

TEMPO DE PASSAGEM EM UM FRAGMENTO DE MATA ATLÂNTICA SOB RECUPERAÇÃO FLORESTAL UTILIZANDO MODELOS DE REGRESSÃO POLINOMIAIS

Luis Henrique de Andrade Guimaraes¹; Bruna Aguiar Lopes²; Heloísa Brenda Xavier Rodrigues²; Aline de Sá Carvalho²; Ivan da Costa Ilhéu Fontan³, Bruno Oliveira Lafetá⁴

1 Bolsista IFMG, Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG; andraderick2010@gmail.com

2 Engenharia Florestal, IFMG Campus São João Evangelista, São João Evangelista - MG

3 Coordenador: Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; ivan.fontan@ifmg.edu.br

4 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus São João Evangelista; bruno.lafeta@ifmg.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a acurácia de modelos de regressão polinomiais para projetar o crescimento em diâmetro e calcular o tempo de passagem por classe diamétrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal. O trabalho foi conduzido em um fragmento de Mata Atlântica no município de São João Evangelista - MG, em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. O inventário contínuo foi realizado aos 80 e 104 meses após início do processo de recuperação do fragmento de Mata Atlântica. A amostragem contemplou 9 parcelas permanentes quadradas de 20 x 20 m). As informações de incremento periódico anual (IPA, cm ano^{-1}) em diâmetro foram utilizadas para os cálculos do tempo de passagem e idade relativa. Avaliaram-se três modelos de regressão polinomial (1º, 2º e terceiro grau) para a estimativa da média de IPA em função do centro de classe diamétrico (cm). Todas as equações geradas com intercepto nulo apresentaram homocedasticidade de resíduos pelo teste de Breusch-Pagan ($p > 0,05$). Os coeficientes dessas equações foram significativos pelo teste t ($p \leq 0,05$). O modelo polinomial de terceiro grau ajustado exibiu os menores desvios (MDA = 0,70 e RQEM = 0,94). Para as ocasiões de manejo florestal sustentável policíclico com fins madeireiros, estimaram-se os ciclos de corte de, aproximadamente, 13 anos (159 meses) para o diâmetro mínimo comercializável de 20 cm. A idade relativa para os fustes alcançarem 5 cm de diâmetro foi de, aproximadamente, 4 anos (51 meses). Conclui-se que o modelo polinomial de 3º grau para a estimativa do incremento periódico anual é eficiente para cálculos relacionados ao tempo de passagem vegetal no fragmento em fase de recuperação florestal estudado. Neste fragmento, a estimativa do incremento periódico anual oscilou em torno de 1,26 a 1,99 cm ano^{-1} no intervalo de 5 a 25 cm de diâmetro.

INTRODUÇÃO:

A conservação de florestas tropicais é um dos maiores desafios ecológicos da atualidade. O prognóstico da dinâmica do crescimento vegetal fornece subsídios essenciais para uma plena administração de recursos madeireiros. Predições futuras do incremento em diâmetro de árvores permite inferências sobre o crescimento e tempo de passagem em diferentes classes diamétricas da vegetação lenhosa nativa.

Florestas tropicais sem perturbações tendem apresentar distribuições de frequência diamétrica na forma de J-invertido, com maior quantidade de fustes nas menores classes de tamanho, sustentando a contínua manutenção do estoque de crescimento da comunidade de árvores maiores (REIS et al., 2018). Tem-se a expectativa de que indivíduos lenhosos de menor porte apresentem maiores taxas de crescimento nos fragmentos em processo de recuperação do que em florestas maduras, em razão da maior competição por radiação luminosa inerente às condições de subdossel florestal (PIRES et al., 2021). Têm sido encontrados os seguintes incrementos até 10 cm de diâmetro, porém para as seguintes espécies da floresta Amazônica: $< 0,7 \text{ cm ano}^{-1}$ para *Erisma uncinatum* Warm., *Hymenolobium excelsum* Ducke e *Trattinnickia burserifolia* Mart. (CANETTI et al., 2021); $< 0,5 \text{ cm ano}^{-1}$ para *Carapa guianensis* Aubl. e *Tetragastris altissima* (Aubl.) Swart (PIRES et al., 2021) e; $< 0,2 \text{ cm ano}^{-1}$ para *Minquartia guianensis* Aubl. (ANDRADE et al., 2017).

O conhecimento da taxa de crescimento vegetal auxilia a tomada de decisões silviculturais em programas de manutenção e recomposição lenhosa, além do manejo sustentável (PIRES et al., 2021). O cálculo do rendimento sustentável requer informações sobre a dinâmica do crescimento vegetal para a estimativa do ciclo ideal de corte. Os sistemas de manejo podem ser resumidamente divididos em duas categorias: sistemas monocíclicos e policíclicos. O monocíclico se caracteriza pela remoção de todo o estoque de madeira de uma só vez e a próxima colheita, garantida pelas mudas de espécies comerciais presentes na regeneração. Já no sistema policíclico, as operações de colheita são aplicadas

periodicamente em apenas uma parte dos indivíduos e das espécies comerciais, executando-se os cortes em intervalos regulares, denominados de ciclos de cortes, com o objetivo de manter uma floresta multiânea ou inequiana, manejada, prioritariamente, para espécies comerciais (SOUZA; SOARES, 2013).

Embora haja múltiplas pesquisas sobre o tempo de passagem em florestas de maior porte, ainda são escassos os trabalhos em área de formação lenhosa mais inicial, como ambientes em processo de recuperação florestal, cuja a compreensão da dinâmica de crescimento ainda não se encontra completamente esclarecida. Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a acurácia de modelos de regressão polinomiais para projetar o crescimento em diâmetro e calcular o tempo de passagem por classe diamétrica de fustes em um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal.

METODOLOGIA:

O trabalho foi conduzido em um fragmento de Mata Atlântica no município de São João Evangelista - MG, em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. A região possui clima do tipo Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 20,2°C e 1.377mm, respectivamente (INMET, 2022).

O fragmento de Mata Atlântica possui 2,53ha e se encontra em fase de recuperação florestal desde novembro de 2013. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo ondulado e altitude de 690m.

O inventário contínuo foi realizado aos 80 e 104 meses após início do processo de recuperação do fragmento de Mata Atlântica. A amostragem contemplou 9 parcelas permanentes quadradas de 20 x 20 m (400m²). Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 10 cm foram mensurados com auxílio de fita métrica, sendo calculado o respectivo diâmetro (DAP, cm) pela razão entre CAP e o valor de π (3,141592654...).

O incremento periódico anual (IPA, cm ano⁻¹) dos fustes foi calculado pela diferença de diâmetro entre medições e, posterior, divisão pelo intervalo inventariado em anos. Os dados de diâmetro foram agrupados em classes de tamanho com amplitude de 4cm. Obteve-se os valores médios de IPA por classe de tamanho e parcela.

Avaliaram-se três modelos de regressão polinomial (1º, 2º e terceiro grau) para a estimativa da média de IPA em função do centro de classe diamétrico (CC, cm). Na análise de regressão linear, empregou-se o método dos mínimos quadrados ordinários. Nas ocasiões de parâmetro não significativo, o modelo foi reajustado com intercepto nulo. A modelagem foi realizada considerando toda a diversidade de espécies do fragmento florestal.

A qualidade dos ajustes foi avaliada conforme a significância dos parâmetros pelo teste t, Média dos Desvios Absolutos (MDA) e Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM). Menores valores de MDA e RQEM implicam em melhor qualidade preditiva. A homocedasticidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Breusch-Pagan.

Selecionou-se a equação mais precisa para a análise do tempo de passagem. O primeiro IPA da menor classe diamétrica foi estimado utilizando-se o menor DAP dos fustes mensurados. Os demais diâmetros foram definidos sucessivamente pela soma do DAP anterior com o seu IPA estimado. A primeira idade relativa foi calculada por meio da divisão do menor DAP mensurado pelo primeiro IPA estimado. Essa idade representou o tempo necessário para que um fuste ingresse na primeira classe diamétrica. O cálculo das demais idades relativas foi pautado na soma de 1 ano para cada IPA estimado, tendo a primeira idade relativa como base. O tempo de passagem entre as classes diamétricas foi encontrado por meio da diferença entre as menores idades relativas correspondentes a duas classes diamétricas consecutivas.

Para diagnóstico de efeito estatístico, considerou-se o nível de significância de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.1.3 (R CORE TEAM, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

O inventário florestal contemplou 595 fustes ha-1 e 464 árvores ha-1, amostrados em duas ocasiões. Os valores mínimos e máximos de DAP por fuste foram de 3,18 (aproximadamente 10 cm de CAP) a 24,16 cm na primeira ocasião e de 3,18 a 30,24 cm na segunda ocasião.

As regressões para as estimativas de incremento em diâmetro foram consideradas satisfatórias em virtude da diversidade genética, complexidade de processos ecológicos e da variabilidade do crescimento em ambiente inequiano (GOVEDAR et al., 2021). Todas as equações geradas com intercepto nulo para a estimativa de IPA apresentaram homocedasticidade de resíduos pelo teste de Breusch-Pagan ($p > 0,05$). Os coeficientes dessas equações foram significativos pelo teste t ($p \leq 0,05$). O modelo polinomial de terceiro

grau ajustado exibiu os menores desvios (MDA = 0,70 e RQEM = 0,94) e foi selecionado para as análises subsequentes de idade relativa e tempo de passagem.

Tabela 1. Coeficientes e qualidade de ajuste das equações polinomiais obtidas para a estimativa do incremento periódico anual médio por classe diamétrica (IPA, cm ano⁻¹) em função do centro de classe (CC, cm) para um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

Grau polinomial	Equação	MDA	RQEM
1º	$IPA = 0,121634 * CC$	1,05	1,28
2º	$IPA = 0,278447 * CC - 0,009289 * CC^2$	0,82	1,11
3º	$IPA = 0,594907 * CC - 0,053441 * CC^2 + 0,001339 * CC^3$	0,70	0,94

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A estimativa de idade relativa à qual o fragmento alcançou o diâmetro mínimo que o classifica biometricamente como estágio médio de regeneração (8 cm, CONAMA, 2007) ocorreu, aproximadamente, aos 5 anos. Esta informação é de grande relevância técnica para o planejamento de estratégias de manejo, uma vez que intervenções em domínio de Mata Atlântica são cada vez mais restritas com o avanço do seu estágio de regeneração, regulamentadas pela Lei 11.428 (BRASIL, 2006).

Para as ocasiões de manejo florestal sustentável policíclico com fins madeireiros, estimaram-se os ciclos de corte de, aproximadamente, 13 anos (159 meses) para o diâmetro mínimo comercializável (DMC) de 20 cm (Tabela 3). A fim de se manter o fragmento florestal nas condições de manejo impostas pela Lei 11.428 (BRASIL, 2006), é provável que haja a necessidade de eventual redução do DMC e intensificação da exploração com ciclos de corte mais curtos. É conveniente salientar que tal lei restringe o manejo em Mata Atlântica apenas a espécies arbóreas pioneiras e em fragmentos em estágios inicial ou médio de regeneração, cuja presença de pioneiras seja superior a 60% em relação aos demais grupos ecológicos.

Tabela 3. Estimativas de idade relativa e tempo de passagem por classe diamétrica para um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

Centro de classe (cm)	IPA (cm ano ⁻¹)	Idade mínima ----- (meses) -----	Idade máxima -----	Tempo de passagem (anos)
7,5	1,9924	51	63	1
12,5	1,7297	75	99	2
17,5	1,2570	111	147	3
22,5	1,7180	159	195	3

CONCLUSÕES:

O modelo polinomial de terceiro grau para a estimativa do incremento periódico anual se mostrou eficiente para cálculos relacionados ao tempo de passagem vegetal no fragmento em fase de recuperação florestal estudado. Neste fragmento, a estimativa do incremento periódico anual oscilou em torno de 1,26 a 1,99 cm ano⁻¹ no intervalo de 5 a 25 cm de diâmetro. A idade relativa para os fustes alcançarem 5 cm de diâmetro foi de, aproximadamente, 4 anos (51 meses).

Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para a definição de futuros programas conservacionistas (sem supressão da vegetação nativa) e/ou manejo sustentável na região de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; TORRES, C. M. M. E.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, L. F.; ANDRADE, D. F. C.; REIS, L. P. Crescimento diamétrico e tempo de passagem de *Minuartia guianensis* após manejo na Floresta Nacional do Tapajós. **Pesquisa Floresta Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 299-309, 2017.
- BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 20 out. 2022.

- CANETTI, A.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; BASSO, R. O.; FIGUEIREDO FILHO, A. A new approach to maximize the wood production in the sustainable management of Amazon forest. **Annals of Forest Science**, v. 78, n. 67, p. 1-21, 2021.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Portaria nº 392, de 25 de junho de 2007. Definição de vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=6991>. Acesso em: 20 out. 2022.
- GOVEDAR, Z.; KANJEVAC, B.; VELKOVSKI, N. Diameter structure of the stand and time of passage: an analysis in primeval forests Janj and Lom in Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). **Agriculture & Forestry**, v. 67, n. 4, p. 89-102, 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 20 out. 2022.
- PIRES, S. A. O.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, M. V. N.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, J. P. M.; SILVA, E. F. Growth modeling of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* for improved management in native forests in the Amazon. **Ecological Modelling**, v. 456, 109683, 2021.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2022.
- REIS, L. P.; SOUZA, A. L.; REIS, P. C. M.; MAZZEI, L.; SOARES, C. P. B.; TORRES, C. M. M. E.; SILVA, L. F., RUSCHEL, A. R., RÉGO, L. J. S., LEITE, H. G. Estimation of mortality and survival of individual trees after harvesting wood using artificial neural networks in the amazon rain forest. **Ecological Engineering**, v. 112, p. 140-147, 2018.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322p.