

## Otimização do Planejamento da Colheita Florestal: comparações entre restrições ARM e URM

Juliana Casellas Gonçalves <sup>1</sup> Cassius Tadeu Scarpin<sup>2</sup>  
PPGMNE/UFPR, Curitiba, PR

A indústria florestal possui grande importância devido a sua abrangência de utilização em diversas áreas e em diversos países. O planejamento florestal está dividido hierarquicamente em três etapas: estratégico, tático e operacional. No planejamento tático está o manejo florestal, que inclui as decisões de planejamento da colheita. A otimização do planejamento da colheita florestal pode ser feita utilizando modelos matemáticos, geralmente formulados por meio da programação linear inteira mista (PLIM). Neste trabalho, o objetivo é verificar as diferenças entre a aplicação do modelo matemático de agendamento da colheita florestal utilizando restrições espaciais de adjacência, que podem ser do tipo *Unit Restriction Model* (URM) e *Area Restriction Model* (ARM) e seus impactos no Valor Presente Líquido (VPL) e na produção volumétrica de madeira durante o horizonte de planejamento.

De acordo com [1], a diferença entre as abordagens URM e ARM é que a primeira impede a colheita de talhões adjacentes no mesmo ano do horizonte de planejamento (HP), desconsiderando a área. Por outro lado, nas restrições do tipo ARM, leva-se em conta a área dos talhões permitindo que talhões adjacentes sejam colhidos no mesmo ano, desde que a área do bloco formado não ultrapasse a área máxima de corte determinada.

Os dados utilizados no estudo de caso foram de uma floresta hipotética de 1153 ha subdividida em 100 talhões de *Pinus taeda* [2]. Os talhões possuem entre 11 e 15 anos no início do HP. Podem ser colhidas unidades com idades entre 13 e 19 anos. Foi feito um plano de colheita de 5 anos, considerando períodos anuais.

Com base nos modelos matemáticos apresentados por [1], [2], [3] e [4], determinamos 8 cenários diferentes, todos com a mesma função objetivo (FO) de maximização do VPL da floresta e variáveis binárias, mas com diferenças entre as restrições aplicadas: considerando o planejamento tradicional, o agendamento tradicional com equilíbrio de volume para evitar grandes flutuações no suprimento de madeira ao longo do HP e, por fim, cenários que também incluem restrições espaciais com ou sem equilíbrio da produção volumétrica de madeira.

O modelo matemático foi implementado no Microsoft Visual Studio 2019, em linguagem C#, utilizando o software *Gurobi* versão 9.5.0.

A solução ótima foi obtida na maioria dos cenários propostos. Apenas nos modelos com restrições URM as soluções encontradas tiveram GAP de até 0,01%, o que representa um resultado próximo do ótimo. Em relação ao tempo computacional, não foi analisado o tempo de execução de cada cenário, pois não apresentou diferenças significativas. Os resultados para a FO obtida em cada cenário encontram-se na tabela abaixo.

---

<sup>1</sup>julianacasellas@ufpr.br

<sup>2</sup>cassiusts@ufpr.br

Tabela 1: Resultados da função objetivo que maximiza o valor presente líquido para cada cenário.

| Cenário | Nome                     | VPL (R\$)     |
|---------|--------------------------|---------------|
| 1       | Livre                    | 31.742.015,95 |
| 2       | Equilíbrio               | 31.195.145,83 |
| 3       | URM                      | 31.618.600,86 |
| 4       | ARM (30 ha)              | 29.935.073,01 |
| 5       | ARM (35 ha)              | 30.833.171,98 |
| 6       | URM + Equilíbrio         | 30.973.174,90 |
| 7       | ARM (30 ha) + Equilíbrio | 29.388.202,89 |
| 8       | ARM (35 ha) + Equilíbrio | 30.286.301,86 |

Conforme o estudo apresentado por [4], a aplicação de restrições de adjacência reduz o valor do VPL, de acordo com cada tipo (ARM ou URM), sendo a maior redução para as restrições ARM a do cenário 7 (ARM 30 ha com restrições de equilíbrio) de -7,42% no VPL em relação ao cenário livre. Para as restrições do tipo URM, a maior redução foi de -2,42%, no cenário 6 (URM com restrições de equilíbrio). Além da diminuição do VPL, também pode ser observado a redução na produção volumétrica. No cenário com restrições do tipo ARM, com o aumento do limite de área máxima de 30 para 35 ha, o agendamento da colheita dos talhões se aproximou mais da configuração obtida no cenário livre devido a flexibilização da restrição com o aumento da área limite, assim como no estudo apresentado por [1]. Com valores acima de 40 ha, para os dados analisados, o valor do VPL se iguala ao valor obtido no cenário livre. As perdas volumétricas totais observadas nos cenários com restrições ARM ou URM ficaram abaixo de 8%, quando comparadas ao planejamento florestal tradicional e abaixo de 6% considerando o cenário que inclui apenas as restrições de equilíbrio da produção em relação ao primeiro ano do horizonte de planejamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro e a Universidade Federal do Paraná.

## Referências

- [1] A. L. D. Augustynczyk, J. E. Arce e A. C. L. D Silva. “Spatial forest harvest planning considering maximum operational areas”. Em: **Cerne** 21.4 (2015), pp. 649–656. DOI: 10.1590/01047760201521042006.
- [2] R. N. Correa et al. “Application of relax-and-fix heuristic in the aggregation of stands for tactical forest scheduling”. Em: **Forest Policy and Economics** 119 (2020), pp. 102–284. DOI: 10.1016/j.forpol.202.102284.
- [3] M. Constantino, I. Martins e J.G Borges. “A New Mixed-Integer Programming Model for Harvest Scheduling Subject to Maximum Area Restrictions A New Mixed-Integer Programming Model for Harvest Scheduling Subject to Maximum Area Restrictions”. Em: **Operations Research** 56.3 (2008), pp. 542–551. DOI: 10.1287/opre.1070.0472.
- [4] L. R. Gomide, J. E. Arce e A. C. L. D Silva. “Comparação entre a meta-heurística simulated annealing e a programação linear inteira no agendamento da colheita florestal com restrições de adjacência”. Em: **Ciência Florestal** 23.2 (2013), pp. 449–460. DOI: 10.18677/EnciBio\_2020D11.