

PARAMETRIZAÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA DOIS CLONES DE EUCALIPTO CULTIVADOS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS.Eduardo Vitor da Silva^{1*}, José W. S. Nascimento², Alexsandro C. S. Almeida³

1. Estudante do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Engenharia Florestal da Universidade Federal de Alagoas (CECA-UFAL)

2. Mestrando em Produção Vegetal do CECA-UFAL

3. Professor do CECA-UFAL – Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia/Orientador

Resumo

O trabalho objetivou parametrizar e calibrar o modelo 3-PG para prognose do crescimento da altura total (Ht), diâmetro a altura do peito (DAP), volume de madeira (V) e incremento médio anual (IMA) de clones de eucalipto cultivados em diferentes espaçamentos. Utilizaram-se dados de um experimento de eucalipto conduzido no município de Rio Largo, Alagoas, para a parametrização e calibração do modelo. A acurácia do modelo foi averiguada por análise gráfica, correlação linear, coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e eficiência do modelo. A parametrização e calibração para os clones e espaçamentos avaliados se mostraram satisfatória. Observando-se ótimas estimativas para as variáveis Ht e DAP, enquanto, para as variáveis V e IMA é necessário melhorar a calibração do modelo, com vista a aprimorar as estimativas destas duas variáveis.

Palavras-chave: espaçamento; modelo ecofisiológico; crescimento florestal**Apoio financeiro:** Universidade Federal de Alagoas**Trabalho selecionado para a JNIC:** UFAL – Pró Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa**Introdução**

Durante séculos o principal monocultivo implantado no estado de Alagoas foi o da cana-de-açúcar. Porém, a crise que o setor sucroalcooleiro alagoano tem enfrentado, resultou-se em uma alternativa de diversificação de cultivo com implantações de povoamentos florestais com eucalipto para o Estado (LIMA, 2020).

Cerca de 13.500 ha distribuídos nas regiões litorânea, zona da mata e pequena parte do agreste são destinados à produção de eucalipto (ANGEIRAS, 2017; FIEA, 2018). Alguns materiais genéticos testados no estado, apresentaram alta produtividade em volume, alcançando o dobro da média nacional em incremento médio anual, que atualmente é de 36 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ (FIEA, 2018). Diversos fatores podem influenciar na produtividade, como as condições edafoclimáticas, a densidade populacional (FLORIANO, 2018; BALLONI & SIMÕES, 1980) e a disponibilidade hídrica (REIS, 2014; STAPE et al., 2004).

Nessa perspectiva, torna-se importante o conhecimento da previsão de produção não somente em função das condições climáticas e características do sítio de produção, mas também características ecológicas e processos fisiológicos da floresta (MARSDEN et al., 2013). No Brasil, o modelo 3-PG (Physiological Principles Predicting Growth) desenvolvido por Landsberg e Waring (1997), vem sendo empregado em empresas de base florestal, como ferramenta central em um novo sistema de gestão de florestas (ALMEIDA et al., 2003). Portanto o presente trabalho, objetivou avaliar a eficiência do modelo 3-PG na prognose do crescimento das variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), altura (Ht), Volume (V) e incremento médio anual (IMA) de clones de eucalipto sob diferentes espaçamentos.

Metodologia

A presente pesquisa foi realizada com dados de experimento de eucalipto conduzido na área experimental do Centro de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da UFAL, localizado no município de Rio Largo, Alagoas, Brasil (09° 28' 02" S e 35° 49' 43" W). Nele são testados três espaçamentos; 3x4 m, 3x3 m e 3x2 m, combinados com dois clones de eucalipto; VE41 e o I144 em delineamento de blocos ao acaso num esquema de parcelas subdivididas com 3 repetições e 18 subparcelas. Foi utilizado o modelo australiano 3-PG (Physiological Processes Predicting Growth) que é uma integração entre a planilha do Microsoft Excel 2016® e sua interface que está pré-programada na linguagem Visual Basic (VBA).

A base de dados da pesquisa constou de 12 inventários florestais, onde mensuraram-se os DAP e a Ht das 25 árvores de cada subparcela. Ajustaram-se distribuições diamétricas com esses dados para selecionar 18 árvores (uma por subparcela) para determinação do volume de madeira pelo método da cubagem rigorosa. Logo após, ajustou-se a equação volumétrica de SHUMACHER-HALL para estimar o volume das demais árvores. Os volumes obtidos para área de cada subparcela, foram extrapolados para área de 1ha.

A área foliar específica (AFE) foi determinada com amostras de folhas (100 g por subparcela). Mediu-se a área foliar no LI-COR 3100C, e a massa no momento da coleta e após secagem. A AFE foi determinada pela razão entre a área foliar (m²) e a massa seca da amostra (kg). No abate das árvores, foram retirados discos de madeira ao longo do fuste, aos 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Esses discos foram cortados em cunha

para determinação da densidade básica (pb) pelo método hidrostático pela NBR 11942. A densidade foi calculada pela razão entre o peso seco e o volume saturado.

Os dados climáticos obtidos na estação agrometeorológica do CECA-UFAL entre setembro de 2017 a março de 2021 foram de temperatura (°C) máxima e mínima, precipitação (mm) e radiação solar (MJ m^{-2}). O solo é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argisólico de textura médio-argilosa (SANTOS, 2010).

Os demais parâmetros exigidos pelo modelo foram obtidos pelas parametrizações feitas por BORGES et al. (2009). A calibração envolveu executar o modelo e comparar os dados observados e estimados, sendo que os valores de parâmetros que não foram medidos durante a pesquisa foram alterados de forma a diminuir o erro entre o valor estimado e o observado (BORGES et al. 2009). Para a estimativa da relação entre DAP com altura e volume ao longo do crescimento, realizou-se o ajuste da equação alométrica de SANDS e LANDSBERG (2002) através do método dos Mínimos Quadrados Ordinários no software R versão 4.1.2. A acurácia do modelo 3-PG foi averiguada pelos seguintes métodos estatísticos: análise gráfica, correlação linear, coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, eficiência do modelo.

Resultados e Discussão

O modelo apresentou excelente ajuste para as variáveis altura total e DAP. Estas variáveis foram estimadas satisfatoriamente na maior parte do período de crescimento, sendo que até 1º ano, se observou uma leve superestimativa dos valores para todos os tratamentos. No espaçamento 3x2 m houve alta acurácia do modelo para variável Ht com bons valores dos parâmetros estatísticos S_{xy} , R e R^2 de 1,00 m, 0,9704 e 0,9417 para o I144 enquanto para o VE41 foram de 0,809 m, 0,9873 e 0,9748. A altura nos três primeiros anos foram 5,14, 9,47, 13,44 m e 4,89, 10,0, 14,99 m para o I144 e VE41, respectivamente. Os valores obtidos nesta pesquisa são muito próximos dos observados por Borges et. al. (2009) e Londero et. al. (2015) em clones Urograndis. No espaçamento 3x3 m os parâmetros estatísticos S_{xy} , R e R^2 foram de 0,966 m, 0,9717 e 0,9442 para o clone I144 enquanto para o VE41, 1,33 m, 0,9445 e 0,8920. Nos três primeiros anos de crescimento as alturas foram de 4,96, 9,32, 14,60 m para o I144 e 4,66, 9,41, 13,87 m para o VE41 (Figura 1). Já no espaçamento 3x4 m os parâmetros estatísticos S_{xy} , R e R^2 foram de 1,761 m, 0,9145 e 0,8363 para o clone I144 enquanto para o VE41 foram de 1,348 m, 0,9359 e 0,8760.

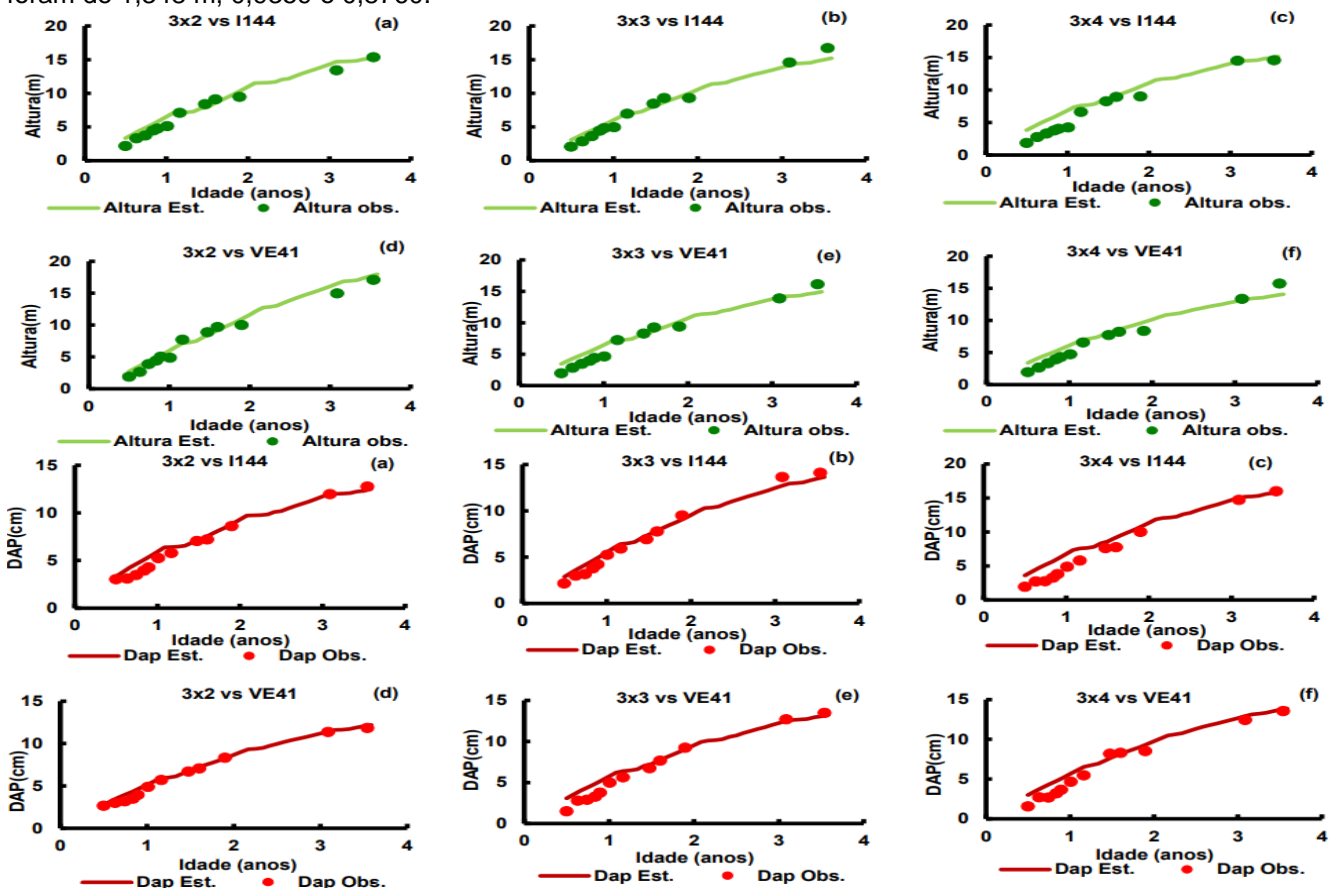


Figura 1: Valores observados e estimados(3-PG) para a variável altura total e DAP para os clones I144 e VE41 cultivados nos espaçamentos 3 x 2m, 3 x 3m e 3 x 4m.

No espaçamento 3x2 m o crescimento do diâmetro nos três primeiros anos foi de 5,27, 8,62, 11,98 cm e 4,89, 8,34, 11,38 para o I144 e VE41, respectivamente (Figura 1). Os valores estimados ficaram muito próximos dos observados, principalmente para o VE41, sendo S_{xy} , R e R^2 iguais a 0,512cm, 0,9866 e 0,9734. Valores semelhantes foram obtidos para o I144, 0,824 cm, 0,9651 e 0,9315. No espaçamento 3x3 m as estatísticas S_{xy} , R e R^2 foram iguais a 0,782 cm, 0,9764 e 0,9533 para o clone I144 e 1,144 cm, 0,9483 e 0,8993 para VE41. Já os valores de diâmetro observados nos 3 primeiros anos foram 5,26, 9,51 e 13,66 cm para I144 e 4,99, 9,24 e

12,71cm para VE41. No espaçamento 3x4 m as estatísticas de precisão para o clone I144 foram 1,855cm, 0,9194 e 0,8453, enquanto para o VE41 foram de 1,170 cm, 0,9530 e 0,9082. O crescimento em diâmetro foram de 4,91, 10,02 e 14,75 cm para o I144 e 4,67, 8,52 e 12,44 cm para o VE41 durante os três primeiros anos de crescimento.

De modo geral, o modelo superestimou levemente o volume nos primeiros anos (segundo e terceiro de crescimento) (Figura 2). Em seguida, subestimou para todos os tratamentos. No espaçamento 3x2 m os volumes observados para o clone I144 foram de 41,12 m³.ha⁻¹ no segundo ano, próximo de completar 3 anos o volume atingiu 83,97 m³.ha⁻¹ e próximo dos 4 anos o volume foi de 149,24 m³.ha⁻¹, enquanto os estimados foram de 60,46, 94,95 e 125,62 m³.ha⁻¹. Já para o VE41 os observados foram 41,71, 80,58 e 136,01 m³.ha⁻¹ e os estimados foram 52,74, 88,89 e 122,94 m³.ha⁻¹. As estatísticas Sxy, R e R² foram de 10,86 m³.ha⁻¹, 0,8585 e 0,7370 para I144 e 8,49 m³.ha⁻¹, 0,9048 e 0,8186 para o VE41. Os valores de produtividade foram semelhantes aos observadas por Borges (2009). Os volumes observados no espaçamento 3x3 m foram de 30,50, 74,83, 121,77 m³.ha⁻¹ e 30,10, 68,76, 108,21 m³.ha⁻¹ para o I144 e VE41, respectivamente (Figura 2). Já os estimados pelo modelo foram 41,56, 74,83 e 97,56 m³.ha⁻¹ para o clone I144, enquanto para o VE41 foram de 44,05, 68,70 e 90,40 m³.ha⁻¹. As estatísticas de precisão para o I144 foram de 11,00 m³.ha⁻¹, 0,8248 e 0,6802 enquanto para o VE41 foram de 8,15 m³.ha⁻¹, 0,8451 e 0,7143. Para o espaçamento 3 x 4m os volumes observados variaram entre 22,02 a 108,24 m³.ha⁻¹ e os estimados 34,78 a 92,20 m³.ha⁻¹ para o I144. Já o clone VE41 teve produtividade de 20,10 a 83,92 m³.ha⁻¹ e a estimada de 28,34 a 71,46 m³.ha⁻¹. As estatísticas para o I144 foram de 9,57 m³.ha⁻¹, 0,8407 e 0,7068 enquanto para o VE41 foram 6,20 m³.ha⁻¹, 0,8756 e 0,7668.

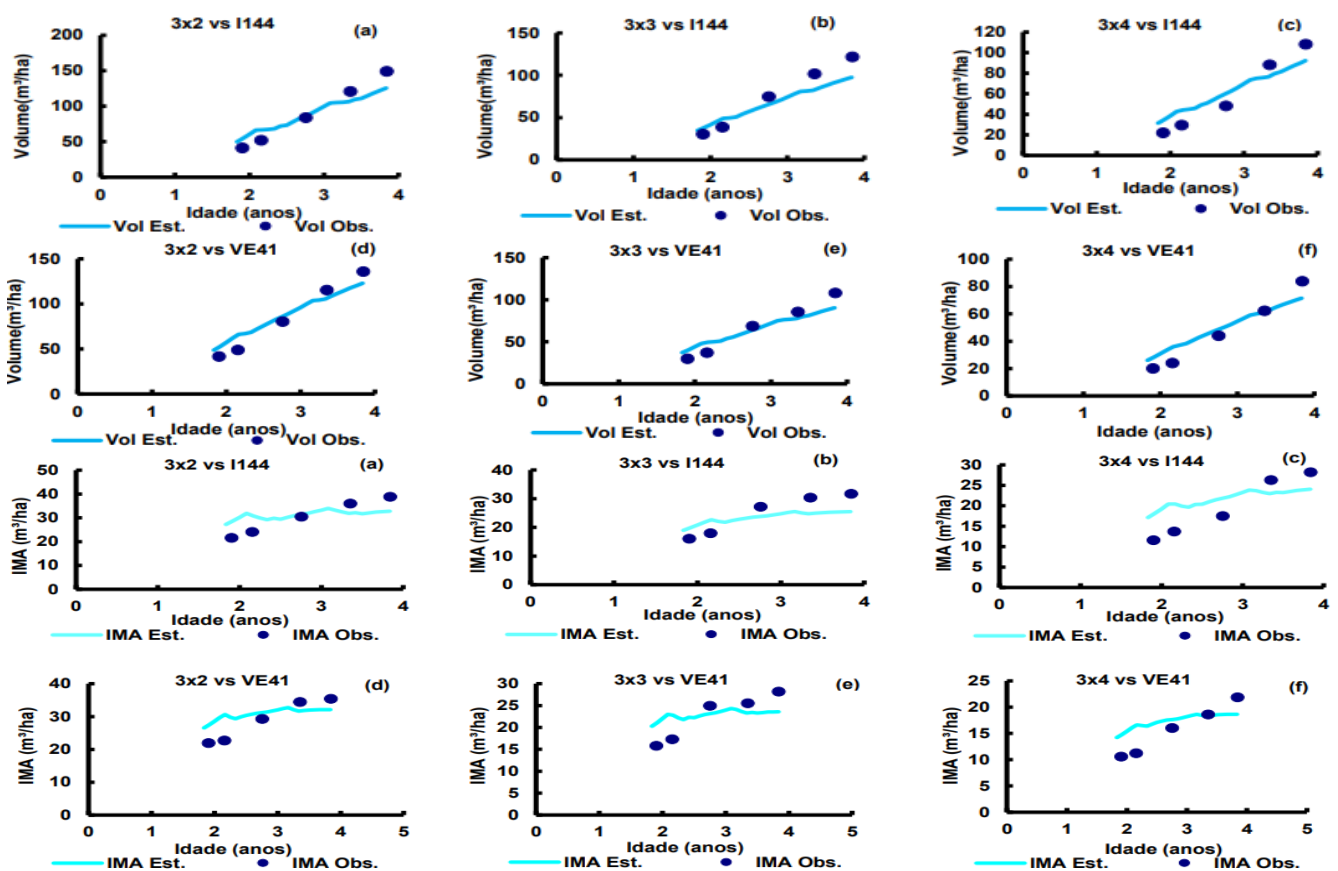


Figura 2: Valores observados e estimados(3-PG) para a variável volume de madeira e incremento médio anual para os clones I144 e VE41 cultivados nos espaçamentos 3 x 2m, 3 x 3m e 3 x 4m.

De modo geral, o modelo superestimou levemente o volume nos primeiros anos (segundo e terceiro de crescimento). Em seguida, subestimou para todos os tratamentos. No espaçamento 3x2 m os volumes observados para o clone I144 foram de 41,12 m³.ha⁻¹ no segundo ano, próximo de completar 3 anos o volume atingiu 83,97 m³.ha⁻¹ e próximo dos 4 anos o volume foi de 149,24 m³.ha⁻¹, enquanto os estimados foram de 60,46, 94,95 e 125,62 m³.ha⁻¹. Já para o VE41 os observados foram 41,71, 80,58 e 136,01 m³.ha⁻¹ e os estimados foram 52,74, 88,89 e 122,94 m³.ha⁻¹. As estatísticas Sxy, R e R² foram de 10,86 m³.ha⁻¹, 0,8585 e 0,7370 para I144 e 8,49 m³.ha⁻¹, 0,9048 e 0,8186 para o VE41. Os valores de produtividade foram semelhantes aos observadas por Borges (2009). Os volumes observados no espaçamento 3x3 m foram de 30,50, 74,83, 121,77 m³.ha⁻¹ e 30,10, 68,76, 108,21 m³.ha⁻¹ para o I144 e VE41, respectivamente. Já os estimados pelo modelo foram 41,56, 74,83 e 97,56 m³.ha⁻¹ para o clone I144, enquanto para o VE41 foram de 44,05, 68,70 e 90,40 m³.ha⁻¹. As estatísticas de precisão para o I144 foram de 11,00 m³.ha⁻¹, 0,8248 e 0,6802 enquanto para o VE41 foram de 8,15 m³.ha⁻¹, 0,8451 e 0,7143. Para o espaçamento 3x4 m os volumes observados variaram entre 22,02 a 108,24 m³.ha⁻¹ e os estimados 34,78 a 92,20 m³.ha⁻¹ para o I144. Já o clone VE41 teve produtividade de 20,10 a 83,92 m³.ha⁻¹ e a estimada de 28,34 a 71,46 m³.ha⁻¹. As estatísticas para o I144 foram de 9,57 m³.ha⁻¹, 0,8407 e 0,7068 enquanto para o VE41 foram 6,20 m³.ha⁻¹, 0,8756 e 0,7668. Os incrementos observados, variaram entre 21,61 a

38,85 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para o clone I144 e 21,92 a 35,40 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para o VE41 (Figura 2), valores estes que estão próximos e até superam o incremento médio nacional (FIEA, 2018), mostrando o potencial produtivo da região numa idade em que o plantio ainda é considerado jovem e ainda apresenta pleno crescimento. Para o espaçamento 3x3 m os incrementos foram de 16,03 a 31,70 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para o primeiro clone e 15,82 a 28,17 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para o segundo. No espaçamento 3x4 m o clone I144 obteve 11,57 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ próximo aos 2 anos de idade, e 28,18 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ no fim das avaliações. Já o clone VE41 apresentou incrementos que variaram entre 10,57 a 21,85 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Os valores estimados pelo 3-PG para a variável IMA ficaram distantes dos observados. A avaliação da eficiência do modelo foi testada por meio de regressão linear simples entre os valores observados e estimados. O valor observado é igual ao estimado, quanto $\beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$. Assim, foram verificadas pelo teste T a 1% de significância, estas hipóteses. Para o tratamento 3x2 m vs VE41 a hipótese H₀: $\beta_1 = 1$ foi aceita para todas as variáveis enquanto para o I144 apenas para altura e IMA. Para os tratamentos do espaçamento 3x4 m o volume e o IMA também tiveram a H₀ aceita. Já nos tratamentos com o espaçamento 3x3 m, apenas o IMA teve a H₀ aceita, mostrando que os valores estimados são estatisticamente iguais aos valores medidos. Em contrapartida, as demais variáveis que apresentaram valor significativo para β_1 , tiveram os valores estimados sendo diferentes dos observados, mesmo apresentando R² elevados. Neste sentido, o ideal é não considerar somente este parâmetro como fator de decisão (Londero, et al. 2015). A baixa eficiência observada do modelo para a estimativa do IMA indica a necessidade de continuação dos estudos de calibração do modelo, com vista a aprimorar as estimativas desta variável.

Conclusões

Considerando a boa estimativa das variáveis diâmetro a altura do peito e altura total, conclui-se que a parametrização e a calibração do modelo 3-PG para os dois clones e três espaçamentos testados foram realizadas de forma satisfatória para a região de Rio Largo – AL. Entretanto, para as variáveis volume de madeira e incremento médio anual, o modelo apresentou pouca acurácia, necessitando de continuação dos estudos de calibração do modelo, com vista a aprimorar as estimativas destas variáveis.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model fastgrowing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 179-195, 2004.
- ANGEIRAS, G. J. S. L. **Mapear a implantação de florestas energéticas em alagoas**. 1. ed. Maceió: SEDETUR, 2017. 30 p.
- BARROS, N. D.; SILVA, O. D.; PEREIRA, A. R.; BRAGA, J. M.; LUDWIG, A. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N P K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF, Piracicaba**, n. 26, p.13-17, abr. 1984.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. IPEF, Piracicaba, v.1.n. 3, p.1-16, 1980. (Série Técnica).
- BORGES, J.S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- CARVALHO, O. M. **Classificação e característica físico-hídrica de solos de Rio Largo, cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2003.
- FIEA - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE ALAGOAS. **Trajectoria da Indústria em Alagoas: 1850/2017**. 1. ed. Maceió: FIEA, 2018. 171 p.
- FLORIANO, E. P. **Potencialidades de produção florestal em Alagoas**. Rio Largo: Edição do autor, 2018. 182 p.
- LIMA, Lucas. **O deserto verde cresce em Alagoas: uma análise crítica da expansão do eucalipto no estado**. Caderno de geografia, Vol. 30, nº 63, 2020.
- LONDERO, E. K.; VALDIR, M. S.; SZYMCZAK, D. A.; ARAÚJO, E. F. Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, 2015.
- MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; JEAN-PAUL, L.; CORBEELS, M.; McMURTRIE, R.; STAPE, J. L.; EPRON, D.; MAIRE, G. LE. Modifying the G'DAY process-based model to simulate the spatial variability of *Eucalyptus* plantation growth on deep tropical soils. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 112-128, 2013
- REIS, M. G.; RIBEIRO, A.; BAISSO, R. C. E.; SOUZA, W. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balanço hídrico e de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 117-126, 2014.
- SANDS, P.J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, n. 1-3, p. 273-292, 2002.
- STAPE, J.L., BINKLEY, D., RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p.17–31, 2004.