

Modelação do índice de fertilidade do 3-PG em função de características físicas e químicas do solo

Modeling the 3-PG fertility rating as a function of soil physical and chemical characteristics

Jorge Delgado Nunes^{1,*}, Tânia Sofia Oliveira², Nuno Cortez¹ & Margarida Tomé¹

¹ Centro de Estudos Florestais (CEF), Instituto Superior de Agronomia (ISA), Universidade de Lisboa (UL), Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal

² RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e Papel, Herdade de Espirra, 2985-270, Pegões, Portugal

(*E-mail: jorgednunes@isa.ulisboa.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.28574>

RESUMO

Os modelos de base fisiológica são ferramentas científicas úteis, mas não têm sido usados frequentemente na gestão florestal, pois exigem dados detalhados de entrada e não fornecem os resultados necessários para a gestão. O 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) é um modelo de base fisiológica desenvolvido com a intenção de fazer a ponte entre os modelos empíricos e os modelos de base fisiológica mais complexos. A fertilidade do solo é considerada por meio de um índice de fertilidade, o chamado FR (fertility rating), valor que varia entre 0 e 1, atribuído empiricamente de acordo com as características do local. Embora haja um conhecimento limitado da relação que existe entre o FR e propriedades do solo, alguns esforços têm sido feitos para desenvolver funções relacionando o FR e as características do solo. O presente estudo procura desenvolver um modelo geral para prever o FR a partir das características do solo e testar a possibilidade de fazer o modelo 3-PG sensível a fertilizações. Os resultados preliminares originaram modelos com um bom desempenho ao nível da parcela, mas a primeira tentativa de modelo generalizado não alcançou uma boa capacidade preditiva. Os testes continuam a decorrer de maneira a melhorar a capacidade preditiva dos diferentes modelos.

Palavras-chave: 3-PG, índice de fertilidade, características do solo, nutrientes, adubação

ABSTRACT

Process based models are useful scientific tools, but they have not been used frequently in forest management, as they require detailed input data with scarce results for management. The 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) is a process-based model developed with the intention of bridging the gap between the empirical models and the more complex physiologically based models. Soil fertility is considered through a fertility index, the so-called FR (fertility rating), a value that varies between 0 and 1, empirically attributed according to the characteristics of the place. Although there is limited knowledge of the relationship that exists between FR and soil properties, some efforts have been made to develop functions relating FR and soil characteristics. The present study seeks to develop a general model to predict FR from soil characteristics and to test the possibility of making the 3-PG model sensitive to fertilization. Preliminary results resulted in models with good performance at the plot level, but the first attempt at a generalized model did not achieve good predictive capacity. Tests continue to take place to improve the predictive capacity of the different models.

Keywords: 3-PG, fertility rating, soil characteristics, nutrients, fertilization

INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma espécie de rápido crescimento, utilizada principalmente pela indústria de celulose. As árvores são plantadas à densidade final, uma vez que durante o primeiro ciclo de corte não se realizam operações de desbaste nem de poda. As parcelas são geridas de forma intensiva, geralmente em talhadia de rotação curta em que, ao primeiro ciclo de plântulas (caule único), se seguem 2 ou 3 cortes, com um intervalo médio de 10 a 12 anos (Soares & Tomé, 2001).

Cenários climáticos futuros, em resultado das previstas alterações climáticas, irão colocar ainda maiores desafios à satisfação da procura desta matéria-prima (Palma *et al.*, 2021). O necessário incremento da produção desta matéria-prima, poderá ser obtido através do aumento da produtividade florestal, quer com recurso ao melhoramento genético, quer com o aperfeiçoamento dos procedimentos de silvicultura (Santos *et al.*, 2013; citado por Oliveira, 2015).

Nos últimos anos, os modelos de base fisiológica têm vindo a ganhar importância na gestão florestal e, particularmente em Portugal, em povoamentos de eucalipto. De entre este tipo de modelos, a utilização do modelo 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) em plantações de eucalipto (Sands e Landsberg, 2002; Feikema *et al.*, 2010; Elli *et al.*, 2019) tem tido um crescimento significativo.

O modelo 3-PG utiliza uma forma muito simples para expressar a fertilidade do solo, através de um índice de fertilidade, o chamado FR (Fertility Rating), variando o seu valor entre 0 e 1, avaliado de forma empírica e de acordo com as características do solo do local. O valor 0 corresponde a locais muito pobres e o valor 1 para locais nos quais não existe limitação nutricional ao crescimento. Landsberg *et al.* (2003) sugerem o uso de estudos dos solos para estimar o FR, mas esta metodologia coloca problemas de execução significativos. Embora haja um conhecimento bastante limitado da relação entre o FR e as propriedades do solo (Landsberg *et al.*, 2003), têm sido feitos esforços significativos para ligar os ciclos de nutrientes ao 3-PG, bem como no desenvolvimento de funções empíricas entre o FR e as características do solo.

O presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo geral para prever FR a partir das características do solo. Um objetivo adicional é o de tentar descobrir quais os nutrientes mais limitantes para o crescimento do eucalipto em povoamentos portugueses e testar a possibilidade de fazer o modelo 3-PG sensível a fertilizações.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho resultaram de um conjunto de ensaios realizados pela empresa ALTRI, para avaliar o efeito de diferentes esquemas de adubação no crescimento do *Eucalyptus globulus*. Os ensaios foram instalados em cinco propriedades diferentes da empresa, com o objetivo de incluir diferentes tipos de solos e regiões climáticas diversas. As propriedades encontram-se espalhadas pela área de distribuição desta espécie em Portugal (Figura 1).

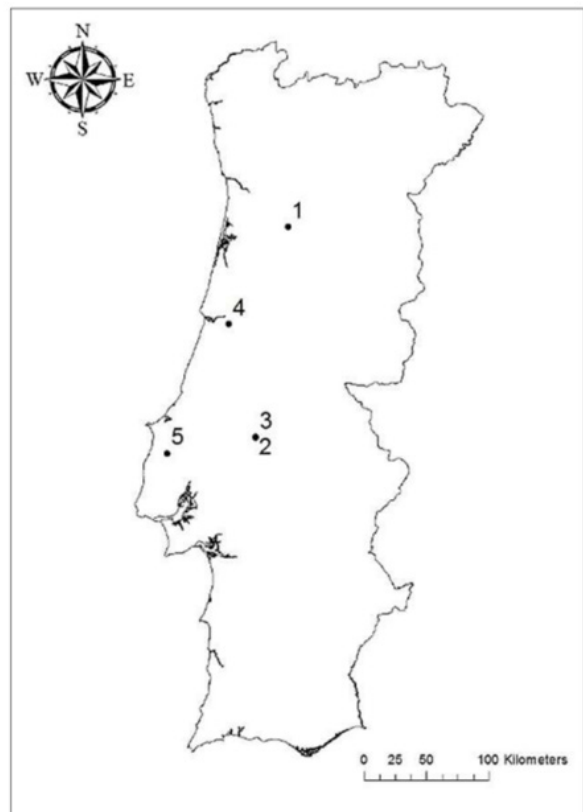


Figura 1 - Localização dos ensaios da Altri.

Os tratamentos realizados nas diferentes propriedades compreenderam: uma adubação com Fosfómio 7-21-21, a adubação operacional da empresa e varios testes de fertilização alternativos em função das condições dos diferentes locais.

Para cada tratamento foram feitas 6 repetições, totalizando 18 parcelas com 518,4 m² cada (6 x 12 plantas com compasso de 4 x 1,8 m). As parcelas tinham bordadura dupla e o número de plantas disponíveis para as medições de altura e diâmetro à altura do peito foi de 16 (Figura 2).

Os ensaios foram instalados em diferentes talhões, com número variável consoante as explorações, com uma área útil por talhão de 9.331,2 m².

Na altura da plantação foi efectuada uma adubação, tendo sido realizadas previamente análises ao solo em cada parcela. Nos segundo e terceiro anos após a plantação, realizaram-se adubações de coberturas conforme os tratamentos descritos anteriormente.

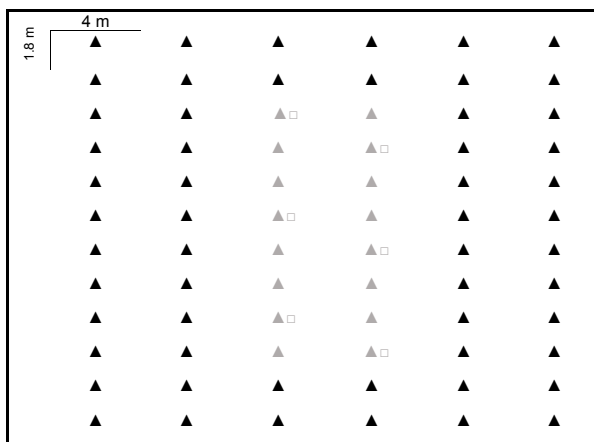


Figura 2 - Esquema de uma parcela experimental. ▲ - árvores da bordadura; ▲ - árvores úteis; ▲□ - árvores para realização da colheita de folhas e de amostras solos na entrelinha.

A altura e o diâmetro à altura do peito das árvores de cada uma das parcelas foram medidos anualmente dos 2 aos 9 anos. O estado nutricional das plantas foi avaliado anualmente até aos 5 anos de idade das árvores. Simultaneamente com a colheita de folhas, foram retiradas amostras de solo a meio

da entrelinha, junto às mesmas árvores. As amostragens foram efectuadas às profundidades 0-15 e 15-30 cm. As amostras simples de solo foram agrupadas numa amostra composta por parcela, constituída por 2 partes da amostra de 0-15 cm e 1 parte da amostra de 15-30 cm.

Nas amostras de solo efectuadas antes da fertilização, foram determinadas as percentagens de areia, limo e argila para cada amostra, bem como os seguintes parâmetros químicos: pH (H₂O e KCl), % de M. O., P e K pelo método Egner-Riehm, cationes não ácidos (Ca, Mg, K e Na), acidez de troca, Al de troca e a CTC a pH 7. Foram ainda determinados o Cu, o Fe, o Mn, e o Zn, pelo método de Lakanen e o B por extracção com H₂O.

Para o período temporal de crescimento dos diferentes povoamentos objecto do presente estudo, foram utilizados os dados climáticos disponíveis nas diferentes fontes. Com base na rede de estações climatológicas disponíveis seleccionaram-se as situadas o mais próximo possível das 5 explorações e que apresentavam valores de altitude semelhantes.

Para a estimativa e modelação do FR das diferentes parcelas, utilizou-se o 3-PG a correr em Visual Basic para aplicações com o Add-ins para EXCEL, disponível no site <https://3pg.forestry.ubc.ca/software/>, utilizando os valores dos parâmetros para povoamentos de eucalipto em Portugal.

Em primeiro lugar ir-se-á estimar os valores de FR correspondentes a cada parcela, por comparação entre os valores de biomassa observados e os estimados, assumindo-se que o FR não varia com o tempo. O valor de FR irá sendo modificado até se chegar a um valor que origine valores de biomassa estimada mais próximos dos valores observados.

Para a modelação do FR pretende-se avaliar o recurso a diferentes técnicas de regressão linear, por forma a tentar modelar o valor deste índice, em função dos diferentes parâmetros físicos e químicos avaliados para os solos das várias parcelas/talhões, que melhor estime os valores de biomassa comparativamente com os valores observados. Adicionalmente, pretende-se modelar o valor do FR para a totalidade das situações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares da estimativa dos valores de FR (Quadro 1), que minimizam a soma

Quadro 1 - Valores de FR que minimizam a soma dos quadrados dos resíduos (SQRe), estimados para cada uma das parcelas nas diferentes localizações

| Localização | Valor do FR | | | |
|-------------|-------------|----|-----------|-----------|
| | Ensaio | 0 |]0 - 0,5] |]0,5 - 1[|
| 1 | - | 4 | 3 | 17 |
| 2 | 13 | 4 | - | 1 |
| 3 | 15 | 9 | - | - |
| 4 | 2 | 12 | 5 | 5 |
| 5 | 6 | 12 | 1 | 9 |

dos quadrados dos resíduos (SQR_e) indicam uma tendência do FR para assumir valores extremos de 0 ou 1 ($\approx 58\%$ do total), simultaneamente com um desequilíbrio no intervalo de 0,5 a 1 ($< 8\%$).

Figura 3, verifica-se que o 3-PG, mesmo quando assume valores extremos do FR, apresenta divergência significativa entre os valores estimados e os observados, a qual é especialmente marcada na alocação da produção primária líquida na modelação da biomassa radicular.

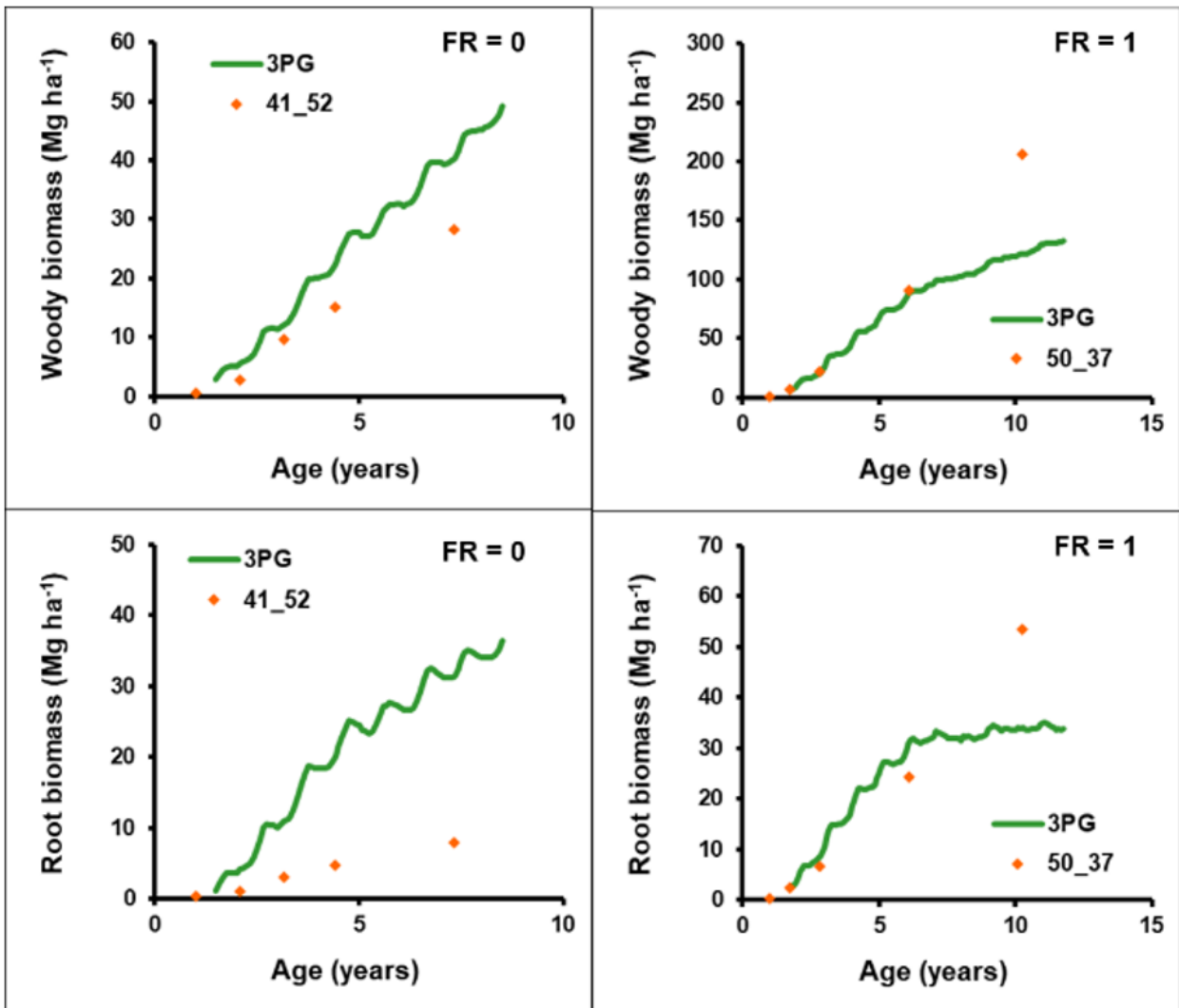


Figure 3 - Valores observados e estimados pelo 3-PG, de biomassa lenhosa e radicular numa parcela com FR = 0 e noutra com FR = 1.

CONCLUSÕES

Os presentes resultados apontam para a necessidade de se determinarem novos parâmetros na calibração do 3-PG para a produção do eucalipto em Portugal, especialmente aqueles relacionados com a nutrição. Só após a realização desta tarefa será possível modelar o FR em função dos parâmetros físicos e químicos do solo de cada parcela.

AGRADECIMENTOS

A permissão para o uso dos dados da ALTRI Florestal foi fundamental para a realização deste trabalho, bem como todo o apoio dos seus técnicos, nomeadamente o Eng^o Luis Fontes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Elli, E.F.; Sentelhas, P.C.; Freitas, C.H.; Carneiro, R.L. & Alvares, C.A. (2019) - Intercomparison of structural features and performance of Eucalyptus simulation models and their ensemble for yield estimations. *Forest Ecology and Management*, vol. 450, art. 117493. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117493>
- Feikema, P.M.; Morris, J.D.; Beverly, C.R.; Collopy, J.J.; Baker, T.G. & Lane P.N.J. (2010) - Validation of plantation transpiration in south-eastern Australia estimated using the 3PG+ forest growth model. *Forest Ecology and Management*, vol. 260, n. 5, p. 663-678. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.022>
- Landsberg, J.J.; Waring, R.H. & Coops, N.C. (2003) - Performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management*, vol. 172, n. 2-3, p. 199-214. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00804-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00804-0)
- Oliveira, T.S. (2015) - *Models to support eucalyptus plantations management under a changing environment*. Tese de Doutoramento em Engenharia Florestal e dos Recursos naturais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Palma, J.H.N.; Hakamada, R.; Moreira, G.G.; Nobre, S. & Rodriguez, L.C.E. (2021) - Using 3PG to assess climate change impacts on management plan optimization of *Eucalyptus* plantations. A case Study in Southern Brazil. *Scientific Reports*, vol. 11, art. 2708. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81907-z>
- Sands, P.J. & Landsberg, J.J. (2002) - Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management*, vol. 163, n. 1-3, p. 273-292. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00586-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00586-2)
- Santos, P.M.; Soares, P.; Mendes, A.M.S.C.; Caldeira, B.; Praxedes, J.; Brígido, S.; Pina, J.P.; Paulo, J.A.; Tomé, M.; Barreiro, S.; Palma, J.H.N.; Borges, J.G.C.; Garcia-Gonzalo, J. & Sottomayor, M. (2013) - *Estudo prospetivo para o setor florestal - relatório final*. AIFP - Associação para a Competitividade da Indústria da Fileira Floresta.
- Soares, P. & Tomé, M. (2003) - GLOBTREE: an Individual Tree Growth Model for *Eucalyptus globulus* in Portugal. In: Amaro, A.; Reed, D. & Soares, P. (Eds.) - *Modelling forest systems*. CAB International, p. 97-110.