEC0144, AEC0224, AEC1528 foram os que apresentaram os maiores DAPs e alturas e, ao mesmo tempo, os maiores IAF, comprimentos de copa e porcentagens de copa, com exceção dos clones AEC0224, que foi um dos clones com as menores alturas, AEC0144, que apresentou as menores porcentagens de copa, e o AEC1528, que foi um dos clones com os menores IAFs. Assim, em decorrência desta particularidade do clone AEC0144, pode-se dizer, que inicialmente, ele demonstrou uma maior eficiência de crescimento, pois consegue crescer muito mesmo com uma menor quantidade de copa, já que ele possui uma boa disposição dos galhos horizontalmente (IAF), assim recebem mais luz direta nas folhas. O mesmo pode ser dito do AEC1528, que mesmo com uma menor disposição dos galhos horizontalmente, teve uma boa distribuição ao longo do fuste, conseguindo crescer muito mesmo com uma menor quantidade de copa.

Já os clones AEC0042, CO1404 e CO1407 foram os que apresentaram os menores DAPs e alturas neste período, com exceção do AEC0042 que foi um dos clones com as maiores alturas. O AEC0042 foi um dos clones com os maiores comprimentos de copa, porcentagens de copa e IAFs. Este clone inicialmente investiu mais no crescimento da copa e em altura do que em DAP. O CO1407 foi um dos clones que apresentou as maiores porcentagens de copa e comprimentos de copa, porém foi um dos que apresentou os menores

IAFs, o que explica o seu menor crescimento em altura e DAP, já que os galhos ao longo do fuste acabam recebendo mais luz difusa devido ao auto-sombreamento. E o CO1404 apresentou os menores comprimentos de copa e ficou entre os que apresentaram os menores IAFs, porém está entre os que apresentaram maior porcentagem de copa, assim, o seu menor crescimento em altura e DAP dentre todos os clones ocorreu em decorrência da menor quantidade de copa para produção de fotoassimilados.

No período dos 75 aos 84 meses de idade, deve-se analisar os clones separadamente, pois cada um teve uma particularidade. O AEC0224 foi um dos clones com os maiores DAPs e IAFs, porém foi um dos que teve as menores alturas, comprimentos de copa e porcentagens de copa. O AEC0144 apresentou os maiores DAPs, alturas e IAFs, porém também apresentou os menores comprimentos de copa e porcentagens de copa. O AEC1528 apresentou os maiores DAPs e IAFs, porém também foi o que apresentou as menores alturas, comprimentos de copas e porcentagens de copa. O AEC0042 foi um dos clones com os menores DAPs, IAFs, comprimentos de copas e porcentagens de copa, porém foi o clone que apresentou as maiores alturas neste período. O CO1407 também foi um dos clones com os menores DAPs e IAFs, mas foi um dos que apresentaram as maiores alturas, comprimentos de copa e porcentagens de copa. Por fim, o CO1404 foi o clone com os menores DAPs, alturas e IAFs, porém foi um dos clones que apresentou os maiores comprimentos de copa e porcentagens de copa.

Isto demonstra a forte influência do IAF no crescimento das árvores, principalmente no crescimento secundário, pois a interceptação da luz é dependente do IAF que, por sua vez, interfere na produção de biomassa, assim, com o aumento do IAF, aumenta-se a interceptação da radiação, aumentando o crescimento (LEITE et al., 1997). Portanto, mesmo que a árvore invista no aumento da copa, se os galhos só tiverem uma boa distribuição ao longo do fuste, mas não tiverem uma boa distribuição horizontalmente, a taxa de crescimento será baixa, ou mesmo será prejudicada devido ao maior gasto de fotoassimilados sintetizados para a produção de galhos e folhas.

Na Figura 29 e Tabela 15 verifica-se que dos 20 aos 84 meses de idade, o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que proporcionou o maior DAP e o 3 m x 1 m o menor, isto ocorre porque quanto maior for a densidade de plantio, menor será a área por árvore e, assim, maior será a competição pelos recursos, como água, luz e nutrientes, ou seja, menor será a quantidade de recursos disponíveis nos espaçamentos de plantio mais adensados em decorrência da maior quantidade de árvores por metro quadrado. Tal fato é, ainda, mais agravado com o passar do tempo, pois o crescimento das árvores, diminui mais ainda o espaço

disponível por árvore, o que aumenta a competição pelos recursos do meio. Além disso, assim como o DAP, menor foi a altura, a porcentagem de copa e o comprimento de copa das árvores nos espaçamentos de plantio mais adensados, porém o IAF foi maior, entretanto, neste caso o aumento do IAF foi em decorrência do maior número de árvores por área, o que não quer dizer que a árvore individualmente recebeu maior radiação direta, pois maior é o auto-sombreamento nos espaçamentos de plantio mais adensados. Assim, além da menor quantidade de recursos disponíveis para o crescimento por árvore, menor também é a quantidade de fotoassimilados sintetizados conforme aumenta-se a densidade de plantio.

Por meio do grau de esbeltez (GE) observa-se a relação da altura total com o DAP. Com base nos dados das Figuras 30 e 31 e das Tabelas 16 e 17, verifica-se que as árvores mantiveram os valores de GE relativamente constantes de setembro de 2013 a novembro de 2014 (dos 20 aos 34 meses de idade), isso para cada clone (Figura 30) e arranjo de plantio (Figura 31); em janeiro de 2015 (36 meses de idade) observa-se um leve aumento; e de abril de 2018 a janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), o GE volta a manter o valor relativamente constante. Inicialmente, as árvores apresentaram os menores valores de GE, dos 20 aos 34 meses de idade, e, posteriormente, os maiores valores, dos 75 aos 84 meses de idade, o que significa que no início o aumento em DAP era maior que o em altura e no final ocorreu o inverso.

Entretanto, segundo Wink et al. (2012), que estudou os parâmetros da copa e a relação da área de alburno, da área foliar e da biomassa de folhas com o diâmetro à altura do peito e com a altura das árvores de três platinos de *Eucalytus* sp. de diferentes idades (20, 44 e 240 meses de idade) e número de árvores por hectare (1506, 1609 e 798, respectivamente), o GE tende a diminuir com o aumento da idade das árvores, em decorrência da diminuição da densidade de plantas ao longo do tempo, o que indicaria que estas estão se direcionando para uma condição de maior estabilidade proporcionada pela menor relação da altura total com o DAP, o que não foi o observado.

Esta diferença provavelmente ocorreu em consequência da menor área disponível por árvore com o aumento da idade nos arranjos de plantio adotados, assim, com o aumento da competição, em decorrência da diminuição da disponibilidade de recursos, a taxa de incremento diamétrico das árvores diminuiu e aumentou-se a taxa de incremento em altura visando obter uma maior disponibilidade de luz.

Figura 30. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável grau de esbeltez (m.cm^{-1}) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 16. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável grau de esbeltez (m.cm^{-1}) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	1,43	B	1,41	A	1,49	A	1,46	B	1,47	B	1,63	A	1,79	B	1,79	C	1,79	C	1,82	C
AEC0224	1,34	C	1,34	B	1,35	C	1,42	B	1,39	C	1,51	B	1,68	C	1,70	D	1,70	D	1,72	D
AEC1528	1,35	C	1,36	B	1,43	B	1,42	B	1,43	C	1,57	B	1,65	C	1,64	E	1,65	E	1,69	D
AEC0042	1,40	B	1,44	A	1,55	A	1,58	A	1,53	A	1,69	A	1,88	A	1,90	A	1,93	A	1,96	A
CO1404	1,50	A	1,43	A	1,50	A	1,58	A	1,55	A	1,65	A	1,90	A	1,90	A	1,92	A	1,96	A
CO1407	1,42	B	1,33	B	1,43	B	1,46	B	1,45	B	1,58	B	1,82	B	1,83	B	1,85	B	1,91	B

Figura 31. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável grau de esbeltez (m.cm^{-1}) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 17. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável grau de esbeltez (m.cm^{-1}) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	1,61	A	1,59	A	1,66	A	1,70	A	1,69	A	1,84	A	1,97	A	1,98	A	2,00	A	2,05	A
3 m x 2 m	1,40	B	1,40	B	1,48	B	1,49	B	1,47	B	1,62	B	1,82	B	1,82	B	1,83	B	1,87	B
3 m x 4 m	1,21	C	1,17	C	1,24	C	1,27	C	1,25	C	1,35	C	1,58	C	1,58	C	1,59	C	1,61	C

Quanto ao genótipo, Figura 30 e Tabela 16, observa-se dois tipos de tendência, em uma, os clones mantiveram os maiores valores de GE ao longo de todo o período de estudo, ou seja, dos 20 aos 84 meses de idade, que são o caso do AEC0042, CO1404 e CO1407. O CO1407 se manteve no segundo grupo com maior GE ao longo de todo período. Estes clones investiram mais no aumento em altura que em diâmetro, apresentando uma menor estabilidade e, assim, uma maior probabilidade de quebra do fuste pelo vento.

O clone CO1404 apresentou os menores DAPs, alturas e IAFs ao longo de todo período, também dos 26 aos 36 meses de idade foi um dos que apresentou os menores valores de comprimentos de copa e os maiores valores de porcentagens de copa, e dos 75 aos 84 meses de idade foi um dos que apresentou os maiores valores de comprimento de copa e porcentagem de copa. Este clone foi o menos produtivo, o que pode ser verificado pelo seu menor crescimento inicial e final, apesar de ter investido mais no desenvolvimento da copa próximo a idade de corte, este não favoreceu seu crescimento.

O CO1407 também foi um dos clones que apresentou os menores DAPs e alturas dos 20 aos 36 meses de idade, período que investiu mais na produção de galhos e folhas ao longo do fuste (maiores porcentagens de copa e comprimentos de copa e menores IAFs), mas dos 75 aos 84 meses de idade foi um dos clones com as maiores alturas, comprimentos de copa e porcentagens de copa, porém continuou apresentando os menores DAPs e IAFs.

Por fim, o AEC0042 dos 20 aos 36 meses de idade foi um dos clones que apresentou as maiores alturas e, ao mesmo tempo, os maiores IAF, comprimentos de copa e porcentagens de copa, porém foi um dos que apresentaram os menores DAPs. E dos 75 aos 84 meses de idade foi um dos clones com os menores DAPs, IAFs, comprimentos de copas e porcentagens de copa, porém foi o clone que apresentou as maiores alturas neste período.

Na outra tendência, ocorreu uma grande oscilação dos valores de GE dos 20 aos 75 meses de idade e, no final, dos 78 aos 84 meses de idade, os valores de GE apresentaram pouca variação, que é o caso dos clones AEC0144, AEC0224 e AEC1528. O AEC0144 no início oscilava entre os dois grupos com os maiores valores de GE e no final se manteve no terceiro grupo com maior GE. Os clones AEC0224 e AEC1528 apresentaram uma variação no valor no GE dos 20 aos 75 meses de idade, ora no segundo grupo com maior valor de GE e ora no grupo de menor GE, porém dos 78 aos 84 meses de idade, o AEC0224 ficou no quarto grupo com maior GE e o AEC1528 no grupo com menor GE. Estes três clones investiram mais em DAP do que em altura, se comparado com os outros três, assim, apresentaram maior estabilidade que os demais.

O AEC0144 apresentou os maiores DAPs, alturas e IAFs dos 26 aos 84 meses de idade, porém dos 26 aos 84 meses de idade foi um dos clones com as menores porcentagens de copa e dos 26 aos 36 meses de idade foi um dos clones com os maiores comprimentos de copa e dos 75 aos 84 meses de idade um dos que apresentou os menores comprimentos de copa. O AEC0224 dos 26 aos 36 meses de idade foi um dos clones que apresentou os maiores DAPs, IAFs, comprimentos de copa e porcentagens de copa e as menores alturas, e dos 75 aos 84 meses de idade foi um dos clones que apresentou os maiores DAPs e IAFs e os menores comprimentos de copa, porcentagens de copa e alturas. Por fim, o AEC1528 dos 26 aos 36 meses de idade foi um dos clones que apresentou os maiores DAPs, alturas, comprimentos de copa e porcentagens de copa, porém foi um dos clones com os menores IAFs e dos 75 aos 84 meses de idade, os maiores DAPs e IAFs e as menores alturas, comprimentos de copas e porcentagens de copa.

Em relação a densidade de plantio, Figura 31 e Tabela 17, o arranjo de plantio 3 m x 1 m foi o que proporcionou os maiores valores de GE dos 20 aos 84 meses de idade, seguido do 3 m x 2 m, e o 3 m x 4 m foi o arranjo de plantio com os menores valores de GE, assim, quanto maior a densidade de plantio menor a estabilidade das árvores. Em espaçamentos de plantio menos adensados, ou seja, que disponibilizam uma maior área por árvore, menor será a competição entre as árvores pelos recursos do meio e maior será a área disponível para o crescimento, assim, maior o aumento em diâmetro, obtendo-se árvores mais robustas e estáveis. Além disso, segundo a Embrapa (2019) e Balloni e Simões (1980), o espaçamento de plantio tem maior influência no crescimento diamétrico do que no desenvolvimento em altura das árvores.

Entretanto, em espaçamentos de plantio mais adensados, as árvores investiram mais em altura do que no DAP, isto ocorre em razão da menor área disponível por planta, que acelera o fechamento de copas, em decorrência da maior competição por luz, porém, com a menor área disponível para o crescimento, menor o aumento em diâmetro, obtendo-se árvores altas e finas, com menor estabilidade.

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em janeiro de 2015 (36 meses de idade) e em janeiro de 2019 (84 meses de idade) (Figura 32). Aos 36 meses de idade (Figura 32A), os clones tiveram comportamentos muito semelhantes, porém os clones AEC0042, AEC0144 e CO1404, tiveram algumas particularidades. O AEC0042 apresentou um valor muito alto de GE no arranjo de plantio 3 m x 1 m, em relação aos demais clones, porém nos dois outros arranjos de plantio foi semelhante, isto demonstra um maior investimento em altura do que em DAP nos arranjos de plantio mais adensados para

este clone. O mesmo ocorreu para o AEC144, porém com um valor menor no arranjo de plantio 3 m x 1 m que o AEC0042. Já o CO1404 apresentou valores de GE muito próximo aos demais clones nos arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 4 m, porém no arranjo de plantio 3 m x 2 m, o seu valor foi mais alto que os demais, muito semelhante ao obtido no 3 m x 1 m.

Aos 84 meses de idade (Figura 32B), os clones CO1404, AEC0042 e CO1407 apresentaram valores muito semelhantes entre os três arranjos de plantio, porém o CO1407 teve um valor menor no arranjo de plantio 3 m x 1 m que os outros dois. O comportamento dos demais clones foi semelhante a estes, porém com valores menores, em sequência do maior para o menor, tem-se o AEC0144, AEC0224 e o AEC1528. Estes dois últimos apresentaram valores muito semelhantes, porém o AEC1528 foi o que apresentou os menores valores de GE em relação aos demais clones, tendo, assim, um maior investimento em crescimento diamétrico e uma maior estabilidade que os demais aos 7 anos de idade.

Figura 32. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável grau de esbeltez (m.cm^{-1}). (A) Janeiro de 2015 e (B) Janeiro de 2019.

Assim como o DAP, a área transversal é afetada tanto pelo genótipo quanto pela densidade de plantio. Com base nos dados das Figuras 33 e 34 e das Tabelas 18 e 19, observa-se que os maiores aumentos em área transversal, semelhantemente ao DAP, ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 33 e Tabela 18) e arranjos de plantio (Figura 34 e Tabela 19), demonstrando também a influência da idade de plantio na área transversal.

Figura 33. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável área transversal (m².árvore⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 18. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área transversal (m².árvore⁻¹) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Se/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	0,0060	A	0,0083	A	0,0089	A	0,0100	A	0,0115	B	0,0122	B	0,0197	B	0,0200	B	0,0204	B	0,0208	B
AEC0224	0,0061	A	0,0086	A	0,0094	A	0,0103	A	0,0122	A	0,0131	A	0,0218	A	0,0223	A	0,0228	A	0,0232	A
AEC1528	0,0060	A	0,0085	A	0,0091	A	0,0103	A	0,0118	A	0,0129	A	0,0210	A	0,0216	A	0,0219	A	0,0224	A
AEC0042	0,0055	B	0,0077	B	0,0081	B	0,0090	B	0,0109	B	0,0118	B	0,0184	C	0,0189	B	0,0193	B	0,0198	B
CO1404	0,0045	C	0,0070	C	0,0073	C	0,0080	C	0,0095	C	0,0100	D	0,0163	D	0,0168	C	0,0172	C	0,0176	C
CO1407	0,0048	C	0,0072	C	0,0076	C	0,0084	C	0,0102	C	0,0110	C	0,0187	C	0,0192	B	0,0197	B	0,0202	B

Figura 34. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável área transversal ($\text{m}^2 \cdot \text{árvore}^{-1}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 19. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área transversal ($\text{m}^2 \cdot \text{árvore}^{-1}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	0,0041	C	0,0057	C	0,0059	C	0,0065	C	0,0075	C	0,0079	C	0,0113	C	0,0115	C	0,0117	C	0,0120	C
3 m x 2 m	0,0054	B	0,0076	B	0,0081	B	0,0090	B	0,0106	B	0,0113	B	0,0180	B	0,0184	B	0,0188	B	0,0192	B
3 m x 4 m	0,0069	A	0,0103	A	0,0112	A	0,0125	A	0,0149	A	0,0163	A	0,0287	A	0,0295	A	0,0302	A	0,0309	A

Segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), a fase de colonização em florestas plantadas se inicia com o plantio de mudas e prossegue até o fechamento de copas, quando a cobertura do solo fica próxima de 100%. Depois segue a fase de estabelecimento da floresta, quando ocorre o rápido crescimento em altura e o estabelecimento da hierarquia das copas das árvores, nesta fase o crescimento em diâmetro segue o crescimento em altura, ocorrendo na medida necessária para que a árvore adquira o suporte lenhoso para o crescimento primário. A fase seguinte, maturidade, é quando as árvores, após o estabelecimento no dossel, aumentam o seu tamanho pelo crescimento da copa, do tronco e do sistema radicular, o DAP continua aumentando, mas a altura da árvore se estabiliza. O sinal mais claro da maturidade da floresta é a estagnação do crescimento em diâmetro, que ocorre no final desta fase. Caso não seja realizada uma intervenção de manejo (desbaste) reduzindo a densidade de plantas na área, segue-se a fase de senescência e morte de várias árvores.

Estas fases podem ser observadas nas Figuras 33 e 34, onde tem-se a etapa final da fase de colonização e o início da fase de estabelecimento, dos 20 aos 36 meses de idade, onde o crescimento em área transversal segue o crescimento em altura e, a etapa final da fase de maturidade, dos 75 aos 84 meses de idade, onde observa-se o estabelecimento da altura e a diminuição do crescimento do tronco, entrando este quase em estagnação.

Em relação ao genótipo, Figura 33 e Tabela 18, os clones AEC1528 e AEC0224 apresentaram as maiores áreas transversais dos 20 aos 84 meses de idade. O AEC0144 inicialmente, dos 20 aos 30 meses de idade, estava entre os clones com a maior área transversal, mas a partir dos 34 meses de idade passou para o grupo com a segunda maior área transversal. O clone AEC0042, no geral, ficou no grupo com a segunda maior área transversal dos 20 aos 84 meses de idade. O CO1407, dos 20 aos 75 meses de idade, ficou no grupo com a terceira maior área transversal e, dos 78 aos 84 meses de idade, passou para o grupo dos clones com a segunda maior área transversal. O CO1404 foi o clone que apresentou a menor área transversal dos 20 aos 84 meses de idade. Tais diferenças, provavelmente, ocorreram em consequência da diferença entre os genótipos e dos locais de seleção dos mesmos, assim como aconteceu para a altura total e o DAP. É provável que o CO1404, dentre os clones avaliados, seja o mais sensível ao estresse ambiental, entretanto tal comportamento era esperado do CO1407 por ser mais suscetível ao estresse hídrico (GOMES, 2013).

Na Figura 34 e Tabela 19 verifica-se que dos 20 aos 84 meses de idade, o arranjo de plantio menos adensado (3 m x 4 m) foi o que apresentou a maior área transversal e o mais adensado (3 m x 1 m) a menor, assim como para o DAP, tal fato se deve a menor competição pelos recursos do meio nos espaçamentos de plantio menos adensados em consequência da

maior unidade de área por árvore, assim, maior será a quantidade de recursos disponíveis para o crescimento. Além disso, nos espaçamentos de plantio menos adensados o comprimento de copa e a porcentagem de copa é maior e o auto-sombreamento é menor, assim tem-se uma maior entrada de luz direta que atinge os galhos e folhas ao longo do fuste, portanto, tem-se uma maior taxa de fotossíntese também nas porções intermediárias e inferiores da copa, aumentando, assim, a síntese de fotoassimilados que podem ser utilizados o crescimento secundário.

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, somente ocorreu a mesma em setembro de 2013 (20 meses de idade), em janeiro de 2014 (24 meses de idade), em março de 2014 (26 meses de idade) e em julho de 2014 (30 meses de idade) (Figura 35). Aos 20 meses de idade (Figura 35A), os clones AEC1528, CO1404, AEC0042 e AEC0224 apresentaram comportamento semelhantes, com área transversal maior no arranjo de plantio 3 m x 4 m e aproximadamente igual entre os arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m. Enquanto que os clones AEC0144 e CO1407 tiveram comportamentos semelhantes, com menor área transversal no arranjo de plantio 3 m x 1 m e similar no 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Aos 24 meses de idade (Figura 35B), os clones CO1404, AEC1528 e AEC0224 apresentaram o mesmo comportamento que aos 20 meses de idade, maior área transversal no arranjo de plantio 3 m x 4 m e semelhante no 3 m x 2 m e no 3 m x 1 m. Os clones AEC0042, AEC0144 e CO1407 tiveram um aumento crescente na área transversal do arranjo de plantio menos adensado (3 m x 1 m) para o mais adensado (3 m x 2 m).

Aos 26 meses de idade (Figura 35C), os clones CO1404, AEC1528 e AEC0224 continuaram apresentando o mesmo comportamento dos dois casos anteriores, maior área transversal no 3 m x 4 m e semelhante nos arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m. O AEC0042 também apresentou o mesmo comportamento que aos 20 meses de idade. O CO1407 manteve o comportamento apresentado aos 24 meses de idade, com aumento da área transversal conforme diminuía-se a densidade de plantio. E o AEC0144 apresentou o mesmo comportamento que aos 20 meses de idade, menor área transversal no arranjo de plantio 3 m x 1 m e semelhante no 3 m x 2 m e 3 m x 4 m. Aos 30 meses de idade (Figura 35D), os clones apresentaram o mesmo comportamento dos 26 meses de idade.

Figura 35. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável área transversal ($\text{m}^2 \cdot \text{árvore}^{-1}$). (A) Setembro de 2013; (B) Janeiro de 2014; (C) Março de 2014 e (D) Julho de 2014.

Com base na interação clone x arranjo de plantio, verifica-se que os clones AEC0042, CO1404, AEC1528 e AEC0224 são menos tolerantes a competição pelos recursos do meio, pois nos arranjos de plantio mais adensados apresentaram as menores áreas transversais, tendo pouca diferença entre o 3 m x 1 m e o 3 m x 2 m, entretanto no arranjo de plantio 3 m x 4 m, menos adensado, a área transversal foi maior. O AEC0144 demonstrou maior tolerância a diminuição dos recursos, pois, no geral, os valores de área transversal nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m foram semelhantes, porém em altas densidade de plantio, como no caso do 3 m x 1 m, tem-se uma redução na área transversal. Por fim, o CO1407 foi um clone que apresentou aumento gradativo na área transversal conforme diminuiu-se a densidade de plantio, assim, tem um comportamento intermediário entre o AEC0144 e os demais clones.

Assim como a área transversal, o volume por árvore é afetado tanto pelo genótipo quanto pela densidade de plantio. Com base nos dados das Figuras 36 e 37 e das Tabelas 20 e 21, observa-se que os maiores aumentos em volume por árvore ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 36 e Tabela 20) e arranjos de plantio (Figura 37 e Tabela 21), demonstrando também a influência da idade de plantio no volume por árvore.

Figura 36. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável volume por árvore (m³.árvore⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 20. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por árvore (m³.árvore⁻¹) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	0,0457	A	0,0720	A	0,0820	A	0,0940	A	0,1155	A	0,1315	A	0,2756	A	0,2831	A	0,2905	A	0,3011	A
AEC0224	0,0397	B	0,0652	B	0,0738	B	0,0861	B	0,1090	A	0,1264	A	0,2779	A	0,2883	A	0,2987	A	0,3080	A
AEC1528	0,0384	B	0,0619	B	0,0703	B	0,0834	B	0,1014	B	0,1205	A	0,2471	B	0,2554	B	0,2615	B	0,2726	B
AEC0042	0,0416	B	0,0671	B	0,0753	B	0,0883	B	0,1132	A	0,1315	A	0,2670	A	0,2778	A	0,2895	A	0,3012	A
CO1404	0,0299	C	0,0547	C	0,0610	C	0,0696	C	0,0880	C	0,0994	B	0,2150	C	0,2242	C	0,2322	C	0,2425	C
CO1407	0,0315	C	0,0555	C	0,0615	C	0,0707	C	0,0925	C	0,1075	B	0,2524	B	0,2619	B	0,2724	A	0,2860	A

Figura 37. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável volume por árvore ($\text{m}^3.\text{árvore}^{-1}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 21. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por árvore ($\text{m}^3.\text{árvore}^{-1}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013	Jan/2014	Mar/2014	Jul/2014	Nov/2014	Jan/2015	Abr/2018	Jul/2018	Out/2018	Jan/2019
	Outono	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão
	20 meses	24 meses	26 meses	30 meses	34 meses	36 meses	75 meses	78 meses	81 meses	84 meses
3 m x 1 m	0,0274 C	0,0434 C	0,0467 C	0,0533 C	0,0657 C	0,0743 C	0,1283 C	0,1322 C	0,1364 C	0,1424 C
3 m x 2 m	0,0371 B	0,0601 B	0,0679 B	0,0787 B	0,0980 B	0,1130 B	0,2315 B	0,2392 B	0,2474 B	0,2571 B
3 m x 4 m	0,0488 A	0,0848 A	0,0973 A	0,1140 A	0,1462 A	0,1711 A	0,4077 A	0,4240 A	0,4386 A	0,4562 A

Na Figura 36 e Tabela 20, tem-se o desempenho dos clones em volume por árvore dos 20 aos 36 meses de idade e dos 75 aos 84 meses de idade. O clone AEC0144 foi o que apresentou o maior volume por árvore durante todo o período. Seguido dos clones AEC0224 e AEC0042 que apresentaram o segundo maior volume por árvore dos 20 aos 30 meses de idade e, após, dos 34 meses de idade em diante, não apresentaram diferença estatística do AEC0144. O AEC1528, no geral, dos 20 aos 84 meses de idade, ficou no grupo dos clones com o segundo maior volume por árvore. Já o CO1404, no geral, foi o clone com o menor volume por árvore dos 20 aos 84 meses de idade. Por fim, o clone CO1407 passou do grupo dos clones com menor volume por árvore (dos 20 aos 34 meses de idade) para o de segundo maior volume por árvore (dos 36 aos 78 meses de idade) e no final (dos 81 aos 84 meses de idade) ficou entre os clones com maior volume por árvore.

Os clones AEC0144, AEC0224 e AEC1528 foram os clones que apresentaram as maiores áreas transversais e as maiores alturas dos 20 aos 84 meses de idade, com exceção do AEC1528 dos 75 aos 84 meses de idade e do AEC0224 dos 20 aos 84 meses de idade, que foram uns dos clones com as menores alturas, porém o grande aumento em diâmetro colaborou para o aumento do volume por árvore. O AEC0042 foi um dos clones com as menores áreas transversais dos 20 aos 84 meses de idade, porém o grande aumento em altura colaborou para o aumento do volume por árvore. O clone CO1407 dos 20 aos 84 meses de idade foi um dos clones com as menores áreas transversais e dos 20 aos 36 meses de idade foi um dos clones com as menores alturas, assim, foi um dos clones com os menores volumes por árvore neste período (20 aos 36 meses de idade), porém, dos 75 aos 84 meses de idade, foi um dos clones com as maiores alturas, o que colaborou para o aumento do volume por árvore, sendo um dos clones com os maiores volumes por árvore dos 75 aos 84 meses de idade. O CO1404 foi o clone com a menor área transversal e ficou entre os clones com as menores alturas dos 20 aos 84 meses de idade, em decorrência disto, foi o clone que apresentou os menores volumes por árvore dos 20 aos 84 meses de idade.

Em relação ao arranjo de plantio (Figura 37 e Tabela 21), o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que proporcionou os maiores volumes por árvore dos 20 aos 84 meses de idade e o arranjo de plantio 3 m x 1 m os menores. Em densidades de plantio menores, as árvores apresentam maior DAP, altura, área transversal e volume por árvore, pois a área de crescimento para cada árvore é maior e, conseqüentemente, menor a competição pelos recursos. Além disso, maior é o comprimento de copa e a porcentagem de copa, e como o auto-sombreamento é menor, maior é a incidência de luz direta nos galhos e folhas ao longo

do fuste, aumentando a taxa fotossintética e, consequentemente, a produção de fotoassimilados que podem ser utilizados para o crescimento.

Os plantios mais adensados, geralmente, exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição entre as árvores ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento do povoamento, culminando com o aumento da mortalidade das árvores (BALLONI; SIMÕES, 1980). Isto pode ser visualizado no arranjo de plantio 3 m x 1 m (Figura 37), dos 75 aos 84 meses de idade, que teve menor ganho em volume por árvore com o passar do tempo, tendendo a estagnação, quando comparado ao arranjo de plantio 3 m x 4 m.

Segundo a Embrapa (2019), quando a densidade de plantio é baixa, ou seja, os espaçamentos de plantio são menos adensados, maior é o volume de madeira individual das árvores, menor os custos de implantação e mais tarde são realizados os desbastes, porém maior é a conicidade do fuste e o número de tratos culturais. Ainda segundo Balloni e Simões (1980), arranjos de plantio menos adensados produzem um número mais elevado de árvores com maior volume por árvore, o que pode ser observado na Figura 37, conforme aumenta-se a área disponível por árvore, maior o volume por árvore.

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, a mesma ocorre em setembro de 2013 (Figura 38A), em janeiro de 2014 (Figura 38B), em março de 2014 (Figura 38C), em julho de 2014 (Figura 38D), em julho 2018 (Figura 39A), outubro de 2018 (Figura 39B) e janeiro de 2019 (Figura 39C). Os clones CO1404, AEC0042 e AEC0224 apresentaram o mesmo comportamento em setembro de 2013, em janeiro de 2014, em março de 2014 e julho de 2014, com volume por árvore maior no 3 m x 4 m e semelhante no 3 m x 1 m e 3 m x 2 m. O clone AEC1528 apresentou este mesmo comportamento em setembro de 2013 e janeiro de 2014. Em março de 2014 e julho de 2014, o volume por árvore deste clone aumentou conforme diminuía-se a densidade de plantio. O mesmo foi observado para o CO1407 em janeiro de 2014 e março de 2014, porém em setembro de 2013 e julho de 2014, junto com o clone AEC0144, apresentou o menor volume por árvore no arranjo de plantio 3 m x 1 m, porém apresentou pouca diferença entre os arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m. O clone AEC0144 teve este mesmo comportamento em março de 2014, porém em janeiro de 2014, apresentou um aumento no volume por árvore conforme diminuía-se a densidade de plantio.

Em julho de 2018, outubro de 2018 e janeiro de 2019, os clones CO1404, AEC0224 e CO1407 apresentaram o mesmo comportamento, com o maior volume por árvore no arranjo de plantio 3 m x 4 m e pouca diferença entre os volumes por árvore nos arranjos de plantio 3

m x 1 m e 3 m x 2 m. Já os clones AEC0144, AEC1528 e AEC0042 apresentaram um aumento crescente conforme aumentava-se a área disponível por árvore.

Figura 38. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável volume por árvore (m³.árvore⁻¹). (A) Setembro de 2013; (B) Janeiro de 2014; (C) Março de 2014 e (D) Julho de 2014.

Figura 39. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável volume por árvore ($\text{m}^3.\text{árvore}^{-1}$). (A) Julho de 2018; (B) Outubro de 2018 e (C) Janeiro de 2019.

Com base nestes dados (Figuras 38 e 39), os clones CO1404 e AEC0224 são menos tolerantes a competição pelos recursos do meio, pois apresentaram os menores volumes por árvore nos espaçamentos de plantio mais adensados, com pouca diferença entre eles. O inverso ocorreu com o CO1407, que inicialmente mostrou maior tolerância ao estresse causado pelo aumento da densidade de plantio, pois, no geral, o volume por árvore nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m foram semelhantes, porém com o aumento da idade e, conseqüentemente, a diminuição da área disponível por planta, o volume por árvore nos espaçamentos de plantio mais adensados passou a apresentar pouca diferença, passando as árvores a sentirem mais a diminuição dos recursos disponíveis para o crescimento. Os clones AEC0042 e AEC1528 apresentaram um aumento gradativo do volume por árvore com o aumento da área disponível por árvore. Por fim o AEC0144 foi o clone que mostrou maior tolerância ao aumento da densidade de plantio, pois, no geral, os volumes por árvore nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m foram semelhantes, porém densidades de plantio mais altas, como no 3 m x 1 m, verifica-se uma maior redução do volume por árvore, e conforme a idade de plantio aumentou, passou a apresentar um aumento gradativo do volume por árvore com o aumento da área disponível por planta.

4.4. Avaliação da Produtividade

A área basal é uma medida de densidade do arvoredo que considera tanto o grau de aglomeração em termos enumerativos, ou seja, em termos de cada árvore como uma unidade, quanto o grau de adensamento em função do tamanho das árvores, ou seja, o espaço ocupado por cada árvore está associado ao seu tamanho (BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014); e é afetada pelo genótipo, pela densidade de plantio e pela idade. A área basal pode ser obtida por meio do somatório das áreas transversais das árvores de uma determinada área, fornecendo um valor de cobertura por plantas de uma área florestal e o grau de ocupação desta área com madeira.

Com base nas Figuras 40 e 41 e Tabelas 22 e 23, observa-se que os maiores aumentos em área basal ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 40 e Tabela 22) e arranjos de plantio (Figura 41 e Tabela 23), demonstrando a influência da idade de plantio na área basal.

Figura 40. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 22. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	10,33	A	13,87	A	14,92	A	16,64	A	18,95	B	19,96	B	31,00	B	31,58	B	32,24	B	32,86	B
AEC0224	10,27	A	14,30	A	15,61	A	17,10	A	20,47	A	21,81	A	34,90	A	35,61	A	36,42	A	37,16	A
AEC1528	10,51	A	14,58	A	15,47	A	17,40	A	20,13	A	21,86	A	33,98	A	34,89	A	35,42	A	36,20	A
AEC0042	9,45	B	13,01	B	13,69	B	15,05	B	18,03	B	19,30	B	28,96	C	29,57	C	30,27	C	31,06	B
CO1404	7,53	D	11,44	C	12,10	C	13,02	C	15,26	D	16,02	D	24,49	D	25,21	D	25,70	D	26,33	C
CO1407	8,38	C	12,46	B	12,98	B	14,24	B	16,88	C	18,07	C	28,40	C	29,04	C	29,69	C	30,43	B

Figura 41. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 23. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	13,63	A	18,70	A	19,66	A	21,51	A	24,99	A	26,35	A	37,36	A	38,13	A	38,83	A	39,71	A
3 m x 2 m	8,90	B	12,62	B	13,51	B	14,99	B	17,58	B	18,74	B	29,87	B	30,53	B	31,21	B	31,89	B
3 m x 4 m	5,70	C	8,51	C	9,22	C	10,23	C	12,29	C	13,42	C	23,64	C	24,29	C	24,83	C	25,41	C

Segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), pode-se distinguir 4 fases no desenvolvimento do arvoredo (parcela), a fase de iniciação, que contempla o período que vai do estabelecimento das mudas até o estabelecimento do dossel, a fase de crescimento sob competição, que vai a partir do fechamento de copas até a estagnação do crescimento das árvores, a fase de estagnação do crescimento, que vai da paralização do crescimento até a senescência e morte das árvores, e a fase de senescência e morte, como o próprio nome indica, seria o envelhecimento e morte das árvores que compõem o arvoredo, caso não ocorra alguma intervenção de manejo.

Ainda segundo estes autores, na fase de iniciação tem-se o crescimento livre e acelerado das árvores, ou seja, quando a competição entre elas é praticamente inexistente ou pouco relevante para o desenvolvimento do arvoredo. Tal fase pode ser observada nas Figuras 40 e 41 do mês de setembro de 2013 a janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade), quando se tem os maiores aumentos em área basal. Na fase de crescimento sob competição, a medida que as árvores crescem e se tornam maiores, o grau de competição entre elas se intensifica, reduzindo a velocidade de crescimento, que se torna progressivamente menor. É o que ocorreu nas Figuras 40 e 41 do mês de abril de 2018 a janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade). Assim, se o monitoramento do arvoredo continuasse após janeiro de 2019, quando as árvores atingiram 7 anos de idade, ocorreria a fase de estagnação do crescimento, onde a intensa competição entre as árvores levaria a estagnação do crescimento e, posteriormente, a senescência e morte do arvoredo.

Na Figura 40 e Tabela 22, tem-se o desempenho dos clones em área basal dos 20 aos 36 meses de idade e dos 75 aos 84 meses de idade. Os clones AEC0224 e AEC1528 sempre apresentaram as maiores áreas basais dos 20 aos 84 meses de idade. O AEC0144 dos 20 aos 30 meses de idade, também apresentou as maiores áreas basais, porém dos 34 aos 84 meses de idade, passou para o segundo grupo dos clones com as maiores áreas basais. O AEC0042 teve um desempenho intermediário entre os clones, dos 20 aos 36 meses de idade ficou no segundo grupo dos clones com as maiores áreas basais, mas a partir dos 75 meses de idade ficou no terceiro grupo dos clones com as maiores áreas basais. O CO1407 foi um clone com comportamento semelhante ao do AEC0042, ficou oscilando entre o segundo e o terceiro grupo com as maiores áreas basais. Por fim, o CO1404 foi o clone com a menor área basal dos 20 aos 84 meses de idade.

Os clones AECs, no geral, apresentaram um melhor desempenho do que os clones CO1404 e CO1407, isto ocorreu, pois, os clones AECs são mais tolerantes a competição pelos recursos do meio que os outros clones, assim, mesmo que ocorra um período prolongado de

déficit hídrico, como de janeiro a novembro de 2014, estes terão um desempenho melhor que o CO1404 e o CO1407.

Em relação ao arranjo de plantio (Figura 41 e Tabela 23), o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que apresentou as menores áreas basais dos 20 aos 84 meses de idade e o arranjo de plantio 3 m x 1 m, as maiores. A área basal é maior nos arranjos de plantio mais adensados em decorrência do maior número de árvores por unidade de área, entretanto estas árvores são mais finas quando comparadas com as árvores dos arranjos de plantio menos adensados, pois menores são a área e a quantidade de recursos disponíveis para o crescimento de cada árvore.

Em relação a interação clone x arranjo de plantio, a mesma ocorre em novembro de 2014 (34 meses de idade) (Figura 42A), em julho de 2018 (78 meses de idade) (Figura 42B), em outubro de 2018 (81 meses de idade) (Figura 42C) e em janeiro de 2019 (84 meses de idade) (Figura 42D). Os clones CO1404 e AEC0224 tiveram o mesmo comportamento aos 34, 78, 81 e 84 meses de idade, nestes a área basal do arranjo de plantio 3 m x 1 m foi superior à do 3 m x 2 m e 3 m x 4 m e estes dois tiveram áreas basais mais semelhantes. Os clones CO1407 e AEC1528 tiveram o mesmo comportamento aos 34, 78, 81 e 84 meses de idade, estes apresentaram um aumento crescente em área basal do arranjo de plantio menos adensado (3 m x 4 m) para o arranjo de plantio mais adensado (3 m x 1 m). O AEC0144 teve a área basal dos arranjos de plantio mais adensados muito próxima, mas o arranjo de plantio 3 m x 4 m proporcionou uma área basal menor, isto ocorreu aos 34, 78, 81 e 84 meses de idade. Por fim, o AEC0042 em novembro de 2014, aos 34 meses de idade, apresentou comportamento semelhante aos clones CO1407 e AEC1528, mas aos 78, 81 e 84 meses de idade apresentou o mesmo comportamento que o clone AEC0144.

Figura 42. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto na interação clone x arranjo de plantio para a variável área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). (A) Novembro de 2014; (B) Julho de 2018; (C) Outubro de 2018 e (D) Janeiro de 2019.

Assim como área basal, o volume por área é afetado tanto pelo genótipo quanto pela densidade de plantio. Com base nos dados das Figuras 43 e 44 e das Tabelas 24 e 25, observa-se que os maiores aumentos em volume por área ocorreram entre os meses de setembro de 2013 e janeiro de 2015 (dos 20 aos 36 meses de idade) e os menores entre abril de 2018 e janeiro de 2019 (dos 75 aos 84 meses de idade), isto para todos os clones (Figura 43 e Tabela 24) e arranjos de plantio (Figura 44 e Tabela 25), demonstrando a influência da idade de plantio no volume por área. Isto ocorre porque no primeiro período a competição entre as árvores é inexistente ou tem pouca relevância, assim, tem-se um crescimento acelerado, já no segundo período, a competição pelos recursos do meio é muito mais intensa, aumentando conforme as árvores crescem, reduzindo o crescimento das árvores.

Figura 43. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto por clone para a variável volume por área (m³.ha⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 24. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por área (m³.ha⁻¹) em relação aos clones. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
AEC0144	77,64	A	117,08	A	133,62	A	151,98	A	185,43	A	210,14	A	416,02	A	426,82	A	439,36	A	454,52	A
AEC0224	66,50	B	106,31	B	121,28	B	140,20	A	178,47	A	204,38	A	425,43	A	440,38	A	455,83	A	471,32	A
AEC1528	66,62	B	105,05	B	117,51	B	138,30	A	169,18	A	199,46	A	383,90	A	396,65	A	406,01	A	423,71	A
AEC0042	70,68	B	111,68	A	123,23	B	143,33	A	182,33	A	211,30	A	400,43	A	414,76	A	431,97	A	451,19	A
CO1404	49,77	C	87,27	C	97,31	C	110,46	B	137,71	B	152,10	B	305,78	C	318,69	C	329,19	C	343,12	B
CO1407	54,27	C	93,13	C	102,49	C	116,93	B	149,05	B	171,93	B	359,97	B	372,91	B	386,90	B	406,39	A

Figura 44. Desenvolvimento médio das árvores de eucalipto nos diferentes arranjos de plantio para a variável volume por área (m³.ha⁻¹) ao longo de todo o período de avaliação.

Tabela 25. Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume por área (m³.ha⁻¹) em relação ao arranjo de plantio. Médias que apresentam a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) no mesmo período avaliado.

	Set/2013		Jan/2014		Mar/2014		Jul/2014		Nov/2014		Jan/2015		Abr/2018		Jul/2018		Out/2018		Jan/2019	
	Outono		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão		Outono		Inverno		Primavera		Verão	
	20 meses		24 meses		26 meses		30 meses		34 meses		36 meses		75 meses		78 meses		81 meses		84 meses	
3 m x 1 m	90,77	A	140,73	A	154,93	A	176,06	A	217,70	A	246,12	A	425,20	A	438,48	A	452,31	A	472,07	A
3 m x 2 m	61,74	B	99,94	B	112,90	B	130,82	B	162,90	B	187,48	B	384,81	B	397,54	B	411,20	B	427,42	B
3 m x 4 m	40,24	C	69,59	C	79,88	C	93,72	C	120,49	C	141,06	C	335,75	C	349,08	C	361,12	C	375,64	C

Na Figura 43 e Tabela 24, tem-se o desempenho dos clones em volume por área dos 20 aos 36 meses de idade e dos 75 aos 84 meses de idade. Os clones AEC0144 e AEC0042 foram os que apresentaram os maiores volumes por área dos 20 aos 84 meses de idade. Os clones AEC0224 e AEC1528 dos 20 aos 26 meses de idade ficaram no segundo grupo com os maiores volumes por área, mas a partir dos 30 meses de idade, foram para o primeiro grupo com os maiores volumes por área, junto com o AEC0144 e o AEC0042. Já o CO1407 teve um aumento gradativo do volume por área, passando do grupo com os menores volumes por área (dos 20 aos 26 meses de idade), para o segundo grupo com os maiores volumes por área (dos 30 aos 81 meses de idade) e no final, aos 84 meses de idade, foi para o primeiro grupo com os maiores volumes por área. Por fim, o CO1404 ficou oscilando entre o grupo com os menores volumes por área e o segundo grupo com os maiores volumes por área, porém permaneceu mais no grupo com os menores volumes por área.

Os clones AEC0144, AEC0224 e AEC1528 foram os clones com as maiores áreas transversais e basais e os maiores volumes por árvore e por área, assim, estes clones além de terem um maior volume por área, também possuem árvores maiores em diâmetro e volume por árvore. O clone AEC0042 apesar de ser um dos clones com maiores volumes por árvore e por área, é um dos que possuem as menores áreas transversais e basais, porém é um dos clones com as maiores alturas, assim, é um dos clones com os maiores graus de esbeltez, portanto, o aumento em volume por árvore deste clone se deve aos maiores aumentos em altura, consequentemente, possui árvores mais compridas e finas. O clone CO1407 foi um dos clones com menores áreas transversais e basais dos 20 aos 84 meses de idade e os menores volumes por árvore e por área dos 20 aos 36 meses de idade, porém dos 75 aos 84 meses de idade foi um dos clones com os maiores volumes por árvore e por área, tal aumento se deve ao aumento em altura, pois neste período este clone passou a ser um dos clones com as maiores alturas, assim, com os maiores graus de esbeltez, consequentemente, como o AEC0042, este clone possui árvores mais compridas e finas. Por fim, o CO1404 foi o clone com as menores áreas transversais e basais e os menores volumes por árvore e por área, portanto, possui árvores pequenas e finas. Assim, as maiores produtividades foram conseguidas pelos clones AECs, o que se deve provavelmente a maior capacidade desses materiais de se desenvolver em condições de estresse, e as menores produtividades pelo clone CO1404, que se mostrou o material mais sensível as condições limitantes do meio.

Em relação ao arranjo de plantio (Figura 44 e Tabela 25), o arranjo de plantio 3 m x 4 m foi o que propiciou os menores volumes por área dos 20 aos 84 meses de idade e o arranjo de plantio 3 m x 1 m os maiores. Em arranjos de plantio mais adensados o volume por

unidade de área é maior, pois possui um maior número de árvores, porém os arranjos de plantio menos adensados, com menor competição entre as árvores, maior será o aumento em volume por área com o passar do tempo em comparação com os plantios mais adensados.

Segundo Balloni e Simões (1980), os povoamentos mais adensados produzem um maior volume total de madeira quando comparados com os menos adensados, entretanto os arranjos de plantio menos adensados produzem um maior número de árvores com maior volume por árvore, porém, apesar do volume total de madeira aumentar conforme aumenta-se o número de árvores por área, o volume útil pode não sofrer alterações, aumentando-se a produção de lenha fina. Assim, quanto mais adensado for o povoamento, em decorrência da menor área disponível para o crescimento de cada árvore e, conseqüentemente, a menor disponibilidade de recursos, maior será a produção de árvores finas, que não terão outra finalidade além da utilização para geração de energia.

4.5. Relação entre a copa e o câmbio

Nas Tabelas de 26 a 29 tem-se o coeficiente de correlação de Person (R), bem como o grau de significância deste, para a correlação entre as variáveis de copa e de câmbio, por árvore e por área, em relação aos clones, arranjos de plantio e interação clone x arranjo de plantio. Ressalta-se que as análises foram separadas em dois períodos, dos 20 aos 36 meses de idade e dos 75 aos 84 meses de idade, pois durante as análises de correlação observou-se, graficamente, que os dados se distinguem em dois grupos distintos, essa diferença de comportamento das árvores nestes períodos se deve as distintas fases do desenvolvimento que se encontravam. No primeiro caso, as árvores estavam na etapa final da fase de colonização e início da fase de estabelecimento, já no segundo caso, árvores estavam na etapa final da fase de maturidade e início da fase de senescência.

Para a correlação do DAP com a altura total (Tabela 26 e 27), verifica-se uma relação forte (0,70 a 0,99) e positiva entre as variáveis, ou seja, quando se aumenta o valor de uma das variáveis a outra também aumenta. Entretanto é possível observar que a relação foi mais forte no período dos 75 aos 84 meses de idade, tal fato ocorre neste período porque as árvores, em geral, se encontram em transição da fase de maturidade para a fase de senescência, assim, o crescimento das árvores é muito pequeno tendendo para estagnação, neste caso, o pequeno aumento tanto em altura como em diâmetro ocorre de forma similar. Diferente do que se verifica no período dos 20 aos 36 meses de idade, onde as árvores apresentam um maior crescimento em altura do que em diâmetro, pois, segundo Batista,

Couto e Silva Filho (2014), o crescimento em diâmetro, neste período, ocorre na medida necessária para que a árvore adquira o suporte lenhoso para o crescimento em altura.

Tabela 26. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 20 aos 36 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “***” $p < 0,01$ e “****” $p < 0,001$.

Interação	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
CO1404 3 m x 1 m	0,79***	0,64***	0,81***	0,78***	0,64***	0,69***
CO1404 3 m x 2 m	0,82***	0,74***	0,82***	0,80***	0,73***	0,74***
CO1404 3 m x 4 m	0,86***	0,57***	0,66***	0,86***	0,58***	0,62***
CO1407 3 m x 1 m	0,72***	0,55***	0,80***	0,70***	0,53***	0,59***
CO1407 3 m x 2 m	0,79***	0,40***	0,65***	0,79***	0,40***	0,48***
CO1407 3 m x 4 m	0,83***	0,42***	0,54***	0,83***	0,43***	0,47***
AEC1528 3 m x 1 m	0,82***	0,59***	0,61***	0,81***	0,55***	0,55***
AEC1528 3 m x 2 m	0,87***	0,24***	0,51***	0,86***	0,26 ^{ns}	0,36***
AEC1528 3 m x 4 m	0,87***	0,30**	0,48***	0,86***	0,30**	0,36***
AEC0042 3 m x 1 m	0,74***	0,59***	0,80***	0,75***	0,59***	0,66***
AEC0042 3 m x 2 m	0,78***	0,45***	0,70***	0,78***	0,47***	0,53***
AEC0042 3 m x 4 m	0,87***	0,49***	0,66***	0,87***	0,49***	0,54***
AEC0224 3 m x 1 m	0,73***	0,47***	0,64***	0,72***	0,45***	0,48***
AEC0224 3 m x 2 m	0,75***	0,50***	0,59***	0,75***	0,48***	0,52***
AEC0224 3 m x 4 m	0,77***	0,43***	0,61***	0,78***	0,44***	0,51***
AEC0144 3 m x 1 m	0,71***	0,52***	0,80***	0,69***	0,50***	0,58***
AEC0144 3 m x 2 m	0,72***	0,33***	0,69***	0,72***	0,34***	0,44***
AEC0144 3 m x 4 m	0,83***	0,39***	0,61***	0,82***	0,40***	0,46***
Clone	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
CO1404	0,76***	0,73***	0,78***	0,74***	0,72***	0,73***
CO1407	0,71***	0,54***	0,69***	0,69***	0,52***	0,55***
AEC1528	0,70***	0,46***	0,55***	0,68***	0,43***	0,47***
AEC0042	0,69***	0,61***	0,73***	0,68***	0,60***	0,64***
AEC0224	0,62***	0,53***	0,60***	0,61***	0,52***	0,56***
AEC0144	0,69***	0,54***	0,74***	0,68***	0,53***	0,57***
Arranjo de plantio	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
3 m x 1 m	0,75***	0,57***	0,75***	0,73***	0,54***	0,58***
3 m x 2 m	0,79***	0,50***	0,67***	0,79***	0,48***	0,51***
3 m x 4 m	0,81***	0,43***	0,60***	0,81***	0,43***	0,49***
Geral	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
	0,70***	0,58***	0,69***	0,68***	0,56***	0,58***

*Legenda: H = altura total; CC = comprimento de copa; %Copa = porcentagem de copa; g = área transversal; v = volume por árvore.

Tabela 27. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 75 aos 84 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
CO1404 3 m x 1 m	0,96***	0,15*	0,19**	0,92***	0,15*	0,16*
CO1404 3 m x 2 m	0,94***	0,68***	0,63***	0,87***	0,70***	0,70***
CO1404 3 m x 4 m	0,80***	0,71***	0,63***	0,76***	0,70***	0,70***
CO1407 3 m x 1 m	0,95***	0,26 ^{ns}	0,33***	0,90***	0,26***	0,26 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	0,87***	0,49***	0,50***	0,84***	0,52***	0,55***
CO1407 3 m x 4 m	0,82***	0,46***	0,55***	0,80***	0,43***	0,44***
AEC1528 3 m x 1 m	0,95***	-0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,91***	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	0,86***	-0,08 ^{ns}	-0,003 ^{ns}	0,85***	-0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,74***	0,33***	0,48***	0,73***	0,34***	0,37***
AEC0042 3 m x 1 m	0,93***	0,37***	0,44***	0,89***	0,39***	0,41***
AEC0042 3 m x 2 m	0,89***	0,68***	0,66***	0,85***	0,68***	0,69***
AEC0042 3 m x 4 m	0,86***	0,55***	0,63***	0,85***	0,53***	0,54***
AEC0224 3 m x 1 m	0,94***	-0,14*	-0,14*	0,90***	-0,10 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	0,94***	0,24***	0,24***	0,91***	0,27 ^{ns}	0,29*
AEC0224 3 m x 4 m	0,91***	0,61***	0,68***	0,88***	0,61***	0,62***
AEC0144 3 m x 1 m	0,95***	0,06 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,91***	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}
AEC0144 3 m x 2 m	0,93***	0,25***	0,32**	0,91***	0,26***	0,27*
AEC0144 3 m x 4 m	0,86***	0,19**	0,30**	0,86***	0,19**	0,21**
Clone	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
CO1404	0,92***	0,62***	0,57***	0,85***	0,63***	0,63***
CO1407	0,91***	0,58***	0,57***	0,84***	0,58***	0,58***
AEC1528	0,91***	0,21***	0,22***	0,86***	0,23***	0,25***
AEC0042	0,92***	0,71***	0,70***	0,87***	0,71***	0,71***
AEC0224	0,94***	0,25***	0,22***	0,89***	0,29***	0,32***
AEC0144	0,93***	0,30***	0,29***	0,89***	0,31***	0,33***
Arranjo de plantio	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
3 m x 1 m	0,91***	0,07*	0,12*	0,86***	0,07**	0,08**
3 m x 2 m	0,88***	0,35***	0,42***	0,83***	0,36***	0,40***
3 m x 4 m	0,76***	0,38***	0,56***	0,73***	0,36***	0,44***
Geral	DAP/H	DAP/CC	H/CC	H/g	CC/g	CC/v
	0,90***	0,41***	0,43***	0,84***	0,42***	0,45***

*Legenda: H = altura total; CC = comprimento de copa; %Copa = porcentagem de copa; g = área transversal; v = volume por árvore.

Porém, neste período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 26), no arranjo de plantio 3 m x 4 m e na interação da maioria dos clones com este arranjo de plantio, esta relação do DAP com a altura foi muito forte, próxima do que se verifica no segundo período, nestes casos o que ocorre é que como a competição pelos recursos é menor em comparação com os outros dois arranjos de plantio, as árvores acabam crescendo muito em altura e para dar o suporte necessário para esse acelerado crescimento, a árvore investe mais em crescimento diamétrico, aumentando a correlação do DAP com a altura.

Contudo o clone CO1404 no 3 m x 2 m e o AEC1528 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m, apresentaram também um aumento proporcional em altura e em diâmetro neste período (Tabela 26), é provável que este fato ocorra em decorrência do material genético. O AEC1528 está entre os clones com os maiores DAPs e alturas e, ao mesmo tempo, os maiores comprimentos de copa e porcentagens de copa, apesar de ser um dos clones com os menores IAFs neste período, assim, inicialmente, mesmo que tenha apresentado uma menor distribuição dos galhos horizontalmente, apresentou uma boa distribuição ao longo do fuste, o que favoreceu um maior crescimento em DAP proporcional ao crescimento em altura. Além disso, as condições edafoclimáticas do local, provavelmente, favoreceram o seu crescimento. Segundo Reis, Santos e Paludzyszyn Filho (2014) e a Arcelormittal Bioenergia Ltda (2009), este clone é classificado como tolerante ao déficit hídrico, devido ao seu bom desempenho, mesmo quando cultivado em regiões com deficiência hídrica e elevadas temperaturas. Assim, ele é mais tolerante a condições estressantes, como a competição mais intensa pelos recursos do meio causada pelo maior adensamento do plantio.

Já o CO1404 está entre os clones com os menores DAPs, alturas, comprimentos de copa e IAFs neste período, porém está entre os que apresentaram maior porcentagem de copa, ou seja, os galhos estavam distribuídos verticalmente em uma maior extensão do fuste, entretanto em decorrência da menor quantidade de copa para produção de fotoassimilados, tanto o seu crescimento em altura como em DAP foram menores em relação aos demais clones, porém, este crescimento ocorreu proporcionalmente dos 20 aos 36 meses de idade no arranjo de plantio 3 m x 2 m (Tabela 26).

No período dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 27) também pode-se verificar que no arranjo de plantio 3 m x 4 m e na interação do clone AEC1528 com o arranjo de plantio 3 m x 4 m esta relação é mais fraca, tal fato ocorre porque quanto menor a densidade de plantio, maior será a área por árvore e, assim, menor será a competição pelos recursos, como água, luz e nutrientes, ou seja, maior será a quantidade de recursos nos espaçamentos de plantio menos adensados em decorrência da menor quantidade de árvores por metro quadrado, o que

favoreceu o maior crescimento em DAP e altura neste arranjo de plantio em relação aos demais neste período, assim, neste arranjo de plantio as árvores apresentam uma taxa maior de crescimento em relação aos espaçamentos de plantio mais adensados, encontrando-se ainda na fase de maturidade, apresentando maior crescimento em diâmetro que em altura.

A relação entre o DAP e o comprimento de copa foi no geral positiva e moderada (0,40 a 0,69), ou seja, quando se aumenta o comprimento de copa aumenta-se o DAP, isto para o período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 26), as exceções foram para o clone CO1404 e a interação do CO1404 com o arranjo de plantio 3 m x 2 m onde a relação foi forte e positiva e, para a interação AEC1528 no 3 m x 2 m, AEC1528 no 3 m x 4 m, AEC0144 no 3 m x 2 m e AEC0144 no 3 m x 4 m onde foi fraca e positiva. Esta relação positiva e, no geral, moderada demonstra a influência da quantidade de copa no crescimento em DAP, pois neste período como ainda não ocorreu o fechamento de copas ocorre uma maior entrada de luz/radiação na floresta, assim, as folhas ao longo do fuste terão um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo, favorecendo o crescimento das árvores.

Já a relação entre o DAP e o comprimento de copa, no período dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 27), foi no geral positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando se aumenta o comprimento de copa aumenta-se o DAP, as exceções foram para o geral, os clones CO1404 e CO1407 e as interações CO1404 no 3 m x 2 m, CO1407 no 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, AEC0042 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m e AEC0224 no 3 m x 4 m, para os quais foi positiva e moderada, e para o AEC0042 e CO1404 no 3 m x 4 m que foi positiva e forte, porém foi negativa e fraca no AEC0224 no 3 m x 1 m e não significativa no CO1407 no 3 m x 1 m, AEC1528 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m e AEC0144 no 3 m x 1 m. Porém, como em sua maioria a relação foi positiva, variando de fraca a forte, também demonstra a importância da quantidade de copa para o crescimento neste período de transição da fase de maturidade para a fase de senescência. Esta relação mais fraca se deve ao menor comprimento de copa neste período de transição de fase, pois conforme as árvores crescem ocorre o fechamento de copas e, assim, em decorrência do auto-sombreamento e da menor entrada de luz, acelera-se a senescência das folhas da porção inferior da copa diminuindo o comprimento de copa, além disso, como é possível verificar na Tabela 27, existe a influência do arranjo de plantio também, pois nas interações onde a relação foi forte e moderada, os arranjos de plantio eram o 3 m x 2 m e o 3 m x 4 m, nos quais a entrada de luz é maior e o auto-sombreamento é menor, assim, a desrama natural dos galhos inferiores é mais tardia, portanto as folhas desta porção da copa ainda possuem um balanço positivo de fotoassimilados, contribuindo para o crescimento das árvores.

Segundo Leite et al. (1997), a copa das árvores nos plantios menos adensados é mais bem distribuída ao longo do tronco, pois a desrama natural dos galhos inferiores é mais tardia, o que pode ser reflexo da arquitetura da copa e do não fechamento de copas, permitindo maior exposição das folhas da base da copa a uma quantidade de radiação maior do que aquela correspondente ao seu ponto de compensação luminoso, assim, as folhas terão um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo.

Para a correlação da altura total com o comprimento de copa obteve-se uma relação no geral positiva e moderada (0,40 a 0,69) para os dois períodos (Tabela 26 e 27), ou seja, quando se aumenta a altura total aumenta-se o comprimento de copa, com exceção, no período dos 20 aos 36 meses de idade, do arranjo de plantio 3 m x 1 m, dos clones CO1404, AEC0042 e AEC0144, e das interações CO1404 no 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, CO1407 no 3 m x 1 m, AEC0042 no 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, AEC0144 no 3 m x 1 m, onde esta relação foi positiva e forte e, no período dos 75 aos 84 meses de idade, do arranjo de plantio 3 m x 1 m, dos clones AEC1528, AEC0224 e AEC0144, da interações do CO1404 no 3 m x 1 m, CO1407 no 3 m x 1 m, AEC0224 no 3 m x 2 m, AEC0144 no 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, onde esta relação foi positiva e fraca e, na interação do AEC0224 no 3 m x 1 m que foi negativa e fraca e, nas interações do AEC1528 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m e no AEC0144 no 3 m x 1 m que foram não significativa. Assim, no geral, a relação foi positiva e moderada, variando de fraca a forte, demonstrando que conforme as árvores crescem ocorre um aumento do comprimento de copa em virtude do aumento em altura, porém no período dos 20 aos 36 meses de idade, três clones nos espaçamentos de plantio mais adensados tiveram uma relação forte, tal fato ocorreu, provavelmente, porque estes materiais genéticos, nestes arranjos de plantio, investiram mais no aumento da copa visando aumentar a produção de fotoassimilados para o seu crescimento, já que a competição por luz nestes arranjos de plantio é maior. Já dos 75 aos 84 meses de idade se verifica uma situação inversa, onde as exceções em que a relação era fraca ocorreram nos espaçamentos de plantio mais adensados, isto se deve, pois neste período já ocorreu o fechamento de copas nestes arranjos de plantio e a competição pelos recursos do meio, principalmente a luz, é muito intensa, assim, a desrama natural dos galhos da porção inferior da copa é antecipada, em decorrência do auto-sombreamento e da menor entrada de radiação, o que diminui o comprimento de copa, assim, mesmo que as árvores cresçam em altura a proporção do aumento no comprimento de copa é menor.

A relação da altura total com a área transversal foi no geral positiva e forte (0,70 a 0,99) para os dois períodos (Tabela 26 e 27), ou seja, quando se aumenta a altura total aumenta-se ao mesmo tempo a área transversal, com exceção no período dos 20 aos 36 meses

de idade, do geral, dos clones CO1407, AEC1528, AEC0042, AEC0224 e AEC0144 e da interação do clone AEC0144 no 3 m x 1 m, onde esta relação foi positiva e moderada. Assim como a relação do DAP com a altura total, verifica-se que a relação da altura total com a área transversal do período dos 20 aos 36 meses de idade apesar de ser forte é relativamente menor que do período dos 75 aos 84 meses de idade, pois o crescimento em altura e área transversal na transição da fase de maturidade para a fase de senescência é, no geral, proporcional e menor do que na transição da fase de colonização para a fase de estabelecimento, onde o crescimento em altura e área transversal é maior, porém o aumento em altura é superior ao em área transversal, pois este último ocorre na medida necessária para dar suporte lenhoso para o crescimento em altura.

A relação entre o comprimento de copa e a área transversal foi, no geral, positiva e moderada (0,40 a 0,69), ou seja, quando aumenta-se o comprimento de copa aumenta-se ao mesmo tempo a área transversal, isto para o período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 26), com exceção para o clone CO1404 e a interação deste clone com o arranjo de plantio 3 m x 2 m, onde esta relação positiva e forte, para as interações do AEC1528 no 3 m x 4 m e do AEC0144 no 3 m x 2 m, esta relação foi positiva e fraca e para a interação do AEC1528 no 3 m x 2 m foi não significativa. Assim, como esta relação foi positiva, variando de fraca a forte, demonstra-se a importância da quantidade de copa para o crescimento das árvores neste período de transição da fase de colonização para a fase de estabelecimento, pois como neste período ainda não ocorreu o fechamento de copas, tem-se uma maior entrada de luz, assim, os galhos ao longo do fuste terão um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo, o que favorece o crescimento das árvores em altura e em diâmetro, aumentando a área transversal.

A relação entre o comprimento de copa e a área transversal, no período dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 27), foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando aumenta-se o comprimento de copa aumenta-se ao mesmo tempo a área transversal, mas este aumento não ocorre de forma semelhante para as duas variáveis, com exceção para o clone AEC0042 e as interações do clone CO1404 nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, que obtiveram relação positiva e forte, para o geral, os clones CO1404 e CO1407 e, as interações dos clones CO1407 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m, do AEC0042 no 3 m x 2 m e 3 m x 4 m e do AEC0224 no 3 m x 4 m, que obtiveram relação positiva e moderada e, as interações do AEC1528 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m, AEC0224 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m e o AEC0144 no 3 m x 1 m que não tiveram relação significativa. Assim, como esta relação foi positiva, variando de fraca a forte, demonstra-se a importância da quantidade de copa para o crescimento das árvores neste período de transição da fase de maturidade para a fase de

senescência, porém esta proporção de aumento não se mostrou semelhante para as duas variáveis, isto ocorre porque neste período já ocorreu o fechamento de copas, assim, a desrama natural dos galhos da porção inferior da copa ocorre mais rápido, em decorrência do auto-sombreamento e menor entrada de luz, o que diminui o comprimento de copa, assim, as árvores investem um maior quantidade de fotoassimilados para o crescimento secundário do que para a manutenção da copa inteira. Porém, em alguns casos, como o clone CO1404, onde a relação é positiva e forte, o que se verifica é que os galhos e as folhas da porção mediana e inferior da copa recebem uma maior incidência de radiação quando comparada a outros clones, pois a cobertura do solo é menor, o que é demonstrado pelo menor IAF apresentado por este clone, assim, a produção de fotoassimilados é maior nessa porção da copa em relação aos demais clones, favorecendo o crescimento secundário, o mesmo pode-se verificar para o CO1407 e o AEC0042 que também apresentaram menor IAF em comparação com os demais clones. Verifica-se também que esta relação foi forte e moderada para estes clones e para o AEC0224 nos espaçamentos de plantio menos adensados, pois nestes a entrada de luz é maior que nos espaçamentos de plantio mais adensados, assim, o comprimento de copa é maior, bem como a produção de fotoassimilados para o crescimento das árvores e manutenção dos galhos das porções mediana e inferior da copa, o inverso se verifica para os clones AEC1528, AEC0224 e AEC0144 que apresentaram relação não significativa nos espaçamentos de plantio mais adensados.

A relação entre o comprimento de copa e o volume por árvore foi no geral positiva e moderada (0,40 a 0,69), para os dois períodos (Tabela 26 e 27), ou seja, quando se aumenta o comprimento de copa aumenta-se o volume por árvore, com exceção para o clone CO1404 e a interação deste clone no 3 m x 2 m, onde a relação foi positiva e forte, e as interações do AEC1528 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m, onde foi positiva e fraca, isto no período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 26). Já dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 27), a relação foi positiva e forte para o clone AEC0042 e as interações do clone CO1404 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m, e foi positiva e fraca no arranjo de plantio 3 m x 1 m, para os clones AEC1528, AEC0224 e AEC0144, e para as interações do CO1404 no 3 m x 1 m, AEC1528 no 3 m x 4 m, AEC0224 no 3 m x 2 m, e AEC0144 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m, não ocorrendo relação nas interações do CO1407 no 3 m x 1 m, AEC1528 no 3 m x 1 m e no 3 m x 2 m, AEC0224 no 3 m x 1 m e AEC0144 no 3 m x 1 m. Assim, como esta relação foi positiva, variando de fraca a forte, demonstra-se a importância da copa para o crescimento da árvore, porém este atributo da copa (comprimento de copa) tem uma maior influência no crescimento no período dos 20 aos 36 meses de idade e nos espaçamentos de plantio menos adensados, como no 3 m

x 4 m, onde a entrada de luz através do dossel da floresta é maior, favorecendo a manutenção dos galhos das porções mediana e inferior da copa, os quais contribuem para o aumento da produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, para o crescimento das árvores, porém, no período dos 75 aos 84 meses de idade e nos espaçamentos de plantio mais adensados, como no 3 m x 1 m, o inverso se verifica, pois em decorrência da menor entrada de luz, bem como a maior competição pelos recursos do meio, a desrama natural dos galhos da porção inferior da copa é antecipada, o que diminui o comprimento de copa, assim, as árvores investem um maior quantidade de fotoassimilados para o crescimento secundário do que para a manutenção da copa inteira.

Segundo Field (1983) e Ackerly (1999), nos níveis mais reduzidos de luz, devido a limitação de energia, as taxas fotossintéticas são reduzidas, o que diminui o ganho de carbono nessas posições, além disso, as folhas mais velhas que ocupam essa parte da copa, onde a entrada de luz é menor, apresentam menor capacidade fotossintética, diminuindo ainda mais o ganho de carbono.

A relação entre o IAF e a deposição de folheto foi, no geral, quando significativa, negativa e fraca (0,0 a 0,39), para o período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 28), ou seja, quando se aumenta a deposição de folheto diminui-se o IAF e vice-versa. Esta relação foi significativa somente para o geral, os arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, para os clones AEC0042, AEC0224 e AEC0144 e para as interações AEC0042 no 3 m x 4 m e AEC0144 no 3 m x 1 m, para estas duas últimas, a relação foi negativa e moderada, e para os demais clones e interações não foi verificado relação entre as variáveis, mas cabe ressaltar que mesmo nestes caso o sinal da relação se mostrou negativo, o que demonstra que quando a deposição de folheto é mais intensa, ou seja, quando a copa perde uma quantidade significativa de folhas, o IAF diminui, com isto tem-se uma menor quantidade de copa disponível para a produção de fotoassimilados para serem utilizados no crescimento.

Segundo Battaglia et al. (1998) e Laclau et al. (2009), as previsões de crescimento dos plantios são altamente sensíveis as mudanças no IAF e este é muito sensível as mudanças na taxa de deposição de folheto ou na vida útil das folhas.

Tabela 28. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 20 aos 36 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	IAF/Folhedo	IAF/IAB	IAF/IV	Folhedo/AB	Folhedo/V
CO1404 3 m x 1 m	-0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
CO1404 3 m x 2 m	-0,12 ^{ns}	0,50*	0,36 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	-0,27 ^{ns}	0,45*	0,37 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,37 ^{ns}
CO1407 3 m x 1 m	-0,32 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,40 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	-0,17 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,36 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
CO1407 3 m x 4 m	-0,27 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,45*	-0,48*
AEC1528 3 m x 1 m	-0,40 ^{ns}	0,42*	0,37 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,36 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	-0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	-0,16 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	-0,28 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
AEC0042 3 m x 2 m	-0,25 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,45*	-0,52*
AEC0042 3 m x 4 m	-0,44*	0,25 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	-0,22 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	-0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,41*	-0,50*
AEC0224 3 m x 4 m	-0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,43*
AEC0144 3 m x 1 m	-0,41*	0,30 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,44*
AEC0144 3 m x 2 m	-0,31 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,28 ^{ns}
AEC0144 3 m x 4 m	-0,30 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Clone	IAF/Folhedo	IAF/IAB	IAF/IV	Folhedo/AB	Folhedo/V
CO1404	-0,17 ^{ns}	0,27*	0,20 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
CO1407	-0,20 ^{ns}	0,33**	0,30**	-0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
AEC1528	-0,19 ^{ns}	0,29*	0,23*	-0,01 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
AEC0042	-0,31**	0,26*	0,19 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
AEC0224	-0,10 ^{ns}	0,26*	0,21 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
AEC0144	-0,31**	0,24*	0,19 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,24*
Arranjo de plantio	IAF/Folhedo	IAF/IAB	IAF/IV	Folhedo/AB	Folhedo/V
3 m x 1 m	-0,27***	0,29***	0,25**	-0,11 ^{ns}	-0,22**
3 m x 2 m	-0,18*	0,25**	0,22**	-0,16*	-0,25**
3 m x 4 m	-0,23**	0,23**	0,21**	-0,24**	-0,29***
Geral	IAF/Folhedo	IAF/IAB	IAF/IV	Folhedo/AB	Folhedo/V
	-0,20*	0,27***	0,23**	-0,04 ^{ns}	-0,14**

*Legenda: Folhedo = deposição de folhedo; IAB = incremento em área basal; IV = incremento em volume por área; AB = área basal; V = volume por área.

Já dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 29), a relação se mostrou, quando significativa, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando se aumentou a deposição de folheto também se aumentou o IAF. Esta relação foi significativa somente para o geral, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 4 m, para os clones CO1404 e AEC0042 e para a interação do CO1404 no 3 m x 4 m, porém mesmo que para o arranjo de plantio 3 m x 2 m, demais clones e interações não tenha-se verificado relação entre as variáveis, em sua maioria, ela se mostrou positiva, o que demonstra que, para este período de transição da fase de maturidade para a de senescência, mesmo que aumente-se a deposição de folheto, a quantidade de copa mantida e produzida supera a quantidade de folhas perdidas, ou seja, a quantidade de copa neste período se mantém relativamente estável, apresentando pouca variação ao longo do ano. Segundo Le Maire et al. (2011), a partir do segundo ou terceiro ano de plantio, o IAF mantém um valor geralmente alto, em torno de 3 a 4, variando sazonalmente, principalmente devido à estação seca.

Tabela 29. Correlação de Pearson entre as variáveis em relação aos clones, aos arranjos de plantio, geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio dos 75 aos 84 meses de idade. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “***” $p < 0,01$ e “****” $p < 0,001$.

Interação	IAF/Folheto	IAF/IAB	IAF/IV	Folheto/AB	Folheto/V
CO1404 3 m x 1 m	0,18 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
CO1404 3 m x 2 m	0,23 ^{ns}	0,49*	0,30 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	0,47*	0,30 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
CO1407 3 m x 1 m	0,17 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	0,32 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
CO1407 3 m x 4 m	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,002 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
AEC1528 3 m x 1 m	0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	-0,24 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,22 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	0,36 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}
AEC0042 3 m x 2 m	0,16 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
AEC0042 3 m x 4 m	0,25 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,45 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	0,07 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	0,29 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
AEC0224 3 m x 4 m	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-0,41*
AEC0144 3 m x 1 m	0,19 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
AEC0144 3 m x 2 m	-0,07 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,37 ^{ns}
AEC0144 3 m x 4 m	0,19 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,22 ^{ns}
Clone	IAF/Folheto	IAF/IAB	IAF/IV	Folheto/AB	Folheto/V
CO1404	0,30**	0,36**	0,20 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
CO1407	0,19 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
AEC1528	0,14 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,04 ^{ns}
AEC0042	0,28*	-0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
AEC0224	0,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
AEC0144	0,16 ^{ns}	0,30*	0,25 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
Arranjo de plantio	IAF/Folheto	IAF/IAB	IAF/IV	Folheto/AB	Folheto/V
3 m x 1 m	0,19*	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
3 m x 2 m	0,15 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,19*
3 m x 4 m	0,18*	0,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,22**
Geral	IAF/Folheto	IAF/IAB	IAF/IV	Folheto/AB	Folheto/V
	0,21*	0,14**	0,06 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,05 ^{ns}

*Legenda: Folheto = deposição de folheto; IAB = incremento em área basal; IV = incremento em volume por área; AB = área basal; V = volume por área.

A relação do IAF com o incremento em área basal foi, no geral, quando significativa, positiva e fraca (0,0 a 0,39), para o período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 28), ou seja, quando se aumenta o IAF aumenta-se o incremento em área basal, com exceção para as interações do clone CO1404 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m e do clone AEC1528 no 3 m x 1 m, onde a relação foi positiva e forte, nas demais interações não se verificou a existência de relação, porém o sinal foi, em sua maioria, positivo, o que demonstra que quanto maior o IAF maior será o incremento em área basal, pois a boa disposição dos galhos horizontalmente favorece uma maior interceptação de luz direta pelas folhas, aumentando a fotossíntese e a produção de fotoassimilados para serem utilizados no crescimento. Segundo Leite et al. (1997), isto demonstra a forte influência do IAF no crescimento das árvores, principalmente no crescimento secundário, pois a interceptação da luz é dependente do IAF que interfere na produção de biomassa, portanto, com o aumento do IAF, aumenta-se a interceptação da radiação, aumentando as taxas de crescimento.

Já dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 29) somente se verificou a existência de relação entre as variáveis no geral e nos clones CO1404 e AEC0144, onde foi positiva e fraca (0,0 a 0,39), e na interação do CO1404 no 3 m x 2 m, onde foi positiva e moderada (0,40 a 0,69). Isto ocorre, pois neste período de transição da fase de maturidade para a de senescência, a quantidade de copa nas árvores se mantém relativamente estável, pois já ocorreu o fechamento de copas e a entrada de luz através do dossel da floresta é muito baixa, assim, neste período o IAF apresenta pouca variação ao longo do ano.

Segundo Le Maire et al. (2011), a dinâmica típica do IAF compreende um rápido aumento do IAF durante o primeiro e, ocasionalmente, o segundo ou terceiro ano de plantio e, então, varia sazonalmente, principalmente devido à estação seca, entretanto, geralmente, mantém um valor alto, em torno de 3 a 4, porém a tendência geral da dinâmica do IAF com a idade é variável entre os plantios. Isto explica esta diferença apresentada pelos clones nos dois períodos e a maior e menor influência do IAF nos diferentes períodos.

A relação do IAF com o incremento em volume por área foi somente significativa no período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 28), apresentando uma relação positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando se aumenta o IAF aumenta-se o incremento em volume por área. Isto foi verificado apenas para o geral, os três arranjos de plantio e para os clones CO1407 e AEC1528, porém para os demais clones e interações foi positiva, o que ressalta a importância do IAF para o incremento em volume por área. Tal fato demonstra o que foi verificado também pelo incremento em área basal, pois o IAF tem uma maior influência no crescimento antes do fechamento de copas, onde as folhas recebem maior incidência de luz direta.

Para a relação da deposição de folheto com a área basal e o volume por área para o período dos 20 aos 36 meses de idade (Tabela 28), verifica-se que ocorreu relação, com a área basal, somente para os arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, onde foi negativa e fraca (0,0 a 0,39) e para as interações do CO1407 no 3 m x 4 m, AEC0042 no 3 m x 2 m e AEC0224 no 3 m x 2 m, onde foi negativa e moderada (0,40 a 0,69), já com o volume por área, somente ocorreu relação no geral, nos três arranjos de plantio e no clone AEC0144, onde foi negativa e fraca (0,0 a 0,39) e nas interações do CO1407 no 3 m x 4 m, AEC0042 no 3 m x 2 m, AEC0224 no 3 m x 2 m e no 3 m x 4 m e AEC0144 no 3 m x 1 m, onde foi negativa e moderada (0,40 a 0,69), porém observa-se que mesmo quando não se verificou relação, esta foi negativa, o que demonstra que quanto maior a deposição de folheto, ou seja, menor a quantidade de folhas na copa, menor é o crescimento das árvores e vice-versa.

Já dos 75 aos 84 meses de idade (Tabela 29), somente verificou-se relação da deposição do folheto com o volume por área para os arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, onde foi negativa e fraca (0,0 a 0,39) e para a interação do AEC0224 no 3 m x 4 m, onde foi negativa e moderada (0,40 a 0,69), porém tanto a relação da deposição do folheto com o volume por área quanto com a área basal, mesmo que não se verifique relação, esta foi na maioria dos casos negativa, o que ressalta a influência da quantidade de copa no crescimento das árvores.

O que ocorre para os dois períodos é que quando a deposição de folheto é mais intensa, ou seja, quando a copa perde uma quantidade significativa de folhas, o crescimento diminui, pois tem-se uma menor quantidade de copa disponível para a produção de fotoassimilados para serem utilizados no crescimento, porém no período de transição da fase de maturidade para a de senescência, onde se verificou um menor número de relações significativas, o que ocorre é que a quantidade de copa mantida e produzida pelas árvores supera a deposição de folheto, ou seja, a quantidade de copa neste período se mantém relativamente estável, apresentando pouca variação ao longo do ano, assim, a influência da deposição do folheto no crescimento é menor quando comparado com o período de transição da fase de colonização para a fase de estabelecimento.

Segundo Gonçalves et al. (2000), após o fechamento de copas, entre os 2 e 4 anos pós-plantio, a formação de copas atinge uma fase de relativa estabilidade, em consequência do auto-sombreamento que impõe uma área foliar máxima limite, passando as plantas a investir mais no crescimento secundário, ou seja, na formação do tronco e engrossamento das raízes.

Ainda Mariaux (1969) demonstrou que o período de maior atividade cambial ou de formação da madeira correspondia à fase mais longa de permanência das folhas nas árvores,

com a formação do lenho (atividade cambial) iniciando-se com a brotação das folhas e paralisando (dormência cambial) com a queda das folhas durante a estação seca.

4.6. Relação da deposição de folheto com o clima

A deposição de folheto é influenciada pelas condições edafoclimáticas. Comumente, o verão é a estação do ano onde ocorre as maiores deposições, em decorrência das altas precipitações, temperaturas e radiação, que intensifica a atividade fotossintética das folhas, tendo, assim, uma maior renovação foliar. Na estação seguinte, o outono, ainda se mantém uma alta deposição de folheto, em consequência da quantidade de chuva e da alta temperatura. Já no inverno é onde encontra-se as menores deposições de folheto, pois nesta estação a atividade fotossintética é mais baixa, bem como a renovação foliar, em consequência das menores temperaturas, precipitações e radiação. Já na primavera, com a volta das chuvas e o aumento da temperatura, inicia-se a renovação foliar e, assim, aumenta-se a deposição de folheto. Isto pode ser observado nas Tabelas 30, 31 e 32, onde verifica-se a relação existente entre a deposição de folheto e a precipitação, a temperatura média e umidade relativa do ar. Observou-se que conforme estas variáveis climáticas aumentavam, a deposição de folheto também aumentava.

Tabela 30. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período sem defasagem. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*”p < 0,05, “**” p < 0,01 e “***” p < 0,001.

Interação	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,18**	0,22***	0,04 ^{ns}
CO1404 3 m x 2 m	0,25 ^{ns}	0,28*	0,07 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	0,24***	0,35***	0,03 ^{ns}
CO1407 3 m x 1 m	0,24***	0,34***	-0,004 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	0,33***	0,34***	0,05 ^{ns}
CO1407 3 m x 4 m	0,35***	0,38***	0,05 ^{ns}
AEC1528 3 m x 1 m	0,30**	0,28**	0,05 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	0,32***	0,27*	0,04 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,32***	0,30**	0,08 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	0,22***	0,32***	-0,03 ^{ns}
AEC0042 3 m x 2 m	0,26*	0,31***	0,01 ^{ns}
AEC0042 3 m x 4 m	0,23***	0,30**	-0,03 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	0,27*	0,29**	0,06 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	0,28**	0,35***	0,07 ^{ns}
AEC0224 3 m x 4 m	0,23***	0,29**	0,08 ^{ns}
AEC0144 3 m x 1 m	0,23***	0,25***	0,08 ^{ns}
AEC0144 3 m x 2 m	0,20**	0,27*	0,03 ^{ns}
AEC0144 3 m x 4 m	0,18**	0,31***	-0,02 ^{ns}
Clone	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404	0,22***	0,28***	0,05 ^{ns}
CO1407	0,31***	0,35***	0,03 ^{ns}
AEC1528	0,31***	0,28***	0,05 ^{ns}
AEC0042	0,24***	0,31***	-0,02 ^{ns}
AEC0224	0,26***	0,30***	0,07 ^{ns}
AEC0144	0,20***	0,28***	0,03 ^{ns}
Arranjo de plantio	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
3 m x 1 m	0,24***	0,28***	0,03 ^{ns}
3 m x 2 m	0,27***	0,30***	0,04 ^{ns}
3 m x 4 m	0,26***	0,32***	0,03 ^{ns}
Geral	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
	0,26***	0,30***	0,04*

*Legenda: Folheto = deposição de folheto; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Tabela 31. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 30 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,47***	0,20**	0,25***
CO1404 3 m x 2 m	0,51***	0,22***	0,21***
CO1404 3 m x 4 m	0,45***	0,30**	0,14*
CO1407 3 m x 1 m	0,42***	0,25 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	0,49***	0,30**	0,11 ^{ns}
CO1407 3 m x 4 m	0,53***	0,33***	0,11 ^{ns}
AEC1528 3 m x 1 m	0,49***	0,24***	0,14*
AEC1528 3 m x 2 m	0,48***	0,22***	0,11 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,51***	0,28**	0,13*
AEC0042 3 m x 1 m	0,42***	0,22***	0,09 ^{ns}
AEC0042 3 m x 2 m	0,47***	0,27*	0,13*
AEC0042 3 m x 4 m	0,42***	0,23***	0,07 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	0,50***	0,28*	0,16**
AEC0224 3 m x 2 m	0,52***	0,33***	0,18**
AEC0224 3 m x 4 m	0,44***	0,31**	0,17**
AEC0144 3 m x 1 m	0,44***	0,22***	0,18**
AEC0144 3 m x 2 m	0,45***	0,22***	0,16**
AEC0144 3 m x 4 m	0,43***	0,28**	0,10 ^{ns}
Clone	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404	0,48***	0,24***	0,20***
CO1407	0,48***	0,29***	0,10**
AEC1528	0,49***	0,25***	0,13***
AEC0042	0,44***	0,24***	0,10**
AEC0224	0,48***	0,30***	0,17**
AEC0144	0,44***	0,24***	0,15 ^{ns}
Arranjo de plantio	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
3 m x 1 m	0,46***	0,24***	0,15***
3 m x 2 m	0,49***	0,26***	0,15***
3 m x 4 m	0,46***	0,29***	0,12**
Geral	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
	0,47***	0,26***	0,14***

*Legenda: Folheto = deposição de folheto; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Tabela 32. Correlação de Pearson da deposição de folheto com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 60 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” p < 0,05, “**” p < 0,01 e “***” p < 0,001.

Interação	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,48***	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}
CO1404 3 m x 2 m	0,54***	0,15**	0,07 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	0,48***	0,18**	0,003 ^{ns}
CO1407 3 m x 1 m	0,48***	0,15*	0,001 ^{ns}
CO1407 3 m x 2 m	0,55***	0,24***	0,01 ^{ns}
CO1407 3 m x 4 m	0,59***	0,23***	0,05 ^{ns}
AEC1528 3 m x 1 m	0,55***	0,19**	0,03 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	0,54***	0,16*	0,03 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,56***	0,22***	0,07 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	0,50***	0,09 ^{ns}	0,04 ^{ns}
AEC0042 3 m x 2 m	0,52***	0,18**	0,02 ^{ns}
AEC0042 3 m x 4 m	0,47***	0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	0,55***	0,22***	0,05 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	0,58***	0,28***	0,04 ^{ns}
AEC0224 3 m x 4 m	0,51***	0,29**	0,02 ^{ns}
AEC0144 3 m x 1 m	0,53***	0,14*	0,11 ^{ns}
AEC0144 3 m x 2 m	0,53***	0,13*	0,09 ^{ns}
AEC0144 3 m x 4 m	0,49***	0,19**	0,01 ^{ns}
Clone	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
CO1404	0,50***	0,15***	0,06 ^{ns}
CO1407	0,54***	0,21***	0,02 ^{ns}
AEC1528	0,55***	0,19***	0,04 ^{ns}
AEC0042	0,50***	0,13***	0,01 ^{ns}
AEC0224	0,54***	0,26***	0,04 ^{ns}
AEC0144	0,51***	0,16*	0,07 ^{ns}
Arranjo de plantio	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
3 m x 1 m	0,52***	0,15***	0,06*
3 m x 2 m	0,54***	0,19***	0,04 ^{ns}
3 m x 4 m	0,51***	0,21***	0,02 ^{ns}
Geral	Folheto/P	Folheto/T	Folheto/UR
	0,52***	0,18***	0,04**

*Legenda: Folheto = deposição de folheto; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Segundo King (2003), a plasticidade na alocação de recursos varia de acordo com os recursos envolvidos, com o estágio de desenvolvimento ou tamanho da planta, com a arquitetura de copa, o tempo de vida das folhas e a tolerância à sombra, por exemplo, a árvore pode alocar maior quantidade de recursos para as folhas e raízes, aumentando a interceptação

de luz e a captação de água e nutrientes necessários para operar e expandir o sistema fotossintético, visando aumentar as suas taxas de crescimento (KING, 2003). Isto ocorre, por exemplo, durante o verão, pois nesta estação ocorre a maior atividade fotossintética e, conseqüentemente, aumenta-se a deposição de folheto e, assim, a renovação foliar é mais intensa, visando aumentar o crescimento secundário.

Ainda segundo Ackerly e Bazzaz (1995), a longevidade das folhas é, geralmente, mais curta, em ambientes que apresentam alta produtividade, alto teor de nutrientes e luz, assim, onde se tem altas taxas fotossintéticas, estando associada às espécies que apresentam taxas de crescimento rápido. Tal fato ocorre, geralmente, no verão, onde têm-se altas precipitações, temperaturas e radiação, que intensifica a atividade fotossintética das folhas.

Segundo Vincent (2006), no geral, quando os nutrientes, a luz e a água são limitantes, a atividade metabólica é reduzida, ocorrendo redução do potencial fotossintético da folha e aumento da sua vida útil, atrasando a senescência foliar, porém, a partir de um ponto limitante, quando os recursos são mais escassos, diminuindo a aquisição de carbono, a senescência é acelerada, isso ocorre na parte inferior da copa, onde estão localizadas as folhas mais baixas e mais velhas, e também aonde a incidência de luz é menor. Assim, quando a quantidade de água não é limitante ou quando está em excesso no solo, em decorrência do aumento da precipitação, como ocorre no período chuvoso, no verão, onde a temperatura e a radiação são altas, a atividade metabólica é aumentada, ocorrendo aumento do potencial fotossintético da folha e redução da sua vida útil, acelerando a senescência foliar, o que demonstra a influência da precipitação na deposição de folheto.

A relação entre a deposição de folheto e a precipitação foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39) para o período sem defasagem (Tabela 30) e positiva e moderada para os períodos de defasagem de 30 e 60 dias (Tabela 31 e 32), ou seja, quando a precipitação aumenta, aumenta-se a deposição de folheto, a única exceção foi a interação do clone CO1404 no 3 m x 2 m no período sem defasagem, onde não se verificou a existência de relação. Para esta relação, conforme aumentou-se o período de defasagem, a relação aumentou, sendo maior no período de defasagem de 60 dias.

Já Momentel (2016) estudando esta mesma relação sem defasagem e com defasagem de 30 e 60 dias, para os clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528 no arranjo de plantio 3 m x 2 m, dos 24 aos 42 meses de idade, de dezembro de 2013 a junho de 2015, encontrou somente relação com a precipitação para o período de defasagem de 60 dias. Porém, somente os clones CO1404, CO1407, AEC0224, AEC1528 apresentaram relação, sendo esta positiva e moderada e, positiva e forte para o CO1404.

Diferente do observado neste estudo, onde encontrou-se relação significativa para todos os clones em todos os períodos. Tal diferença pode ser consequência do tipo de solo, pois, embora os dois trabalhos tenham sido desenvolvidos em Itatinga-SP, na latitude 23°10' S e longitude 48°40' W, o presente estudo estava localizado em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico A moderado textura argilosa (LVdf) e o outro em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média (LVAd), o que demonstra a influência do tipo de solo nesta relação.

A relação entre a deposição de folheto e a temperatura média foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39) para os períodos sem defasagem e de defasagem de 30 e 60 dias (Tabela 30, 31 e 32), ou seja, quando a temperatura média aumentou, aumentou-se a deposição de folheto, com exceção para a interação do clone CO1407 no 3 m x 1 m no período de defasagem de 30 dias e para as interações dos clones CO1404 no 3 m x 1 m e do AEC0042 no 3 m x 1 m e no 3 m x 4 m, onde não se verificou a existência de relação. Quando se aumentou o período de defasagem, a relação diminuiu, sendo maior no período sem defasagem. Já Momentel (2016) não verificou relação da deposição de folheto com a temperatura média para nenhum dos períodos (sem defasagem e com defasagem de 30 e 60 dias), o que também pode ter sido em decorrência do diferente tipo de solo.

Já a relação entre a deposição de folheto e a umidade relativa do ar, no período sem defasagem (Tabela 30), somente foi verificada no geral e, no período de defasagem de 60 dias (Tabela 32), somente para o geral e para o arranjo de plantio 3 m x 1 m, nestes três casos a relação foi positiva e fraca (0,0 a 0,39). Porém para o período de defasagem de 30 dias (Tabela 31), verificou-se a existência de relação para o geral, para todos os arranjos de plantio, para todos os clones com exceção do AEC0144, e para todas as interações com exceção dos clones CO1407 nos três arranjos de plantio, do AEC1528 no 3 m x 2 m, do AEC0042 no 3 m x 1 m e no 3 m x 4 m e, do AEC0144 no 3 m x 4 m. Neste período de defasagem de 30 dias, a relação foi positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando a umidade relativa do ar aumentou, aumentou-se a deposição de folheto.

Já Momentel (2016) verificou relação com a umidade relativa do ar somente para os clones AEC0144 e AEC1528 no período de defasagem de 30 dias e para os clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528 para o período de defasagem de 60 dias, sendo esta relação, em todos os casos, positiva e moderada, diferente do observado neste trabalho, no qual foi positiva e fraca em todos os casos em que a relação foi significativa.

4.7. Avaliação da Atividade Cambial

Segundo Botosso e Tomazello Filho (2001), para se efetivar o estudo e a determinação, a médio e longo prazo, do ritmo e da taxa de crescimento das árvores, bem como da periodicidade da atividade cambial e da influência dos fatores climáticos, deve-se realizar a avaliação contínua dos incrementos em circunferência do tronco das árvores. Assim, nas Figuras de 45 a 56 é possível observar a influência da precipitação na atividade cambial.

Figura 45. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação.

Figura 46. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 47. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação.

Figura 48. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação no arranjo de plantio 3 m x 1 m.

Figura 51. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 52. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 53. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 54. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 56. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Na Figura 45 é apresentada a média geral do incremento corrente diamétrico do tronco (mm) das árvores de eucalipto em relação à precipitação (mm), durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. Observando esta figura verifica-se que o incremento acompanha a precipitação, ou seja, quando se aumenta a precipitação, aumenta-se o incremento e, quando sucede o período seco, ocorre redução e/ou cessação da atividade cambial. O mesmo foi observado por Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), em estudo desenvolvido na Floresta de Terra Firme na Amazônia, com as espécies *Cedrela odorata*, *Eperua bijuga* e *Calophyllum angulare*, em que se verificou que as variações nas taxas de crescimento em circunferência do tronco estão estreitamente relacionadas com a precipitação e a disponibilidade de água no solo durante a estação chuvosa e que ocorre redução e/ou cessação da atividade cambial durante o período de seca. Estes autores observaram que na fase de menor precipitação, a maioria das árvores reduziu e/ou paralisou o crescimento em circunferência do tronco em resposta as alterações da atividade cambial. Segundo estes autores, o crescimento é sensivelmente afetado pela estação chuvosa, mas conforme se aproxima o término dessa estação e o início do período de seca, o crescimento se torna cada vez mais reduzido, ocorrendo a retomada lenta e gradual do crescimento, no início e durante o período seco. Isto também ocorreu no presente estudo e pode ser observado na Figura 45, no período de março a agosto de 2018.

Ainda segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), o crescimento das árvores tende a acompanhar os ciclos climáticos que ocorrem ao longo do ano, se alternando em duas estações, a de crescimento, que ocorre nos períodos em que o ambiente está quente e há disponibilidade de luz e água, e a de dormência, que ocorre nos períodos muito frios ou quando não há água disponível no solo, cessando completamente o crescimento. O que explica os maiores incrementos observados na estação chuvosa, onde as temperaturas são mais altas e a maior disponibilidade de água e luz e, os menores incrementos na estação seca, onde as temperaturas são menores e a menor disponibilidade de água e luz.

Também se observa na Figura 45, que em alguns períodos, como em janeiro e início de fevereiro de 2017, onde tem-se uma alta precipitação e 15 dias depois tem-se um aumento na precipitação, o incremento decresce. Segundo Sette Junior et al. (2010), isto pode ser parcialmente atribuído ao elevado teor de umidade do solo que afeta a respiração e a translocação de nutrientes pelas raízes.

Observa-se, ainda na Figura 45, que o incremento é maior nos primeiros meses diminuindo conforme aumenta-se a idade do plantio. Isto ocorre, pois, as árvores, com o decorrer do tempo, passam por diferentes fases de desenvolvimento. No início desta Figura

tem-se a fase de estabelecimento, onde o incremento diamétrico segue o rápido crescimento em altura, após tem-se a fase de maturidade, onde o incremento diamétrico é maior e, no final, tem-se o início da fase de senescência, onde observa-se a redução do incremento. Sette Junior et al. (2012), também observaram esta tendência do crescimento em diâmetro do tronco, segundo eles, este crescimento diamétrico é comumente observado em plantações florestais, sendo caracterizado por altas taxas de incremento no período inicial e estabilização com o avanço da idade em resposta ao aumento da competição pelos fatores de crescimento, como luz, água e nutrientes.

Segundo Gonçalves et al. (2000), antes do fechamento de copas e após a plena adaptação das plantas no campo, ocorre uma fase de intenso crescimento primário, com altas taxas de absorção de nutrientes que se relacionam diretamente com a idade do plantio, nesta fase, não ocorre competição entre as árvores por fatores do meio, sendo o crescimento limitado pelas condições fisiológicas das plantas e, após o fechamento de copas, entre os 2º e 4º ano pós-plantio, as plantas passam a investir mais no crescimento secundário, ou seja, na formação do tronco e engrossamento das raízes.

Além de termos o efeito da precipitação e da idade no incremento, tem-se também o efeito do arranjo de plantio como pode ser observado na Figura 46, onde tem-se a média do incremento corrente do tronco (mm) das árvores de eucalipto em relação à precipitação (mm) nos três arranjos de plantio (3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m), durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. Nesta Figura, observa-se que conforme aumenta-se o arranjo de plantio, aumenta-se o incremento, pois diminui-se o número de árvores por área, consequentemente, diminui-se a competição entre as árvores pelos recursos do meio, favorecendo o crescimento.

Segundo Batista, Couto e Silva Filho (2014), as florestas plantadas, também, passam por mudanças temporais em decorrência da velocidade de crescimento e do grau de competição entre as árvores. Inicialmente as árvores cresceram muito rapidamente, sem influência da competição, e a velocidade de crescimento aumentará a cada ano, pois quanto maior o tamanho da árvore, maior a sua velocidade de crescimento, até que se inicie a competição entre as árvores, que se torna gradualmente mais intensa conforme as árvores crescem e se tornam maiores, reduzindo a velocidade de crescimento, que se tornará cada vez mais lenta. Quando a competição passar a ser muito intensa, o crescimento das árvores se tornará muito pequeno até a sua completa estagnação e, após passar um certo tempo da estagnação, ocorrerá a morte de várias árvores, liberando as sobreviventes para iniciar um novo período de crescimento mais intenso, até que a competição se estabeleça novamente.

Entretanto, esta escala temporal de ciclos de crescimento e competição dependerá da espécie arbórea, das condições ambientais e climáticas, e das condições silviculturas iniciais de implantação.

Também se tem o efeito do material genético, como pode ser observado na Figura 47, onde tem-se a média do incremento corrente do tronco (mm) das árvores de eucalipto em relação à precipitação (mm) para os diferentes clones (CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528), durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. Como observa-se nesta Figura existe uma ligeira diferença na resposta dos clones a precipitação, por exemplo, no período de julho a dezembro de 2016, onde o AEC0144 e o AEC0224 apresentaram os maiores incrementos e o CO1404 os menores, já os demais clones apresentaram um incremento intermediário entre estes.

Segundo Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), as diferenças nas taxas de crescimento em circunferência do tronco em resposta às variações climáticas, podem ainda ocorrer, entre árvores e espécies. Como exemplo, no caso de espécies, no estudo desenvolvido por estes autores na Floresta de Terra Firme na Amazônia, tem-se a *Cedrela odorata* que apresentou uma taxa de incremento em diâmetro do tronco reduzida e inexistente durante a fase mais crítica da seca, demonstrando uma redução da atividade cambial em virtude do estresse causado pelo déficit de água no solo. Outro exemplo, no caso de árvores, tem-se o *Calophyllum angulare*, em que se observou baixa taxa de incremento, porém sem interrupção do crescimento do tronco, em uma das 5 árvores desta espécie, tal fato é, segundo os autores, função do vigor e da capacidade de competição da árvore na floresta. Assim, a atividade cambial possui relação com a espécie, as condições climáticas, o vigor da árvore, incluindo sua idade e posição social no povoamento (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000) e com o material genético, como observado na Figura 47.

Já nas Figuras de 48 a 50 são apresentadas as médias do incremento corrente do tronco (mm) dos clones de eucalipto em relação à precipitação (mm) por arranjo de plantio, durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. Observando essas figuras, verifica-se que existe um comportamento semelhante entre os clones nos diferentes arranjos de plantio, onde existe uma tendência de que quanto maior for o espaçamento de plantio, maior o incremento. Assim, os menores incrementos são encontrados no arranjo de plantio 3 m x 1 m e os maiores no arranjo de plantio 3 m x 4 m.

Segundo Balloni e Simões (1980), o DAP das árvores é uma característica passível de alteração pelo espaçamento de plantio e quando se aumenta o espaçamento de plantio entre árvores, aumenta-se o DAP. Ainda, segundo Leite et al. (1997), os plantios em densidades

menores respondem mais em crescimento, ao aumento de água disponível no solo, que os plantios mais adensados.

Ainda nas Figuras de 48 a 50, é possível observar que quando a precipitação é baixa ou mesmo ausente, como no final de um período chuvoso e início de um período seco, o incremento diminui, chegando a ser nulo ou negativo, como entre agosto e setembro de 2017. E os máximos valores de incremento do tronco ocorrem imediatamente após as primeiras e baixas chuvas, no final do período seco e início do período chuvoso, como entre julho e setembro de 2016.

Segundo Détienne et al. (1988), Bhattacharyya et al. (1992) e Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), esta redução das taxas de crescimento durante o final do período chuvoso e início do período seco parece estar associada à saturação de água no solo, pois a saturação de água no solo pode ocasionar a asfixia temporária e inibição do crescimento do sistema radicular. Em geral, segundo Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), os picos de máximo e mínimo de incremento do tronco das curvas de crescimento ocorrem no final do período seco e início do chuvoso, e no final do período chuvoso e início do seco, respectivamente.

Segundo Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), Prévost e Puig (1981) e Détienne et al (1988), que também observaram que os máximos valores de incremento do tronco ocorrem imediatamente após as primeiras e baixas precipitações que antecedem a estação chuvosa, é neste período que os tecidos recém-formados recuperam sua turgidez e o câmbio retoma sua atividade.

Para Sette Junior et al. (2010) e Sette Junior et al. (2012), os períodos de máximo crescimento diamétrico das árvores pode ser relacionado aos altos níveis de precipitação e temperatura, aos baixos níveis de déficit de pressão de vapor, ao estágio fenológico das árvores (copa formada com folhas maduras com limbo expandido), à disponibilidade de água no solo e de horas de luz/dia, com o aumento da taxa de fotossíntese. Segundo eles, nestes períodos, os hormônios e carboidratos ao deslocarem-se no sentido descendente do tronco pelo floema induziram maior taxa de divisão das células da camada cambial, consequentemente, aumentando o crescimento do diâmetro do tronco das árvores.

Ainda, Stape et al. (2010) estudando a produtividade potencial do eucalipto em diferentes sítios experimentais por todo o Brasil, com relação a influência da água, dos nutrientes e da uniformidade do povoamento na produção de madeira, obteve que a resposta a irrigação foi muito maior que a fertilização, além de a resposta a irrigação ser forte tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. Entretanto, a taxa de crescimento foi menor durante o

período seco mesmo com a irrigação, tal fato se deve, segundo os autores, provavelmente a menor entrada de luz solar. O mesmo foi observado nos tratamentos não irrigados durante a estação seca, onde os efeitos combinados da menor entrada de luz e do maior estresse hídrico levaram a diminuição da taxa de crescimento. Portanto, para os autores, a água é um fator crítico para a produtividade dos povoamentos de eucalipto. Isto também reforça o efeito de outras variáveis climáticas no incremento diamétrico do tronco.

No arranjo de plantio 3 m x 1 m (Figura 48), o incremento variou entre -0,11 a 1,55 mm, verifica-se um crescimento maior quando ocorre ausência ou baixas precipitações seguida de uma alta precipitação, como em setembro de 2014 para início de outubro de 2014; também observa-se uma diminuição do incremento conforme aumenta-se a idade do povoamento, com maiores incrementos nos primeiros anos (2014 a 2016), tal fato se deve ao aumento da competição pelos recursos em decorrência da menor unidade de área por árvore e das diferentes fases de desenvolvimento que se encontram as árvores. O clone AEC1528 apresentou maiores incrementos que os demais clones até julho de 2016, já o clone CO1404 apresentou os menores incrementos até maio de 2016, entretanto a partir de fevereiro de 2018 passou a ter os maiores incrementos. Nos anos de 2014 a 2016, observa-se uma diferença maior nos incrementos entre os clones, sendo menor a partir de 2017. Neste arranjo de plantio, os maiores incrementos observados foram obtidos pelos clones CO1407 e AEC1528, entre a transição de abril para maio de 2015, com 1,38 e 1,55 mm, respectivamente. Já o menor incremento obtido foi de -0,11 mm, apresentado pelo clone CO1404 em fevereiro de 2017.

Segundo Botosso e Tomazello Filho (2001), em diversas pesquisas realizadas em florestas tropicais no continente africano, verificou-se que o crescimento em diâmetro das árvores analisadas dependia diretamente da disponibilidade de água no período de chuvas e que ocorria durante a estação seca uma redução da atividade cambial com a formação de anéis de crescimento no lenho.

No arranjo de plantio 3 m x 2 m (Figura 49), o incremento variou entre -0,14 a 2,24 mm, observa-se uma diminuição no incremento conforme aumenta-se a idade do povoamento, os maiores incrementos ocorreram entre 2014 e 2016, também se verifica um crescimento maior quando ocorre ausência ou baixas precipitações seguida de uma alta precipitação, como em setembro de 2014 para início de outubro de 2014. Os maiores incrementos foram obtidos pelos clones AEC0042 em novembro de 2014 (1,73 mm), CO1407 (1,86 mm) e AEC1528 (2,24 mm) na transição de abril para maio em 2015 e AEC0224 (1,91 mm) na transição de junho para agosto em 2016. Já os menores valores foram obtidos pelos clones CO1404 na

transição de agosto para setembro em 2017 (-0,14 mm) e CO1407 em outubro de 2017 (-0,14 mm). Entre agosto e setembro de 2017, devido à ausência de chuvas, todos os clones apresentaram incremento nulo ou negativo, estes valores negativos podem ser consequência da perda de água pela casca do tronco das árvores, que estavam intumescidas pela absorção de água durante as chuvas anteriores.

No arranjo de plantio 3 m x 4 m (Figura 50), o incremento variou de -0,21 a 2,98 mm, com os maiores incrementos até final de 2016, com tendência de diminuição conforme aumenta-se a idade do povoamento. Verifica-se também uma maior variação no incremento conforme aumenta-se ou diminui-se as precipitações, como entre fevereiro e março de 2015, onde é possível observar uma queda brusca seguida de um pico de aumento no incremento, isto demonstra o que ocorre com o incremento quando se tem um período seco seguido de um período de chuvas, tal fato é consequência da absorção de água pela casca e tecidos do tronco que tinham perdido água durante o período seco. Os maiores incrementos foram obtidos pelos clones CO1407 (2,88 mm) e AEC1528 (2,98 mm) na transição de abril para maio em 2015, tal fato ocorre em decorrência da maior disponibilidade de água no solo em consequência das precipitações ocorridas entre março e maio. Já os menores valores foram obtidos pelos clones CO1407 (-0,21 mm) e AEC0144 (-0,20 mm) na transição de agosto para setembro em 2017 e CO1407 em junho de 2018 (-0,19 mm). Observa-se que na transição entre agosto e setembro de 2017 todos os clones apresentaram redução no diâmetro em consequência da ausência de chuvas depois de um período com altas precipitações (maio a agosto), assim como o apresentado no arranjo de plantio 3 m x 2 m neste mesmo período por todos os clones, porém o arranjo de plantio 3 m x 1 m não apresentou tal ocorrência, tal fato pode ter sucedido em decorrência da maior competição entre as árvores que já vem ocorrendo a mais tempo neste arranjo de plantio em comparação com os outros, assim, as árvores deste arranjo de plantio já apresentam uma maior aclimatização ao estresse hídrico, sentindo menos a falta de água, apresentando o incremento próximo de nulo.

Em geral, segundo Gonçalves et al. (2017), a planta possui mecanismos e processos que permitem ela lidar com um déficit hídrico periódico e severo no solo, estes envolvem uma compensação por parte da planta em relação ao potencial de crescimento, que é reduzido, assim, as plantas utilizam parte dos nutrientes absorvidos e fotoassimilados produzidos para possibilitar a sua sobrevivência a este período de déficit hídrico, que culmina na diminuição ou estagnação da taxa de crescimento.

Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000), também verificaram durante a estação seca, uma contração do tronco das árvores da espécie *Cedrela odorata* que resultou na

redução de seu diâmetro. Assim como os observados na transição entre agosto e setembro de 2017 para todos os clones de eucalipto no arranjo de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m (Figura 49 e 50). Segundo Détienne et al. (1988), tal fato ocorre porque as árvores utilizam a reserva de água de seus tecidos recém-formados para manterem suas funções fisiológicas em níveis mínimos durante a estação de seca, o que resulta na contração do diâmetro do tronco. Já segundo Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000) e Pévost e Puig (1981), o que ocorre é que o incremento do tronco avaliado ou medido pelos dendrômetros no campo compreende o incremento real do tronco mais o intumescimento da casca pela embebição de água, tal intumescimento é reversível e, durante a estação seca, esta água que causa a dilatação da casca ou do tronco é utilizada pela árvore ou evaporada, o que provoca uma retração do diâmetro do tronco que corresponde à paralisação do crescimento em algumas espécies.

Esta retração também pode ser consequência das temperaturas mais baixas apresentadas neste período, como o observado no estudo desenvolvido por Botosso e Tomazello Filho (2001) em quatro áreas de mata mesófila semidecídua da região Sudeste do estado de São Paulo com 148 árvores de 22 espécies, onde verificou-se, nas avaliações iniciais do crescimento em circunferência, a tendência de redução do incremento para 6 espécies, geralmente a partir de março-abril, em decorrência da diminuição e/ou cessação da atividade cambial em virtude da diminuição da taxa de precipitação, com o início do déficit hídrico (estação seca), e das temperaturas mais baixas dos meses que antecedem o início do inverno.

Ainda, segundo Sette Junior et al. (2012), essa retomada do crescimento do tronco dentro do período de déficit hídrico, caracterizado pela baixa precipitação e redução da temperatura, que pode ser observado em setembro de 2017 na Figura 50, é resultado da disponibilidade de água armazenada e disponível nas camadas mais profundas do solo decorrente do período chuvoso, neste caso entre final de março e início de agosto de 2017.

Nas Figuras de 51 a 56 são apresentadas as médias do incremento corrente do tronco (mm) em relação a precipitação por clone de eucalipto, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. Independente do clone, observa-se um comportamento semelhante, onde os maiores incrementos ocorrem no maior arranjo de plantio (3 m x 4 m) e os menores no menor arranjo de plantio (3 m x 1 m), pois conforme diminui-se o arranjo de plantio, aumenta-se a competição pelos recursos como água e luz, em decorrência da menor unidade de área por árvore. Entretanto quando ocorrem períodos com ausência de chuvas, os menores incrementos tendem a ser apresentados nos maiores arranjos, principalmente se ocorre um período curto de ausência de chuva em meio à

um período chuvoso, como entre julho e setembro de 2017 (Figuras de 51 a 56), o que acontece é que nos espaçamentos de plantio menos adensados, como os recursos, como a água por exemplo, não estão sendo limitantes, as árvores crescem mais e para isto consomem mais água, assim, se ocorre um estresse hídrico em meio a esta fase de rápido crescimento, as árvores demoram mais tempo para se aclimatizar, sentindo mais a falta de água, o que leva a queda repentina no crescimento.

Na Figura 57 é apresentado a média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação nos diferentes arranjos de plantio, durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019, onde pode-se observar a diferença de aumento em diâmetro entre os diferentes arranjos de plantio, pois nos arranjos de plantio menos adensados tem-se um maior incremento desde junho de 2014, quando iniciou-se as medições, até a idade de corte do plantio, em janeiro de 2019. O inverso é observado conforme diminui-se o arranjo de plantio, isto ocorre em decorrência da maior competição pelos recursos nos arranjos de plantio mais adensados.

Figura 57. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à precipitação nos diferentes arranjos de plantio.

Já na Figura 58, onde tem-se a média do incremento acumulado do tronco dos clones de eucalipto em relação à precipitação, durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019, observa-se que os maiores incrementos foram apresentados pelo clone AEC1528, seguido do AEC0224 e os menores pelo clone CO1404. Já os clones AEC0042, AEC0144 e CO1407 apresentaram incrementos semelhantes ao longo do ciclo.

Figura 58. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à precipitação.

Na Figura 59 é apresentada a média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação a precipitação por clone nos diferentes arranjos de plantio, durante os meses de junho de 2014 a janeiro de 2019. É possível observar que o CO1404 no 3 m x 1 m foi o que apresentou menor incremento acumulado; mas se comportou de forma semelhante ao AEC0042 no 3 m x 1 m; seguido do CO1407 no 3 m x 1 m que foi semelhante ao AEC0144 no 3 m x 1; seguido do AEC0224 no 3 m x 1 m; logo após vem o AEC1528 no 3 m x 1 m que apresentou comportamento muito próximo do CO1407 no 3 m x 2 m, sendo até mesmo superior ao CO1404 no 3 m x 2 m em alguns períodos como entre junho de 2015 a dezembro de 2017; seguido destes vem o AEC0144 no 3 m x 2 m; depois o AEC0224 no 3 m x 2 m que teve um comportamento muito semelhante ao AEC0042 no 3 m x 2 m e muito próximo do AEC1528 no 3 m x 2 m; em seguida vem o AEC0144 no 3 m x 4 m que teve um comportamento muito semelhante ao CO1404 no 3 m x 4 m e este, por sua vez, próximo do AEC0042 no 3 m x 4 m; em seguida tem-se os maiores incrementos acumulados, em ordem crescente, AEC1528 no 3 m x 4 m que teve comportamento muito próximo do AEC0224 no 3 m x 4 m e este muito próximo do CO1407 no 3 m x 4 m.

Assim, no arranjo de plantio 3 m x 1 m, o que teve o maior incremento foi o AEC1528 e o menor foi o CO1404; no 3 m x 2 m, o maior foi o AEC1528 e o menor CO1404; e no 3 m x 4 m, o maior foi o CO1407 e o menor foi o AEC0144. O clone CO1404 foi o que ficou sempre entre os três menores incrementos acumulados nos três arranjos de plantio, assim, foi o que apresentou pior desempenho, já os clones AEC1528 e AEC0224 foram os que ficaram sempre entre os três maiores incrementos acumulados nos três arranjos de plantio, portanto, foram os que apresentaram melhor desempenho.

Figura 59. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação a precipitação nos diferentes arranjos de plantio.

As árvores de eucalipto respondem em crescimento em diâmetro do tronco após um período de tempo da ocorrência das variáveis climáticas, por exemplo, da precipitação. Esse período de resposta fisiológica do incremento em diâmetro do tronco das árvores à ocorrência das variáveis climáticas é conhecido como defasagem (lag) (SETTE JUNIOR et al., 2012; SETTE JUNIOR et al., 2010). Assim, nas Tabelas 33, 34, 35 e 36, tem-se a relação existente entre o incremento em diâmetro do tronco e a precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar considerando os períodos sem defasagem e com defasagem de 15, 28 e 45 dias.

Tabela 33. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período sem defasagem. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,12*	0,08**	0,09***
CO1404 3 m x 2 m	0,15***	0,06*	0,11***
CO1404 3 m x 4 m	0,14**	0,04 ^{ns}	0,06*
CO1407 3 m x 1 m	0,09**	0,07*	0,07**
CO1407 3 m x 2 m	0,06*	-0,0004 ^{ns}	0,06*
CO1407 3 m x 4 m	0,12*	0,09**	0,08**
AEC1528 3 m x 1 m	0,08**	0,10***	0,02 ^{ns}
AEC1528 3 m x 2 m	0,12**	0,14***	0,03 ^{ns}
AEC1528 3 m x 4 m	0,16***	0,18***	0,05 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,06*
AEC0042 3 m x 2 m	0,16***	0,01 ^{ns}	0,07*
AEC0042 3 m x 4 m	0,14***	0,003 ^{ns}	0,03 ^{ns}
AEC0224 3 m x 1 m	0,07**	0,04 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
AEC0224 3 m x 2 m	0,17***	0,004 ^{ns}	0,06*
AEC0224 3 m x 4 m	0,12***	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}
AEC0144 3 m x 1 m	0,15***	0,08**	0,03 ^{ns}
AEC0144 3 m x 2 m	0,15***	0,05 ^{ns}	0,06*
AEC0144 3 m x 4 m	0,11 ^{ns}	0,07**	-0,004 ^{ns}
Clone	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404	0,12***	0,05**	0,07**
CO1407	0,08***	0,05***	0,06***
AEC1528	0,12***	0,14***	0,03 ^{ns}
AEC0042	0,13***	0,02 ^{ns}	0,04**
AEC0224	0,12***	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}
AEC0144	0,12***	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Arranjo de plantio	ID/P	ID/T	ID/UR
3 m x 1 m	0,10***	0,07***	0,04***
3 m x 2 m	0,13***	0,04***	0,06***
3 m x 4 m	0,13***	0,07***	0,04***
Geral	ID/P	ID/T	ID/UR
	0,11***	0,06***	0,04***

*Legenda: ID = incremento diamétrico; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Tabela 34. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 15 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404 3 m x 1 m	-0,03 ^{ns}	0,12 [*]	-0,14 ^{***}
CO1404 3 m x 2 m	-0,02 ^{ns}	0,10 ^{***}	-0,13 ^{**}
CO1404 3 m x 4 m	-0,0004 ^{ns}	0,08 ^{**}	-0,15 ^{***}
CO1407 3 m x 1 m	-0,04 ^{ns}	0,09 ^{***}	-0,14 ^{***}
CO1407 3 m x 2 m	-0,10 ^{***}	0,04 ^{ns}	-0,20 ^{***}
CO1407 3 m x 4 m	-0,04 ^{ns}	0,13 ^{**}	-0,18 ^{***}
AEC1528 3 m x 1 m	-0,03 ^{ns}	0,11 ^{***}	-0,16 ^{***}
AEC1528 3 m x 2 m	-0,05 ^{ns}	0,17 ^{***}	-0,23 ^{***}
AEC1528 3 m x 4 m	0,004 ^{ns}	0,22 ^{***}	-0,18 ^{***}
AEC0042 3 m x 1 m	-0,08 ^{**}	0,04 ^{ns}	-0,20 ^{***}
AEC0042 3 m x 2 m	-0,13 ^{**}	0,05 ^{ns}	-0,28 ^{***}
AEC0042 3 m x 4 m	-0,13 ^{***}	0,03 ^{ns}	-0,28 ^{***}
AEC0224 3 m x 1 m	-0,07 ^{**}	0,05 ^{ns}	-0,21 ^{***}
AEC0224 3 m x 2 m	-0,06 [*]	0,03 ^{ns}	-0,20 ^{***}
AEC0224 3 m x 4 m	-0,10 ^{***}	0,04 ^{ns}	-0,23 ^{***}
AEC0144 3 m x 1 m	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{**}	-0,18 ^{***}
AEC0144 3 m x 2 m	-0,02 ^{ns}	0,07 [*]	-0,17 ^{***}
AEC0144 3 m x 4 m	-0,07 ^{**}	0,09 ^{**}	-0,23 ^{***}
Clone	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404	-0,01 ^{ns}	0,09 ^{***}	-0,13 ^{***}
CO1407	-0,06 ^{***}	0,09 ^{***}	-0,16 ^{***}
AEC1528	-0,02 ^{ns}	0,16 ^{***}	-0,18 ^{***}
AEC0042	-0,11 ^{***}	0,04 ^{**}	-0,24 ^{***}
AEC0224	-0,07 ^{***}	0,03 [*]	-0,20 ^{***}
AEC0144	-0,04 ^{**}	0,08 ^{***}	-0,19 ^{***}
Arranjo de plantio	ID/P	ID/T	ID/UR
3 m x 1 m	-0,05 [*]	0,08 ^{***}	-0,17 ^{***}
3 m x 2 m	-0,06 ^{***}	0,08 ^{***}	-0,20 ^{***}
3 m x 4 m	-0,06 ^{**}	0,10 ^{***}	-0,21 ^{***}
Geral	ID/P	ID/T	ID/UR
	-0,05 ^{***}	0,08 ^{***}	-0,18 ^{***}

*Legenda: ID = incremento diamétrico; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Tabela 35. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 28 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,10***	0,13***	-0,07*
CO1404 3 m x 2 m	0,14***	0,13**	-0,04 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	0,17***	0,11 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
CO1407 3 m x 1 m	0,02 ^{ns}	0,10***	-0,11***
CO1407 3 m x 2 m	0,07*	0,05*	-0,10***
CO1407 3 m x 4 m	0,12*	0,15***	-0,10***
AEC1528 3 m x 1 m	0,09**	0,11***	-0,10***
AEC1528 3 m x 2 m	0,13**	0,18***	-0,12*
AEC1528 3 m x 4 m	0,18***	0,23***	-0,07*
AEC0042 3 m x 1 m	0,001 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,13***
AEC0042 3 m x 2 m	0,07**	0,07*	-0,15***
AEC0042 3 m x 4 m	0,11***	0,05 ^{ns}	-0,15***
AEC0224 3 m x 1 m	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,15***
AEC0224 3 m x 2 m	0,13**	0,06*	-0,11*
AEC0224 3 m x 4 m	0,10***	0,05 ^{ns}	-0,11***
AEC0144 3 m x 1 m	0,09**	0,10***	-0,10***
AEC0144 3 m x 2 m	0,13**	0,09**	-0,10***
AEC0144 3 m x 4 m	0,18***	0,11***	-0,12**
Clone	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404	0,12***	0,11***	-0,04**
CO1407	0,07 ^{ns}	0,10***	-0,10***
AEC1528	0,13***	0,17***	-0,09***
AEC0042	0,06***	0,05***	-0,13***
AEC0224	0,08***	0,05**	-0,12***
AEC0144	0,13***	0,10***	-0,11***
Arranjo de plantio	ID/P	ID/T	ID/UR
3 m x 1 m	0,05*	0,09***	-0,11***
3 m x 2 m	0,11***	0,10***	-0,10***
3 m x 4 m	0,14***	0,12***	-0,10***
Geral	ID/P	ID/T	ID/UR
	0,10***	0,10***	-0,10***

*Legenda: ID = incremento diamétrico; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

Tabela 36. Correlação de Pearson do incremento em diâmetro do tronco com cada variável climática em relação aos clones, aos arranjos de plantio, o geral e aos clones nos diferentes arranjos de plantio para o período de defasagem de 45 dias. Os números indicam o coeficiente de correlação de Pearson (R) e “ns” não significativa, “*” $p < 0,05$, “**” $p < 0,01$ e “***” $p < 0,001$.

Interação	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404 3 m x 1 m	0,09***	0,13***	-0,06*
CO1404 3 m x 2 m	0,12*	0,14***	-0,03 ^{ns}
CO1404 3 m x 4 m	0,16***	0,13**	-0,06*
CO1407 3 m x 1 m	0,02 ^{ns}	0,10***	-0,06*
CO1407 3 m x 2 m	0,07**	0,07**	-0,06*
CO1407 3 m x 4 m	0,13*	0,16***	-0,07*
AEC1528 3 m x 1 m	0,06*	0,12*	-0,09***
AEC1528 3 m x 2 m	0,12*	0,19***	-0,06*
AEC1528 3 m x 4 m	0,19***	0,25***	-0,04 ^{ns}
AEC0042 3 m x 1 m	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,14***
AEC0042 3 m x 2 m	0,10***	0,07**	-0,11***
AEC0042 3 m x 4 m	0,14**	0,07*	-0,10***
AEC0224 3 m x 1 m	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,13**
AEC0224 3 m x 2 m	0,14***	0,10***	-0,12*
AEC0224 3 m x 4 m	0,12*	0,07*	-0,09**
AEC0144 3 m x 1 m	0,10***	0,09***	-0,10***
AEC0144 3 m x 2 m	0,15***	0,11 ^{ns}	-0,10***
AEC0144 3 m x 4 m	0,19***	0,14**	-0,09***
Clone	ID/P	ID/T	ID/UR
CO1404	0,12***	0,12***	-0,05**
CO1407	0,07*	0,11***	-0,06***
AEC1528	0,12***	0,19***	-0,06***
AEC0042	0,09***	0,05***	-0,10***
AEC0224	0,09***	0,07*	-0,10***
AEC0144	0,14***	0,11***	-0,09***
Arranjo de plantio	ID/P	ID/T	ID/UR
3 m x 1 m	0,05*	0,08***	-0,10***
3 m x 2 m	0,12***	0,11***	-0,08***
3 m x 4 m	0,16***	0,14***	-0,07***
Geral	ID/P	ID/T	ID/UR
	0,11***	0,11***	-0,08***

*Legenda: ID = incremento diamétrico; P = precipitação; T = temperatura média; UR = umidade relativa do ar.

A relação entre o incremento diamétrico e a precipitação foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39) para o período sem defasagem (Tabela 33) e para os períodos de defasagem de 28 e 45 dias (Tabela 35 e 36), ou seja, quando a precipitação aumenta, aumenta-se o incremento diamétrico, com exceção para as interações dos clones AEC0042 no 3 m x 1 m e AEC0144 no 3 m x 4 m no período sem defasagem, para o clone CO1407 e para as interações dos clones

CO1407, AEC0042 e AEC0224 no 3 m x 1 m no período de defasagem de 28 dias e, para as interações dos clones CO1407, AEC0042 e AEC0224 no 3 m x 1 m no período de defasagem de 45 dias, onde não se verificou a existência de relação, porém mesmo nestes casos a relação se mostrou positiva. Os valores de correlação se mostraram semelhantes nas Tabelas 33, 35 e 36, não sendo possível verificar em qual período a relação se mostrou mais forte.

Na Tabela 34 a relação entre o incremento diamétrico e a precipitação foi, no geral, negativa e fraca (0,0 a 0,39) para o período de defasagem de 15 dias, ou seja, quando a precipitação aumenta, diminui-se o incremento diamétrico, com exceção para os clones CO1404 e AEC1528 e para as interações dos clones CO1404 nos três arranjos de plantio, CO1407 no 3 m x 1 m e no 3 m x 4 m, AEC1528 nos três arranjos de plantio e AEC0144 no 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, onde não se verificou a existência de relação, porém mesmo nestas, no geral, a relação foi negativa.

Já Flores (2016) estudando esta mesma relação com defasagem de 15 e 45 dias, para os clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528 nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, dos 29 aos 38 meses de idade, de junho de 2014 a março de 2015, em dois tipos de solos (Latosolo vermelho distrófico típico A moderado textura argilosa – LVd-1 e Latossolo vermelho distroférico típico A moderado textura argilosa – LVdf) localizados em Itatinga-SP, na latitude 23°10' S e longitude 48°40' W, encontrou relação positiva e moderada entre o incremento diamétrico e a precipitação para os períodos de defasagem de 15 e 45 dias para o solo LVd-1, com exceção do AEC1528 nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m em que a relação foi positiva e forte. E para o solo LVdf, o mesmo tipo de solo do presente estudo, a relação também foi positiva e moderada para os períodos de defasagem de 15 e 45 dias, com exceção para os clones AEC0042 e AEC0224, e as interações do clone CO1407 no 3 m x 2 m e dos clones AEC0042 e AEC0224 nos três arranjos de plantio, onde não se verificou a existência de relação entre as variáveis. Diferente do observado neste estudo, onde encontrou-se relação negativa e fraca para o período com defasagem de 15 dias e positiva e fraca para o período de defasagem de 45 dias para o mesmo tipo de solo.

Para Momentel (2016) estudando esta mesma relação sem defasagem e com defasagem de 14, 29 e 50 dias, para os clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528 no arranjo de plantio 3 m x 2 m, dos 24 aos 42 meses de idade, de dezembro de 2013 a junho de 2015, em experimento localizado em Itatinga-SP, na latitude 23°10' S e longitude 48°40' W, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura média (LVAd), encontrou somente relação do incremento diamétrico com a

precipitação para o período sem defasagem, sendo esta relação positiva e moderada. Momentel (2016), também estudou esta relação, com período sem defasagem e com defasagem de 14, 28 e 43 dias, para estes clones em omissão de potássio (P0) e adubados com potássio (P140), e observou que somente ocorreu relação com a precipitação para P0 e P140 no período sem defasagem, sendo esta positiva e moderada. Diferente do observado neste estudo, onde encontrou-se relação fraca e positiva para os períodos sem defasagem e com defasagem de 28 e 45 dias e relação fraca e negativa para o período com defasagem de 15 dias.

A relação entre o incremento diamétrico e a temperatura média foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39) para os períodos sem defasagem e de defasagem de 15, 28 e 45 dias (Tabela 33, 34, 35 e 36), ou seja, quando a temperatura média aumentou, aumentou-se o incremento diamétrico, com exceção para os clones AEC0042, AEC0224 e AEC0144 e para as interações dos clones CO1404 no 3 m x 4 m, CO1407 no 3 m x 2 m, AEC0042 e AEC0224 nos três arranjos de plantio e AEC0144 no 3 m x 2 m, no período sem defasagem; para as interações dos clones CO1407 no 3 m x 2 m, AEC0042 e AEC0224 nos três arranjos de plantio, no período de defasagem de 15 dias; para as interações dos clones CO1404 no 3 m x 4 m, AEC0042 e AEC0224 nos arranjos de plantio 3 m x 1 m e 3 m x 2 m, no período de defasagem de 28 dias; e para as interações dos clones AEC0042 e AEC0224 no arranjo de plantio 3 m x 1 m e AEC0144 no 3 m x 2 m, no período de defasagem de 45 dias; em todos estes casos não se verificou a existência de relação, porém mesmo nestes, no geral, a relação foi positiva. Quando se aumentou o período de defasagem, a relação aumentou, sendo maior no período de defasagem de 45 dias.

Já Flores (2016), não verificou relação do incremento diamétrico com a temperatura média para o período de defasagem de 15 dias para os dois tipos de solo, com exceção para a interação do AEC1528 no 3 m x 2 m, onde a relação foi positiva e moderada. Entretanto, observou relação positiva e moderada entre as variáveis para o período de defasagem de 45 dias para os dois tipos de solos, com exceção dos clones AEC0042 e AEC0224 no solo LVdf e para as interações do clone CO1407 no 3 m x 2 m e dos clones AEC0042 e AEC0224 nos três arranjos de plantio para o solo LVdf, onde não se verificou relação entre as variáveis. Diferente do observado neste estudo, em que se verificou relação positiva e fraca entre estas duas variáveis para os períodos de defasagem de 15 e 45 dias.

Para Momentel (2016), não foi verificado relação entre o incremento e a temperatura média para os períodos sem defasagem e com defasagem de 14 e 29 dias, somente para o período de defasagem de 50 dias, sendo esta relação positiva e fraca, para os clones CO1404,

CO1407, AEC0042, AEC0224 e AEC0144, porém, neste período, o clone AEC1528 não apresentou relação com a temperatura média. Momentel (2016), também verificou relação com a temperatura média para os dois tratamentos, com omissão de potássio e adubado com potássio, para o período de defasagem de 43 dias e esta se mostrou fraca e positiva, não verificando relação nos períodos sem defasagem e com defasagem de 14 e 28 dias. Diferente do verificado no presente estudo onde a relação com a temperatura média se mostrou positiva e fraca para os períodos sem defasagem e com defasagem de 15, 28 e 45 dias.

A relação entre o incremento diamétrico e a umidade relativa do ar, no período sem defasagem (Tabela 33) foi, no geral, positiva e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando a umidade relativa do ar aumentou, aumentou-se o incremento diamétrico, com exceção para os clones AEC1528, AEC0224 e AEC0144 e para as interações dos clones AEC1528 nos três arranjos de plantio, AEC0042 no 3 m x 4 m, AEC0224 e AEC0144 no 3 m x 1 m e no 3 m x 4 m, onde não se verificou a existência de relação, porém mesmo nestes, no geral, a relação foi positiva.

Entretanto, para os períodos de defasagem de 15, 28 e 45 dias (Tabela 34, 35 e 36), a relação entre o incremento diamétrico e a umidade relativa do ar foi negativa e fraca (0,0 a 0,39), ou seja, quando a umidade relativa do ar aumentou, diminuiu-se o incremento, com exceção para as interações do clone CO1404 nos arranjos de plantio 3 m x 2 m e 3 m x 4 m, no período de defasagem de 28 dias; e para as interações dos clones CO1404 no 3 m x 2 m e AEC1528 no 3 m x 4 m, no período de defasagem de 45 dias; em todos estes casos não se verificou a existência de relação, porém mesmo nestes a relação foi negativa. Quando se aumentou o período de defasagem, a relação diminuiu, sendo maior no período de defasagem de 15 dias.

Já Flores (2016), não verificou relação do incremento diamétrico com a umidade relativa do ar para o período de defasagem de 45 dias para os dois tipos de solo. Entretanto, observou relação positiva e moderada entre as variáveis para o período de defasagem de 15 dias para os dois tipos de solos, com exceção do arranjo de plantio 3 m x 1 m nos dois tipos de solo, dos clones AEC0042 e AEC0224 no LVdf e das interações dos clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0224 e AEC0144 no arranjo de plantio 3 m x 1 m e dos clones AEC0042 e AEC0224 no arranjo de plantio 3 m x 4 m no solo LVdf, e das interações dos clones CO1404, CO1407, AEC1528, AEC0042 e AEC0224 no arranjo de plantio 3 m x 1 m e dos clones CO1404 e AEC1528 no arranjo de plantio 3 m x 2 m, onde não se verificou relação entre as variáveis. Tais resultados se mostram diferente do observado neste estudo, em que se verificou relação negativa e fraca entre estas duas variáveis para os períodos de defasagem de 15 e 45 dias.

Para Momentel (2016), não foi verificado relação entre o incremento e a umidade relativa do ar para os períodos com defasagem de 14, 29 e 50 dias, somente para o período sem defasagem, sendo esta relação positiva e moderada, para os clones CO1404, CO1407, AEC0042, AEC0144, AEC0224 e AEC1528. Momentel (2016), também verificou relação com a umidade relativa do ar para os dois tratamentos, com omissão de potássio e adubado com potássio, para o período sem defasagem e esta se mostrou positiva e moderada para os clones com adubação potássica e positiva e fraca para os clones com omissão de potássio, não verificando relação nos períodos com defasagem de 14, 28 e 43 dias. Diferente do verificado no presente estudo onde a relação com a umidade relativa do ar se mostrou positiva e fraca para o período sem defasagem e negativa e fraca para os períodos com defasagem de 15, 28 e 45 dias.

Já Sette Junior et al. (2012), em estudo desenvolvido em Itatinga-SP, na latitude 23°10' S e longitude 48°40' W, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média, com árvores de *Eucalyptus grandis* plantadas em arranjo de plantio 3 m x 2 m, verificaram o efeito da sazonalidade climática no incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, dos 21 aos 45 meses de idade, induzindo períodos de máximo e de mínimo crescimento, sendo observado um período de defasagem (lag) de 28 dias para a resposta em incremento diamétrico das árvores às variáveis climáticas (precipitação e temperatura média). Estas variáveis climáticas apresentaram significativa influência na sazonalidade da atividade cambial após este período de defasagem, o que foi verificado pelo aumento do coeficiente de correlação, que passou de 0,33 (sem defasagem) para 0,61 e de 0,12 (sem defasagem) para 0,59, respectivamente, para a precipitação e para a temperatura média, após o período de defasagem de 28 dias.

Em outro estudo desenvolvido por Sette Junior et al. (2010), em Itatinga-SP, na latitude 23°10' S e longitude 48°40' W, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média, com árvores de *Eucalyptus grandis* plantadas em arranjo de plantio 3 m x 2 m, verificaram também a influência das variáveis climáticas nas taxas de crescimento em diâmetro do tronco, dos 21 aos 45 meses de idade, e obtiveram aumento do coeficiente de correlação para todas as variáveis climáticas após o período de defasagem de 28 dias, com a precipitação e a temperatura média passando de 0,10 (sem defasagem) para 0,51 e de 0,23 (sem defasagem) para 0,48, respectivamente.

Castro (2014), também verificou efeito da sazonalidade climática na atividade cambial e incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* em arranjo de plantio 3 m x 2 m, localizado em Itatinga-SP, na latitude 23°02' S e longitude 48°38' W, em Latossolo

Vermelho-Amarelo distrófico textura média, dos 18 aos 43 meses de idade, e a influência da defasagem no crescimento, obtendo coeficiente de correlação maior para a precipitação no período sem defasagem (0,61) e para a temperatura média no período de defasagem de 30 dias (0,63).

Por fim, Oliveira et al. (2011), estudando as correlações entre os dados de precipitação e a produção de madeira de *Eucalyptus grandis*, com idade de 23 anos, proveniente de um plantio comercial no município de Rio Claro no Estado do Rio de Janeiro, a partir da análise do perfil de densidade da madeira de discos de 3 árvores em duas alturas (1,30 m e 3,60 m do solo), verificaram que todas as correlações entre os incrementos anuais e os dados de precipitação total anual foram positivas e significativas, obtendo valores de correlação entre 0,47 e 0,74, o que indica que quanto maior for o volume de chuvas em um determinado ano, maiores serão os incrementos radiais dessas árvores neste ano, ou seja, uma maior quantidade de água no solo aumenta as condições favoráveis ao crescimento da planta.

5. CONCLUSÕES

Independentemente do material genético e do arranjo de plantio estudados, as árvores demonstraram influência da idade no crescimento, a qual pode ser diferenciada em dois períodos, que apresentaram distintas fases do desenvolvimento.

A menor densidade de plantio alterou o desenvolvimento das plantas resultando no aumento da altura, do DAP, da área transversal e do volume individual, e na diminuição da área basal e do volume por área.

As diferenças observadas no crescimento das árvores em função do genótipo cultivado permitem que esses sejam agrupados pelas seguintes características:

Grupo formado pelos clones AEC0144, AEC0224 e AEC1528, com os maiores DAPs, áreas transversais e basais, volumes individuais e por área; grupo formado pelos clones AEC0042 e CO1407, que apresentaram desenvolvimento intermediário; e grupo formado pelo clone CO1404, com os menores DAPs, áreas transversais e basais, volumes individuais e por área.

Os clones apresentaram diferentes respostas na relação da atividade da copa com a atividade cambial para as densidades de plantio estudadas. As fases de desenvolvimento também influenciaram nesta resposta. A relação da atividade da copa com a atividade cambial foi mais forte no período dos 20 aos 36 meses de idade em comparação com o período dos 75 aos 84 meses de idade.

A sazonalidade do clima, ao longo dos períodos estudados, demonstrou efeito nas variáveis da copa. A deposição de folheto apresentou correlação com a precipitação e esta foi maior no período de defasagem de 60 dias. Já as correlações com a temperatura média e a umidade relativa do ar foram fracas nos períodos sem defasagem e com defasagem.

A atividade cambial apresentou correlação fraca com a precipitação, apesar desta acompanhar a variação da quantidade de chuva ao longo do período estudado. A relação com a temperatura média e com a umidade relativa do ar também foram fracas nos períodos sem defasagem e com defasagem.

A análise do incremento diamétrico mostrou que a atividade cambial foi sazonal e que os genótipos apresentaram um ritmo de crescimento diferente na mesma densidade de plantio, respondendo de forma diferenciada às variações climáticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugestões para futuros trabalhos:

- Para compreender melhor a relação da atividade da copa com a atividade cambial em todas as fases de desenvolvimento das árvores de eucalipto sugere-se replicar o experimento novamente e iniciar todas as medições realizadas neste estudo assim que o tamanho das plantas permitirem, acompanhando as medidas durante toda a rotação.
- Acrescentar a medição dos diâmetros da copa, para obtenção de mais variáveis da copa, como a área de projeção da copa, a razão ou formal de copa, a superfície e o volume da copa e os índices de abrangência, saliência e espaço vital. Assim, será possível compreender melhor o crescimento e desenvolvimento da copa ao longo de toda a rotação e sua influência na atividade cambial.
- Realizar a avaliação da biomassa das árvores em cada fase de desenvolvimento para obtenção da biomassa de cada componente (lenho, ramos e folhas) e, juntamente com esta, obter a área foliar específica, a área foliar total da árvore e o índice de área foliar.
- Para compreender melhor a relação da atividade da copa e do cambio com o clima seria adequado medir também a umidade do solo ao longo de todo o período de estudo e correlacionar com a deposição de folheto e o incremento diamétrico.
- Realizar a correlação da deposição de folheto e do incremento diamétrico com a temperatura máxima e mínima, a velocidade do vento, a evapotranspiração e o déficit de pressão de vapor.
- Realizar o estudo durante a 2ª rotação (talhadia) da área do experimento.
- Por fim, replicar o experimento em um solo arenoso, para comparar as diferenças decorrentes do tipo de solo.

REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. **Self-shading, carbon gain and leaf dynamics: a test of alternative optimality models.** *Oecologia*, v. 119, p. 300–310, 1999.
- ACKERLY, D.D.; BAZZAZ, F.A. **Leaf dynamics, self-shading and carbon gain in seedlings of a tropical pioneer tree.** *Oecologia*, v. 101, p. 289–298, 1995.
- 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.** *Forest Ecology and Management*, v. 251, p. 10–21, 2007.
- ANDRADE, E.N. **O eucalipto.** São Paulo: Chácaras e Quintais, 1939. 118 p.
- ANGELI, A. **Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*.** Piracicaba: IPEF, 2005.
Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acesso em: 20 maio 2018.
- AHL, D.E.; GOWER, S.T.; BURROWS, S.N.; SHABANOV, N.V.; MYNENI, R.B.; KNYAZIKHIN, Y. **Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS.** *Remote Sensing of Environment*, v. 104, p. 88-95, 2006.
- ARCELORMITTAL BIOENERGIA LTDA. **Produção de madeira em região de déficit hídrico.** 2009. Disponível em: <www.ipef.br/eventos/2009/melhoramento5/02-ArcelorMittal_BioEnergia.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais.** Instituto de Pesquisas e Estudo Florestais - IPEF, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.
- BARTHÉLÉMY, D.; CARAGLIO, Y. **Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny.** *Annals of Botany*, v. 99, p. 375-407, 2007.

- BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z.; SILVA FILHO, D.F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- BATTAGLIA, M.; CHERRY, M.L.; BEADLE, C.L.; SANDS, P.J.; HINGSTON, A. **Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature**. *Tree Physiology*, v. 18, p. 521–528, 1998.
- BATTACHARYYA, A.; YADAV, R.R.; BORGAONKAR, H.P.; PANT, G.B. **Growth-ring analysis of Indian tropical trees: dendroclimatic potential**. *Current Science*, v. 62, n. 11, p. 736–741, 1992.
- BEADLE, C.L. **Dynamics of leaf and canopy development**. In: NAMBIAR, E.K.; BROWN, A.G. (Eds.). *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests*. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, p. 169-212, 1997.
- BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. **Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais**. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELA, W. (Org.). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, p. 145-171, 2001.
- BOTOSSO, P.C.; VETTER, R.E.; TOMAZELLO FILHO, M. **Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), jacareúba (*Calophyllum angulare* A.C. Smith, Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart. Ex Benth, Leg. Caesalpinoideae) e floresta de Terra Firme, em Manaus-AM**. In: ROIG, F.A. *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza, Ediunc, p. 357-380, 2000.
- BREDA, N.; GRANIER, A.; AUSSÉNAC, G. **Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)**. *Tree Physiology*, v. 15, p. 295–306, 1995.

- BRÉDA, N.J.J. **Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies.** Journal of Experimental Botany, v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003.
- BUTHER, T.B.; HAVEL, J.J. **Influence of moisture relationships on thinning practice.** New Zealand Journal of Science, v. 6, p. 158-170, 1976.
- CÂMARA, G.M.S. **Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção.** Revista Visão Agrícola, n. 5, p. 63-66, 2006.
- CAMARGO, J.M.M., SANTANA, D.L.Q.; DEDECEK, R.A.; ZANOL, K.M.R.; MELIDO, R.C. **Avaliação da resistência de clones de *Eucalyptus camaldulensis* DEHN. ao psilídeo-de-concha *Glycaspis brimblecombei* MOORE (Hemiptera: Psyllidae).** In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. (Embrapa Florestas. Documentos, 178). Seção: Silvicultura e Produção de Biomassa.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R. **Competição entre plantas com ênfase no recurso luz.** Ciência Rural, v. 26, 1996.
- CASTRO, V.R. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 2014. 141p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. **Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell.** Annals of Botany, v. 103, p. 551–560, 2009.
- CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L.; PEZZOPANE, J.E.M.; POLLI, H.Q. **Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes.** Revista Árvore, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.

- CONDON, A.G.; RICHARDS, R.A.; REBETZKE, G.J.; FARQUHAR, G.D. **Breeding for high water-use efficiency**. Journal of Experimental Botany, v. 55, n. 407, p. 2447-2460, 2004.
- DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.
- DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS - LCF. **Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/estacoes/itatinga/apresentacao.php>>. Acesso em: 20 maio 2018.
- DÉTIENNE, P.; BARBIER, C.; AYPHASSORHO, H.; BERTIN, F. **Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Française**. Revue Bois et Forêts des Tropiques, n. 217, p. 63-76, 1988.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. Ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- EMBRAPA. **Latossolos Vermelhos**. 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- EMBRAPA. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, 2014, 138 p.
- EMBRAPA. **Espaçamento**. 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONTAG01_49_2572006132315.html>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- FERREIRA, M. **Escolha de Espécies de Eucalipto**. Circular Técnica IPEF, v. 47, p. 1-30, 1979.

- FERREIRA, M. **Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal**. IPEF, Piracicaba, n. 45, p. 22-30, 1992.
- FIELD, C. **Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program**. *Oecologia*, v. 56, p.341-347, 1983.
- FIORIN, T.T.; ROSS, M.D. **Climatologia agrícola**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2015. 82 p.
- FLORES, K.S.C. **Estudo das respostas ecofisiológicas no crescimento de clones *Eucalyptus* spp. submetidos a variações de níveis de restrições hídricas em distintas condições edáficas**. 2016. 230p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- FLORES, T.B.; ALVARES, C.A.; SOUZA, V.C.; STAPE, J.L. ***Eucalyptus* no Brasil: Zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016, 448p.
- GOMES, L.M.L. **Características morfológicas associadas à restrições hídricas em clones de eucalipto**. 2013. 37 p. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. **The root system of trees**. In: Gonçalves, J.L.M., BENEDETTI, V. (Eds.), *Forest Nutrition and Fertilization*, first ed. IPEF, Piracicaba, 2004, pp. 223–267.
- GONÇALVES, M.R; PASSOS, C.A.M. **Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo**. *Ciência Florestal*, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; GONÇALVES, T.D.; MOREIRA, R.M.; MENDES, J.C.T.; GAVA, J.L. **Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistemas de informação geográfica**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L.
Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. Cap. 1, p. 1-57.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; ROCHA, J.H.T.; BRANDANI, C.B.;
 HAKAMADA, R. **Eucalypt plantation management in regions with water stress.** Southern Forest: a Journal of Forest Science. p. 1-15, 2017.
- GONÇALVES, J.L.M.; ALVARES, C.A.; HIGA, A.R.; SILVA, L.D.; ALFENAS, A.C.;
 STAHL, J.; FERRAZ, S.F.B.; LIMA, W.P.; BRANCALION, P.H.S.; HUBNER, A.;
 BOUILLET, J.P.D.; LACLAU, J.P.; NOUVELLON, Y.N.; EPRON, D. **Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations.** Forest Ecology and Management, v. 301, p. 6–27, 2013.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; SMETHURST, P.; GAVA, J.L.
Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. Forest Ecology and Management, v. 193, p. 45–61, 2004.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2019.** IBÁ, 80 p. 2019.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Itapetininga/Cornélio Procópio.** São Paulo: IPT, 1984. p. SF 22-Z-D/SF 22-Z-C. (Escala 1:250.000).
- ISHII, H.; ASANO, S. **The role of crown architecture, leaf phenology and photosynthetic activity in promoting complementary use of light among coexisting species in temperate forests.** Ecological Research, v. 25, p. 715-722, 2010.
- KING, D.A. **Allocation of above-ground growth is related to light in temperate deciduous saplings.** Functional Ecology, v. 17, p. 482–488, 2003.

- LACLAU, J.P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONÇALVES, J.L.M.; SAINT-ANDRÉ, L.; VENTURA, M.; RANGER, J.; MOREIRA, R.M.; NOUVELLON, Y. **Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations.** *Tree Physiology*, v. 29, p. 111–124, 2009.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. **A generalised 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.
- LANG, A.R.G.; McMURTRIE, R.E. **Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam.** *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 58, p. 79-92, 1992.
- LAURENT, M.; ANTOINE, N.; JOEL, G. **Effects of different thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.).** *Forest Ecology and Management*, v. 183, p. 47–60, 2003.
- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.A.; FABRES, A.S. **Relações hídricas em povoamento de eucalipto com diferentes densidades populacionais.** *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 23, p. 9–16, 1999.
- LEITE, F.P. **Crescimento de *E. grandis* em diferentes densidades populacionais.** *Revista Árvore*, v. 21, n. 3, p. 313–321, 1997.
- LELES, P.S.S. **Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG.** *Scientia Forestalis*, n. 59, p. 77–87, 2001.
- LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; VERHOEF, W.; PONZONI, F.J.; LO SEEN, D.; BÉGUÉ, A.; STAPE, J.L.; NOUVELLON, Y. **Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations.** *Remote Sensing of Environment*, v. 115, p. 586–599, 2011.

- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. Academic Press, New York, 1972. 698p. Physiological Ecology Series.
- LIETH, H. **Phenology and Seasonality Modeling**. Springer Verlag, 1974. 444 p.
- LINDER, S. **Potential and Actual Production in Australian Forest Stands**. CSIRO, p. 11–35, 1985.
- MARIAUX, A. **La périodicité des cernes dans le bois de Limba**. Revue Bois et Forêts des Tropiques, n. 128, p. 39- 54, 1969.
- MARTINS, M.O.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO NETO, A.D.; SANTOS, M.G. **Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. – Meliaceae) sob diferentes regimes hídricos**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 34, p. 771-779, 2010.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 114 p., 2000.
- MATTOS, E.M. de. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. 2015. 128p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- MOURA, V.P.G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Brasil**. Brasília, 2004. 12 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Comunicado Técnico 111).
- MOMENTEL, L.T. **Crescimento e eficiência no uso da água por clones de eucalipto sob doses de potássio**. 2016. 221p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- MUNNÉ-BOSCH, S.; ALEGRE, L. **Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress**. Functional Plant Biology, v. 31, p. 203-216, 2004.

- NOODÉN, L.D.; GUIAMÉT, J.J; JOHN, I. **Senescence mechanisms**. *Physiologia Plantarum*, v. 101, p. 746–753, 1997.
- OLIVEIRA, B.R.U.; LATORRACA, J.V.F.; TOMAZELLO FILHO, M.; GARCIA, R.A.; CARVALHO, A.M. **Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 499-508, 2011.
- OLIVEIRA, L.E.M. **Determinação do Ponto de Compensação Luminoso e Efeito do Déficit Hídrico Sobre a Fotossíntese e Respiração**. *Práticas Laboratoriais em Fisiologia Vegetal*. 2015. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/praticas-laboratoriais-em-fisiologia-vegetal/determinacao-do-ponto-de-compensacao-luminoso-e-efeito-do-deficit-hidrico-sobre-a-fotossintese-e-respiracao/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- OTTO, M.S.G.; VERGANI, A.R.; GONÇALVES, A.N.; VRECHI, A.; SILVA, R.S.; STAPE, J.L. **Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36/37, n. 3, p. 431-439, 2013.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P.E.T. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 11 p. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico 316).
- PAULINO, P.S.; LIMA, I.L. **Densidade básica e dimensões celulares da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito anos de idade**. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 9, n. 1, p. 9-18, 2018.
- PINHEIRO, R.C.; DEUS JR., J.C.; NOUVELLON Y.; CAMPOE, O.C.; STAPE, J.L.; ALÓ, L.L.; GUERRINI, I.A.; JOURDAN, C.; LACLAU, J.P. **A fast exploration of very deep soil layers by *Eucalyptus* seedlings and clones in Brazil**. *Forest Ecology and Management*, v. 366, p. 143–152, 2016.

PITA, P.; PARDOS, J.A. **Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit.** Tree Physiology, v. 21, p. 599–607, 2001.

PRÉVOST, M.F.; PUIG, H. **Accroissement diametral des arbres em Guyane: observations sur quelques arbres de forêt primaire et de forêt secondaire.** Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle, Paris, série 4, 3, seção B, Adansonia, n. 2, p. 147-171, 1981.

REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES (RNC) / MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Registro Nacional de Cultivares - RNC.** 2019. Disponível em: <<http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc//cultivarweb/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

REMADE. **O Eucalipto e suas origens.** 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=20>. Acesso em: 11 abr. 2019.

REIS, C.A.F.; SANTOS, P.E.T.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul.** Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

R&S FLORESTAL. **Clone AEC-1528.** 2013. Disponível em: <<http://www.rsflorestal.com.br/site/2013/06/04/clone-aec-1528-super-clone/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

R&S FLORESTAL. **Clone AEC-144.** 2013. Disponível em: <<http://www.rsflorestal.com.br/site/2013/06/04/clone-aec-144/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C. **Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955).** Departamento de Ciências Exatas, Área de Física e Meteorologia. ESALQ/USP. 1999.

- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SETTE JUNIOR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUSADA, J.L.; LACLAU, J.P. **Sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* pelo uso de dendrômetros.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 763-775, 2012.
- SETTE JUNIOR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S.; LACLAU, J.P. **Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral.** Revista Árvore, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.
- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J.N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*.** Scientia Forestalis, n. 65, p. 120-129, 2004.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; MENEZES, L.F.; KLEIN, J.E. **Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis* (Hill.) Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 179 p.
- SCHUMACHER, F.X.; HALL, F.D.S. **Logarithmic expression of timber-tree volume.** Journal of Agricultural Research, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.
- SILVA, L.D. **Material Genético Adaptado ao Distrito Federal e Entorno.** 9º Seminário de Atualização em Eucalipto. 2014. Disponível em: <<http://www.rsflorestal.com.br/site/wp-content/uploads/2014/06/Material-Gen%C3%A9tico-Adaptado-ao-DF-e-Entorno.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; FONSECA, S.; LOSS, R.A.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C.R.; SILVA, S.R.; HAKAMADA, R.E.; FERREIRA, J.M.A.; LIMA, A.M.N.; GAVA, J.L.; LEITE, F.P.; ANDRADE, H.B.; ALVES, J.M.; SILVA, G.G.C.; AZEVEDO, M.R. **The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production.** Forest Ecology and Management, v. 259, p. 1684–1694, 2010.

STOGSDILL JR., W.R., WITTWER, R.F., HENNESSEY, T.C., DOUGHERTY, P.M. **Water use in thinned loblolly pine plantations.** Forest Ecology and Management, v. 50, p. 233–245, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TATAGIBA, S.D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação.** Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo – ES.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais:** dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELA, W. (Org.). Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, p. 118-143, 2001.

VINCENT, G. **Leaf life span plasticity in tropical seedlings grown under contrasting light regimes.** Annals of Botany, v. 97, p. 245–255, 2006.

WATSON, D.J. **Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years.** Annals of Botany, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947.

- WHITE, D.A.; CROMBIE, D.S.; KINAL, J.; BATTAGLIA, M.; MCGRATH, J.F.; MENDHAMA, D.S.; WALKER, S.N. **Managing productivity and drought risk in *Eucalyptus globulus* plantations in south-western Australia.** Forest Ecology and Management, v. 259, p. 33–44, 2009.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. **Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review.** Forest Ecology and Management, v. 193, p. 113–140, 2004.
- WINK, C.; MONTEIRO, J.S.; REINERT, D.J.; LIBERALESSO, E. **Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades.** Scientia Forestalis, v. 40, n. 93, p. 057-067, 2012.
- WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C.; ALVINO, A. **Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution and yield.** Agronomy Journal, v. 80, p. 859-864, 1988.
- WOOLHOUSE, H.W. **The biochemistry and regulation of senescence in chloroplasts.** Canadian Journal of Botany, v. 62, n. 12, p. 2934-3942, 1984.
- ZANINE, A.M.; SANTOS, E.M. **Competição entre espécies de plantas: uma revisão.** Revista da FZVA, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

APÊNDICES

Tabela 37. Valores anuais do balanço hídrico utilizando a metodologia proposta por Rolim e Sentelhas (1999) para Itatinga-SP, durante o período de condução do estudo. (CAD=100 mm)

Ano	Temperatura média (°C)			Precipitação Anual (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Excedente Hídrico (mm)	Déficit Hídrico (mm)	Meses com Déficit Hídrico
	Mínima	Média	Máxima						
2012	9,3	18,9	29,9	932,4	877,8	731,4	201,0	146,4	6
2013	8,7	18,5	29,8	1343,9	852,2	807,0	537,0	45,3	3
2014	9,3	19,4	31,2	1081,7	904,5	858,7	223,0	45,9	6
2015	10,5	19,5	30,7	2036,0	906,1	900,3	1135,7	5,8	3
2016	8,7	19,7	30,8	1626,4	921,2	900,5	725,9	20,7	4
2017	9,8	18,9	30,4	2404,0	877,1	867,1	1536,9	10,0	3
2018	9,0	19,1	30,8	1586,4	883,8	866,6	719,8	17,3	5
Média	9,3	19,1	30,5	1573,0	889,0	847,4	725,6	41,6	4,3

*Legenda: ETP = Evapotranspiração Potencial calculada segundo Thornthwaite (1948); ETR = Evapotranspiração Real.

Tabela 38. Dados de crescimento e produtividade aos 84 meses de idade.

Interação	DAP (cm)	Altura (m)	g (m ² .árvore ⁻¹)	v (m ³ . árvore ⁻¹)	AB (m ² .ha ⁻¹)	V (m ³ .ha ⁻¹)	IMA ₇ (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
CO1404 3x1	10,7	23,4	0,0096	0,1107	31,4	363,0	51,9
CO1404 3x2	13,5	26,1	0,0156	0,2069	25,4	338,1	48,3
CO1404 3x4	18,6	31,0	0,0277	0,4098	22,2	328,3	46,9
CO1407 3x1	11,1	23,2	0,0103	0,1190	34,2	396,6	56,7
CO1407 3x2	14,9	29,3	0,0182	0,2481	30,3	413,6	59,1
CO1407 3x4	20,0	32,6	0,0321	0,4909	26,8	409,1	58,4
AEC1528 3x1	13,1	24,5	0,0140	0,1523	46,6	507,7	72,5
AEC1528 3x2	16,4	27,5	0,0212	0,2505	35,3	417,5	59,6
AEC1528 3x4	20,1	29,9	0,0319	0,4151	26,6	345,9	49,4
AEC0042 3x1	11,8	25,8	0,0114	0,1495	37,2	488,7	69,8
AEC0042 3x2	15,4	29,8	0,0191	0,2837	31,8	472,8	67,5
AEC0042 3x4	19,1	32,3	0,0290	0,4705	24,2	392,1	56,0
AEC0224 3x1	13,2	24,3	0,0147	0,1728	48,9	576,0	82,3
AEC0224 3x2	15,9	27,6	0,0207	0,2629	34,5	438,2	62,6
AEC0224 3x4	20,6	31,3	0,0343	0,4884	28,1	399,8	57,1
AEC0144 3x1	11,9	23,7	0,0120	0,1502	39,9	500,5	71,5
AEC0144 3x2	15,9	29,0	0,0204	0,2906	34,0	484,4	69,2
AEC0144 3x4	19,5	31,2	0,0301	0,4626	24,6	378,6	54,1
Clone	DAP (cm)	Altura (m)	g (m ² .árvore ⁻¹)	v (m ³ . árvore ⁻¹)	AB (m ² .ha ⁻¹)	V (m ³ .ha ⁻¹)	IMA ₇ (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
CO1404	14,2	26,8	0,0176	0,2425	26,3	343,1	49,0
CO1407	15,4	28,4	0,0202	0,2860	30,4	406,4	58,1
AEC1528	16,5	27,3	0,0224	0,2726	36,2	423,7	60,5
AEC0042	15,4	29,3	0,0198	0,3012	31,1	451,2	64,5
AEC0224	16,6	27,7	0,0232	0,3080	37,2	471,3	67,3
AEC0144	15,8	27,9	0,0208	0,3011	32,9	454,5	64,9
Arranjo	DAP (cm)	Altura (m)	g (m ² .árvore ⁻¹)	v (m ³ . árvore ⁻¹)	AB (m ² .ha ⁻¹)	V (m ³ .ha ⁻¹)	IMA ₇ (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
3x1	12,0	24,2	0,0120	0,1424	39,7	472,1	67,4
3x2	15,3	28,2	0,0192	0,2571	31,9	427,4	61,1
3x4	19,7	31,4	0,0309	0,4562	25,4	375,6	53,7
Geral	DAP (cm)	Altura (m)	g (m ² .árvore ⁻¹)	v (m ³ . árvore ⁻¹)	AB (m ² .ha ⁻¹)	V (m ³ .ha ⁻¹)	IMA ₇ (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
	15,6	27,9	0,0207	0,2853	32,3	425,0	60,7

*Legenda: g = área transversal; v = volume individual; AB = área basal; V = volume por área; IMA₇ = incremento médio anual aos 7 anos.

Figura 60. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média.

Figura 61. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 62. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média.

Figura 63. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 1 m.

Figura 64. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 2 m.

Figura 65. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média no arranjo de plantio 3 m x 4 m.

Figura 66. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 67. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 68. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 69. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 70. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone CO1404, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 71. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 72. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 73. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média.

Figura 74. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à temperatura média nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 75. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa.

Figura 76. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 77. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa.

Figura 78. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 1 m.

Figura 79. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 2 m.

Figura 80. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa no arranjo de plantio 3 m x 4 m.

Figura 81. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0042, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 82. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0144, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 83. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC0224, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 84. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone AEC1528, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 85. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone CO1404, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 86. Média do incremento corrente diamétrico do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa para o clone CO1407, nos arranjos de plantio 3 m x 1 m, 3 m x 2 m e 3 m x 4 m.

Figura 87. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.

Figura 88. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa.

Figura 89. Média do incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto por clone em relação à umidade relativa nos diferentes arranjos de plantio.