

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GERARDO FELIPE ESPINOZA PÉREZ

PLANEJAMENTO OTIMIZADO DE COLHEITA FLORESTAL UTILIZANDO
SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

CURITIBA
2016

GERARDO FELIPE ESPINOZA PÉREZ

PLANEJAMENTO OTIMIZADO DE COLHEITA FLORESTAL UTILIZANDO
SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de MBA em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

CURITIBA
2016

Aos meus pais e família, pelo seu amor e por sempre incentivarem o meu crescimento pessoal e profissional.

À minha esposa e eterna namorada Silvana, pelo seu amor e companheirismo.

Às minhas filhas Bruna e Maria Luísa (in memoriam), razões do meu viver.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de MBA em Gestão Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Dr. João Carlos Garzel, pelo apoio recebido.

Ao Prof. Dr. Julio Eduardo Arceda Universidade Federal do Paraná por me orientar no processo de elaboração deste trabalho, pela sua paciência na demonstração e explicação do software OpTimber LP, e pelas contribuições e sugestões dadas para o presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Jan Kašpar da Universidade Checa de Ciências da Vidapor todos os esforços realizados para adaptar o aplicativo *DSS Optimal* às condições brasileiras de produção de eucalipto e pelas contribuições dadas para o presente trabalho, sem as quais não teria sido possível realizá-lo.

Aos colegas de turma da pós-graduação da UFPR, por estarem sempre prontos a ajudar.

Aos meus amigos e colegas do Brookfield Brazil Timber Fund pela amizade e convívio, em especial a Lucas Soares Amaral, engenheiro florestal, amigo colega de empresa, por ter embarcado comigo nesta jornada de especialização, por suas opiniões e contribuições dadas na elaboração do presente trabalho e pelo apoio nos raros momentos de desânimo.

Aos meus gestores da Frigg Florestal S/A, Laysson Guillen Albuquerque e Richard Haight pelo apoio à realização do curso de pós-graduação, em especial a Kleber Schreiber, pela amizade e pelas contribuições e disponibilização dos dados necessários para a elaboração do presente trabalho.

Ao departamento de recursos humanos do Brookfield Brazil Timber Fund, por fomentar, facilitar e contribuir para a participação dos colaboradores da empresa em cursos de aperfeiçoamento e de desenvolvimento, tanto profissional como pessoal.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

A grande complexidade dos problemas envolvidos no planejamento florestal faz com que o uso de Sistemas de Apoio à Decisão (SADs) seja uma importante ferramenta dos gestores na elaboração rápida e assertiva de planos estratégicos. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar a importância dos SADs no planejamento da colheita florestal, mostrando a sua aplicabilidade por meio de simulações de agendamento otimizado, geradas a partir de um SAD disponível no mercado. Foram realizadas três simulações de agendamento da colheita florestal variando a aplicação de restrições (de produção e espaciais). De acordo com os resultados obtidos, a introdução de restrições no modelo de otimização permitiu a construção de cenários que promoveram o equilíbrio do fluxo de produção e a minimização de problemas logísticos de deslocamento de máquinas e equipes, por meio do agrupamento de talhões em blocos de colheita. A aplicação de restrições reduziu o VPL em até 1,54%. Os resultados apresentados mostraram a importância dos SADs no planejamento florestal, como importantes ferramentas de auxílio para tomada de decisão, na busca do equilíbrio entre lucratividade e sustentabilidade.

Palavras-chave: Sistemas de Apoio à Decisão. Agendamento de Colheita.
Otimização. Planejamento Florestal

ABSTRACT

The great complexity of the problems involved in forest planning makes the use of Systems Decision Support (DSS) is an important tool for managers in the rapid development and assertive strategic plans. Therefore, this study aimed to analyze the importance of SADs in planning forest harvesting, showing its applicability through optimized scheduling simulations generated from a SAD available in the market. Three scheduling simulations of forest harvesting were performed, varying the application of restrictions (of production and spatial). According to the results, the introduction of restrictions on the optimization model allowed to build scenarios that promoted balanced production flow, minimize logistical problems of displacement machines and teams by grouping stands in harvest blocks with low impact on maximizing Net Present Value (NPV) of the forest project. The applied restrictions reduced the NPV up 1.54%. The results presented showed the importance of SADs in forest planning in improving decision making in the search for balance between profitability and sustainability.

Keywords: Decision Support Systems. Harvest Scheduling. Optimization. Forest Planning

SÚMARIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE GRÁFICOS.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL	2
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4 RESULTADOS	14
5 CONCLUSÃO.....	22
6 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da estrutura hierárquica de funcionamento do planejamento florestal (GOMIDE,2009).	4
Figura 2 - Uso e ocupação da terra da unidade produtora.....	11
Figura 3 - Classificação das áreas de plantio em função da idade.	12
Figura 4 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período de forma a maximizar o VPL, sem a inserção de restrições.	14
Figura 5 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período, de forma a maximizar o VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.	16
Figura 6 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período, de forma a maximizar o VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL sem restrições.	15
Gráfico 2 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL sem restrições.....	15
Gráfico 3 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.....	17
Gráfico 4 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.	17
Gráfico 5 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.	19
Gráfico 6 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.	19
Gráfico 7- Área colhida por período nos diferentes cenários de otimização do agendamento a colheita florestal.....	20
Gráfico 8 - Volume de madeira produzido por período nos diferentes cenários de otimização do agendamento da colheita florestal.....	20

1 INTRODUÇÃO

O planejamento florestal pode ser definido como a organização das várias atividades a serem realizadas ao longo do tempo em um povoamento florestal, com a finalidade de alcançar os objetivos definidos no projeto inicial, garantindo a sustentabilidade dos recursos florestais a longo prazo, bem como o fluxo constante de madeira (PASCOA et al.,2013).

O planejamento da produção florestal envolve a gestão de uma grande quantidade de áreas plantadas, operações e pessoas. Por isso, muitas vezes, diferentes áreas do processo de produção competem pelos mesmos recursos, o que faz com que a alocação destes recursos seja uma tarefa complexa (AUGUSTYNCZIK, 2014).

Sendo assim, o grande desafio dos gestores florestais está em analisar as alternativas possíveis e elaborar planos de manejo de longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e curto prazo, respeitando limitações operacionais e resultando em um fluxo adequado e sustentável de produção (BANHARA et al., 2010; BARROS JUNIOR, 2010).

Considerando a grande complexidade dos problemas envolvidos no planejamento florestal, o excessivo número de variáveis, a necessidade de respostas às diversas questões em um curto espaço de tempo, a necessidade do uso de diferentes modelos e o elevado volume de dados para alimentar tais modelos, o uso de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) torna-se uma importante ferramenta para os gestores florestais (BARROS JUNIOR, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a importância dos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) no planejamento otimizado da colheita florestal.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Analisar, por meio do Sistema de Apoio à Decisão (SAD), o efeito de restrições de produção e de restrições espaciais no agendamento otimizado da colheita de uma unidade de produção florestal real.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na indústria florestal a colheita de madeira é considerada uma das etapas mais importantes do ponto de vista econômico, devido à sua influência sobre o custo total de produção (LIMA, 2009). Segundo LIMA (2009), corroborado por RUDEK (2015), a colheita de madeira representa cerca de 50% dos custos totais da madeira entregue à indústria.

Devido à sua grande importância no processo produtivo, as operações de colheita florestal devem ser planejadas com bastante antecedência e sempre orientadas para a minimização de custos, otimização de rendimentos e redução de impactos ambientais (MACHADO, 2006).

Em grandes companhias florestais os processos de tomadas de decisão de planejamento florestal geralmente são organizados por uma estrutura hierárquica composta por diferentes níveis de planejamento (estratégico, tático e operacional) e ocorre com diferentes graus de detalhamento (SILVA,2015).

Os objetivos e planos gerados em cada nível devem ser consistentes e interligados, tornando-se mais específicos e envolvendo períodos de tempo menores à medida que o planejamento caminha do nível estratégico para o operacional (BANHARA et al., 2010).

No planejamento estratégico as decisões estão relacionadas com a sustentabilidade ambiental e econômica do empreendimento, definindo as metas volumétricas de colheita em longo prazo, potencialmente por espécie e tipo de produto, bem como a distribuição por classes de idade da floresta futura. Já no planejamento tático as decisões são mais pertinentes às práticas de manejo empregadas nos compartimentos da floresta, assim como o agendamento da colheita, visando atingir as metas de produção volumétrica estabelecidas no modelo definido pelo plano estratégico (SILVA,2015; GOMIDE,2009).

Por tratar de decisões que impactam o empreendimento em longo prazo, o horizonte do planejamento estratégico é delineado em grandes escalas temporais, geralmente superior a 10 anos. Já no nível tático, os horizontes de planejamento giram em torno de cinco anos, divididos em períodos anuais ou mensais, de acordo com os objetivos delineados pela empresa (SILVA,2015).

A relação entre os níveis de planejamento, o grau de detalhamento e a variação do horizonte de planejamento (escala de tempo) podem ser

entendidos por meio do fluxograma adaptado por GOMIDE (2009), apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Fluxograma da estrutura hierárquica de funcionamento do planejamento florestal (GOMIDE,2009).

O planejamento florestal é um tema complexo, que abrange desde aspectos relacionados com o crescimento das árvores até aspectos ambientais amplos dos ecossistemas, passando pela melhoria das espécies, pelo plano de exploração, qualidade da paisagem, preservação do ambiente, matemática dos modelos de crescimento e de otimização, entre outros (BARROS JUNIOR,2010).

Sendo assim, o grande desafio dos gestores florestais está em analisar as possíveis alternativas disponíveis e elaborar planos de manejo de longo prazo, bem como estabelecer as metas a serem atendidas em médio e curto prazo, respeitando limitações operacionais e resultando em um fluxo adequado e sustentável de produção (BANHARA et al., 2010; BARROS JUNIOR,2010).

Neste contexto, em função da complexidade de interação entre as inúmeras variáveis existentes no processo produtivo, observa-se que para alcançar múltiplos objetivos, os gestores florestais necessitam, além de grande habilidade e experiência, ferramentas adequadas para apoiá-los na tarefa de tomada de decisão (BARROS JUNIOR,2010).

Entre as diversas ferramentas matemáticas aplicadas na otimização do planejamento da produção florestal, as técnicas de programação linear (PL) têm grande destaque e ampla utilização.

Segundo AUGUSTYNCZIK (2014), a programação linear (PL) é um método da Pesquisa Operacional aplicado à solução de problemas que objetivam a otimização de um sistema de estudo.

Embora estudos sobre a utilização de programação linear na resolução de problemas de otimização já estivessem sendo elaborados em 1939, no leste europeu, por estudiosos como Kantorovich e Gauvin, foi somente a partir de 1949 que este método matemático teve destaque, devido principalmente ao algoritmo desenvolvido por George B. Dantzig, denominado método Simplex (SOUZA, 2007).

O *Simplex* surgiu como uma extraordinária ferramenta, capaz de localizar, com muita eficiência, a solução ótima em problemas com inúmeras soluções factíveis, e abriu o caminho para o surgimento de métodos mais sofisticados de programação (ARCE, 2016; GOMIDE, 2009).

O *Simplex* é um procedimento algébrico que, quando implementado em programas de computador (softwares), pode resolver problemas com milhares de variáveis e restrições de forma rápida e eficiente (ARCE, 2016).

No gerenciamento florestal, a programação linear é principalmente utilizada na definição de: quando, quanto e onde cortar; onde, quando e quanto reformar; e qual regime de manejo adotar em cada talhão. Sempre respeitando restrições operacionais e de recursos da empresa e, ao mesmo tempo, maximizando os retornos sobre os investimentos realizados (SANTOS, 2015).

Segundo SANTOS (2015), a aplicação de programação matemática em problemas de grande escala na área florestal apresenta cinco passos a serem seguidos quando da aplicação da programação linear: a) determinar se o problema pode ou não ser resolvido; b) se tiver solução, dar uma solução ótima; c) deduzir restrições de rendimento monetário, mão-de-obra disponível, tipos de atividades; d) maximizar o rendimento para uma dada receita ou prever um nível de produção especificado para um custo mínimo; e) prever uma receita, a qual inclua todos os custos dos vários projetos.

Neste contexto, nota-se que a complexidade dos problemas envolvidos no planejamento florestal, o excessivo número de variáveis, a necessidade de respostas às diversas questões em um curto espaço de tempo, a necessidade do uso de diferentes modelos e o elevado volume de dados para alimentar tais modelos são alguns dos fatores que justificam a necessidade do uso de

Sistemas de Apoio à Decisão, mais conhecidos como SADs ou DSSs (BARROS JUNIOR, 2010).

Segundo GOMIDE (2009), os primeiros SADs foram desenvolvidos nos Estados Unidos. O *Timber RAM (Resources Allocation Method)* foi o primeiro software desenvolvido para solucionar problemas florestais, seguido pelo software *MaxMillion*. Ambos os sistemas foram criados no início da década de 70 visando a utilização de técnicas de programação linear (PL) na regulação de florestas a curto prazo.

Segundo o mesmo autor, posteriormente, no final da década de 70, foram desenvolvidos outros softwares que utilizavam a programação linear para a resolução de problemas, como o *MUSYC (Multiple Use Sustained Yield Calculation)* e o CPLAN, sendo este último desenvolvido com o apoio do Departamento de Serviço Florestal Neozelandês. Nesta década também foi desenvolvido o software *FORPLAN (Forest Planning Language and Simulator)* para o planejamento de áreas naturais a longo prazo.

A partir da década de 80, com a difusão das técnicas de programação linear para solução de problemas florestais, diversos países passaram a desenvolver suas próprias soluções. Nesta década, foram desenvolvidas no Brasil as primeiras aplicações de ferramentas de apoio à tomada de decisão para o setor florestal.

O PLANFLOR[®] foi o primeiro software nacional a apresentar um módulo de programação linear de grande porte, desenvolvido entre 1984 e 1988, pelos pesquisadores brasileiros Taube Netto e Lopes (GOMIDE, 2009).

Na década de 90, em função de algumas limitações do método de programação linear, e dos avanços tecnológicos em hardwares para o processamento de grandes quantidades de dados, começaram a ser desenvolvidos novos métodos matemáticos para solução de problemas florestais, que elevaram os SADs a um novo patamar. Dentre as técnicas desenvolvidas a partir do final da década de 90 podem ser citados os algoritmos heurísticos e metaheurísticos, como o *Iterated Local Search (ILS)* e o *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP)*, que introduziram o conceito de Programação Multiobjetivo (PMO).

Metaheurísticas são técnicas de obtenção de resultados aproximados, de maneira ágil, que precisam sofrer mudanças constantes relacionadas aos parâmetros dos algoritmos para garantir a adaptação aos problemas, em que

uma simples combinação menos eficiente destes parâmetros leva a respostas divergentes, distantes do ótimo (SILVA, 2015)

Outra importante evolução dos métodos de otimização foi a introdução de variáveis espaciais nos métodos de resolução de problemas de colheita florestal.

De acordo com AUGUSTYNCZIK (2014), um dos maiores desafios das empresas florestais no planejamento da colheita florestal está relacionado à questão logística, ou seja, em analisar a disposição espacial das unidades de manejo a serem colhidas de modo que seja possível conciliar interesses econômicos e ambientais.

Assim, surge o conceito de planejamento florestal espacial, no qual as unidades florestais devem ser analisadas de acordo com o seu tamanho, forma e/ou distribuição dentro da floresta, o que não era comum no planejamento florestal tradicional (GOMIDE, 2010).

Segundo AUGUSTYNCZIK (2014), os métodos tradicionais utilizados no planejamento da colheita florestal geralmente são destinados a maximizar a função de lucro, durante um período definido de tempo, garantindo o equilíbrio no fluxo volumétrico da madeira. No entanto, esta visão bidimensional do problema pode refletir em impactos negativos ao meio ambiente, pois as relações espaciais entre os talhões são desconsideradas.

Segundo o mesmo autor, modelos de gestão que integram preocupações quanto à localização geográfica das atividades florestais contribuem para evitar níveis de segregação de planejamento estratégico e operacional. Além disso, este tipo de modelo de gestão fornece as informações necessárias para resolver problemas relacionados com o transporte de produtos florestais e/ou o arranjo espacial das operações silviculturais

Sendo assim, um dos pontos-chave do planejamento florestal espacial é a combinação do agendamento da colheita ideal com a dispersão espacial das unidades de colheita, uma vez que as variações em qualquer um desses fatores envolvem não só impactos ambientais, mas também aspectos de logística operacional.

Unidades de colheita localizadas de forma dispersa na unidade de produção causam impactos ambientais menores, no entanto, podem causar problemas logísticos nas operações de colheita e no transporte da madeira, aumentando assim os custos de produção.

Dessa forma, em função das importantes evoluções nos métodos de otimização florestal e dos avanços tecnológicos em software e hardware, atualmente os gestores florestais têm a seu dispor potentes SADs, que permitem obter resultados de forma rápida e assertiva. Com isso, podem incluir em seus modelos de planejamento uma quantidade enorme de variáveis, sejam elas referentes à produção, às possíveis restrições ambientais, ou ainda, restrições espaciais.

Segundo BORGES et al. (2014), atualmente existem aproximadamente 265 SADs, em todo o mundo, que podem ser utilizados na elaboração de planos estratégicos, táticos e/ou operacionais para florestas nativas ou florestas plantadas. De acordo com o levantamento realizado pelo autor, 77% dos SADs existentes são para planejamentos de longo prazo (nível estratégico) e 23% para planejamentos de médio e curto prazo (níveis tático e operacional). No quesito espacial, aproximadamente 63% dos SADs são integrados com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Já no que diz respeito ao perfil dos usuários, 45% dos usuários estão ligados ao meio acadêmico, 5% a órgãos públicos e 50% a gestores florestais e consultores.

Dentro da vasta gama de SADs utilizados no setor florestal, é possível destacar softwares como o *Remsoft Woodstock*, o *SNAP for ArcGIS*, o *DSS Optimal* e o *OpTimber LP* (software nacional), que permitem utilizar os conceitos de planejamento florestal espacial utilizando tanto métodos de programação linear (LP) como programação multiobjetivo (PMO).

O *Remsoft Woodstock* é uma suíte de softwares comerciais criada para desenvolver e analisar planos de manejo florestal espacial detalhados de longo prazo. É baseado em uma abordagem iterativa e hierárquica, que tem início no nível de planejamento estratégico, passa pelo nível tático e termina no nível operacional, e utiliza Programação Linear Inteira Mista (PLIM) na resolução de problemas. A suíte é comumente usada para agendamento de colheita, análises de abastecimento de madeira, planos de gestão da vida selvagem e simulações de ecossistemas florestais. No Brasil, empresas de grande porte como Suzano, Duratex, Klabin, Fibria, Brookfield Brazil Timber, Eldorado entre outras, utilizam o *Remsoft Woodstock* para realizar o planejamento florestal otimizado.

A suíte de produtos é composta pelos seguintes softwares:

- Spatial Woodstock: ferramenta espacial para gestão e análise de dados que apresenta espacialmente os modelos criados no Woodstock;
- Stanley: ferramenta que utiliza os resultados gerados no Spatial Woodstock e automaticamente cria o agendamento de colheita dos blocos ou unidades de produção;
- Allocation Optimizer: permite considerar todas as opções de alocação no contexto de uma estratégia global de gestão florestal.

O *SNAP for ArcGIS* é um conjunto ferramentas desenvolvidas pelo Serviço Florestal do Departamento Norte-Americano de Agricultura (USDA) para serem utilizadas no software de geoprocessamento ArcGIS. O *SNAP for ArcGIS* foi criado com o objetivo de simplificar a programação e planejamento da colheita e transporte de madeira. Usando modernas técnicas de otimização, permite agendar a colheita da madeira de até três ciclos, considerando os custos de colheita, diversos tipos de produtos, diferentes destinos de entrega e sistemas de transporte. O aplicativo maximiza o valor presente líquido (VPL) ou minimiza os custos de colheita e transporte, ao longo do horizonte de planejamento, considerando restrições espaciais, de volume de colheita e de área cultivada. Trata-se de uma ferramenta para uso educacional, que pode ser utilizada sem custos, mediante solicitação ao desenvolvedor (CHUNG et al., 2012).

O *DSS Optimal* é uma ferramenta desenvolvida pela Faculdade de Engenharia Florestal e Ciências da Madeira da Universidade Checa de Ciências da Vida, para ser utilizada no software de geoprocessamento ArcGIS desde que associado ao software de otimização matemática Gurobi Optimizer.

O *DSS Optimal* foi originalmente criado para apoiar o manejo florestal na Europa Central e utiliza modelos de crescimento associado a métodos de Programação Linear Inteira (PLI) para definir o agendamento espacial da colheita de madeira. Esta ferramenta permite maximizar a produção considerando restrições espaciais de adjacência e área colhida, e restrições de fluxo de volume colhido ao longo do horizonte de planejamento. Em 2016 foi desenvolvida uma nova versão da ferramenta, na qual foram inseridos modelos de crescimento de eucalipto no cerrado de Minas Gerais. Foram inseridos

novos métodos de restrição espacial (restrição de dispersão) e foi incluída ainda a função-objetivo de maximização do Valor Presente Líquido (VPL).

Desta forma, a nova versão denominada *DSS Optimal Samba*, apresentada durante a Conferência Internacional de Tecnologias de Sistemas de Apoio à Decisão (ICDSST 2016) realizada em Plymouth no Reino Unido, permite definir o agendamento da colheita em blocos de talhões de eucalipto, de forma que o VPL seja maximizado. Trata-se de uma ferramenta para uso educacional, que pode ser utilizada sem custos, mediante solicitação ao desenvolvedor (KAŠPAR et al., 2016).

O *OpTimber-LP* é um software comercial desenvolvido no Brasil pela Optimber Otimização e Informática Ltda., que utiliza como solver o software LINGO, e permite realizar planejamentos florestais otimizados nos níveis estratégico e tático. Este software permite gerar agendamentos de colheita florestal incorporando restrições operacionais e apresenta os resultados espacialmente em um visualizador próprio. O software é bastante flexível e permite incluir novas restrições (inclusive espaciais) por meio de scripts desenvolvidos em linguagem de comandos LINGO.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho foram utilizadas informações de uma unidade de produção florestal pertencente à Brascan Empreendimentos Florestais Ltda., localizada em Olhos D' Água/MG, região inserida no bioma cerrado, que apresenta clima tropical com inverno seco (Aw), temperatura média anual de 25°C e índice pluviométrico de 1100 mm/ano.

A unidade de produção, denominada Bloco Santa Rita, é composta por três imóveis rurais que totalizam 7.516,63ha, sendo aproximadamente 64% (4.786,37ha) da área destinada ao cultivo de eucalipto. O uso e ocupação do solo da unidade de produção florestal podem ser visualizados na Figura 2.

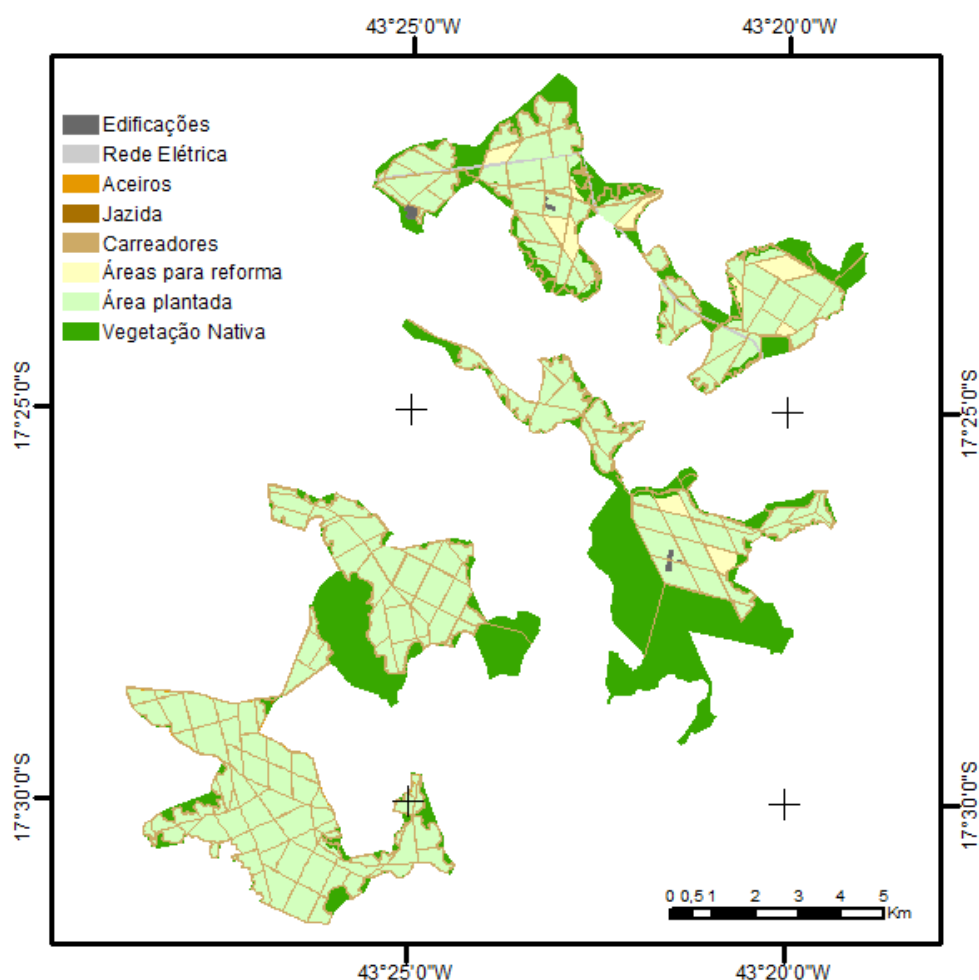


Figura 2 - Uso e ocupação da terra da unidade produtora.

Desta área, aproximadamente 95% está ocupada com povoamentos equiâneos de eucalipto, com idades variando entre 0,1 e 7,1 anos (Figura 3). O restante está em processo de reforma para novos plantios. O povoamento

florestal é composto por diversos clones da espécie *Eucalyptus urophylla* e de híbridos desta com a espécie *Eucalyptus grandis*.

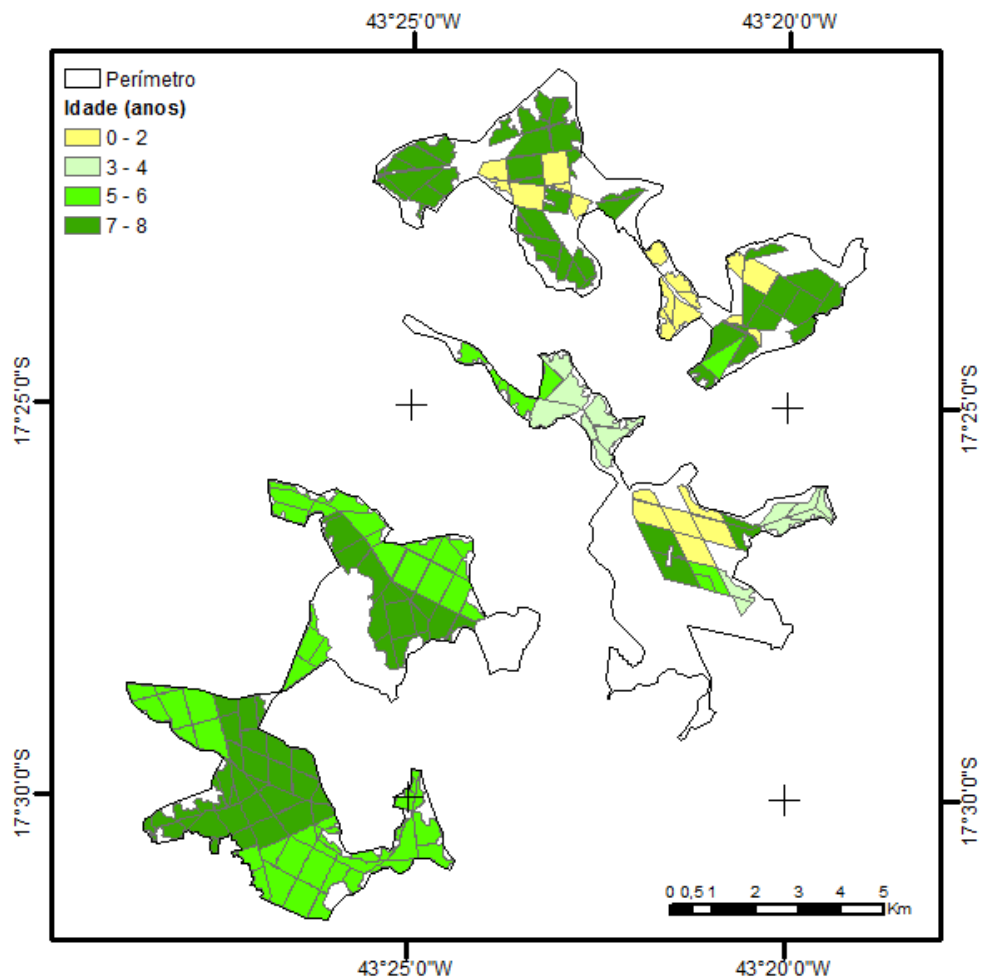


Figura 3 - Classificação das áreas de plantio em função da idade.

As previsões volumétricas para o período de 2014 a 2021, os dados de custos de implantação, manutenção e colheita, receitas, assim como os dados cadastrais, foram gentilmente cedidos pelo Departamento de Planejamento da empresa proprietária.

Para estabelecimento do agendamento otimizado de colheita florestal foi utilizado o aplicativo *DSS Optimal Samba*, associado aos softwares ArcGIS 10.3 e Gurobi 6.5.

Foram realizadas três simulações de agendamento da colheita florestal variando a aplicação de restrições no modelo. Na primeira simulação foi gerado um cenário onde houve a maximização do VPL sem qualquer tipo de restrição. Na segunda simulação foi introduzida uma restrição na quantidade de área

colhida por período, na qual a diferença de área colhida entre períodos não deve ultrapassar 15%. Na terceira e última simulação, foi adicionada uma restrição espacial, na qual os talhões a serem colhidos devem ser agrupados em blocos com raio máximo de 10km. Os resultados são discutidos a seguir.

4 RESULTADOS

De acordo com os resultados da primeira simulação, em que buscou-se a maximização do VPL sem qualquer tipo de restrição, a seqüência de colheita que permitiu atingir a função-objetivo é apresentada na Figura 4.

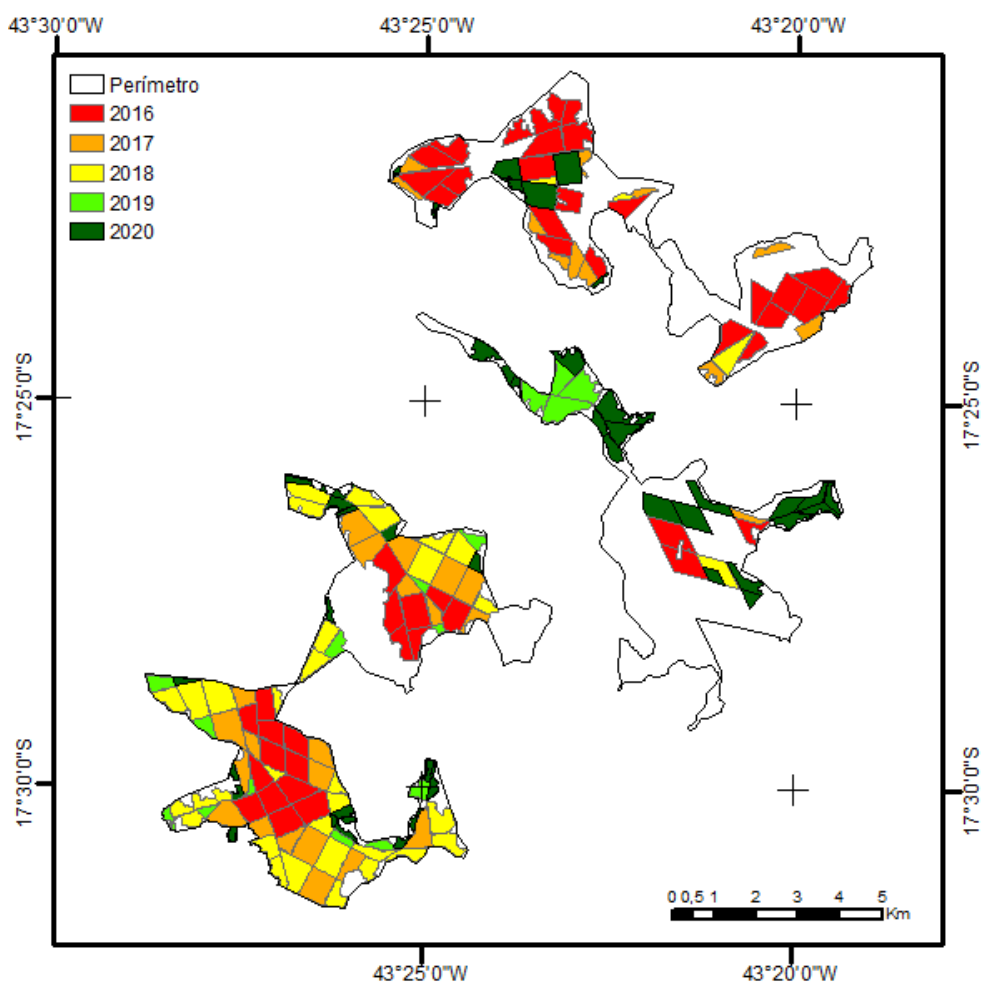


Figura 4 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período de forma a maximizar o VPL, sem a inserção de restrições.

Apesar da função-objetivo ter sido atingida, ao avaliar o fluxo de volume de madeira e de área cortada em cada período, é possível observar, por meio dos Gráficos 1 e 2, que há um excesso de produção no primeiro período e escassez de madeira no quarto período de produção, ficando evidente o desequilíbrio na produção de madeira. Este desequilíbrio dificulta o planejamento operacional, pois torna extremamente complexo o dimensionamento de máquinas e mão-de-obra necessárias para atender os diferentes picos de produção.

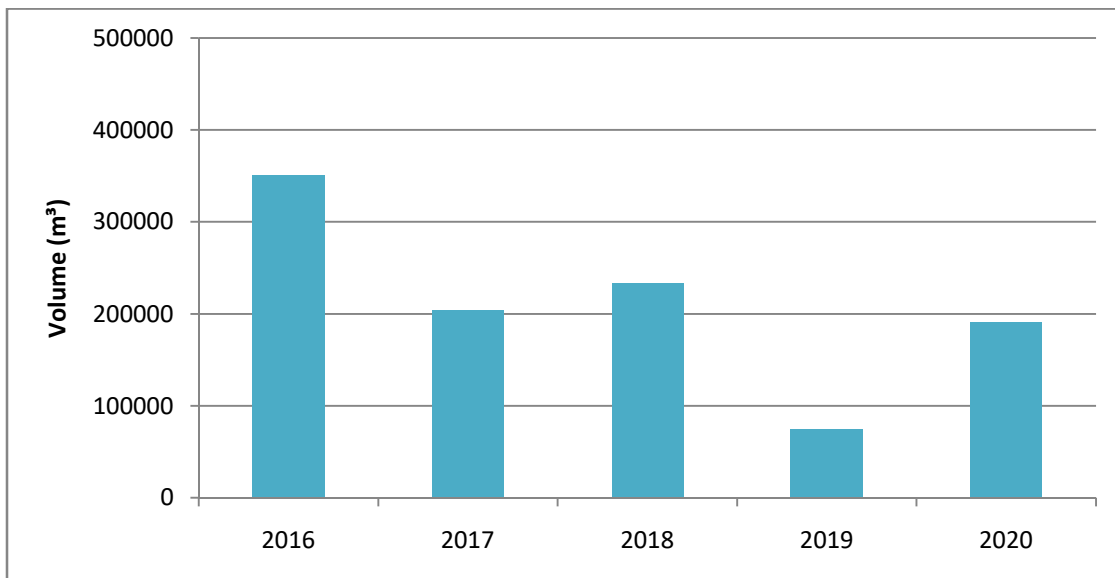


Gráfico 1 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL sem restrições.

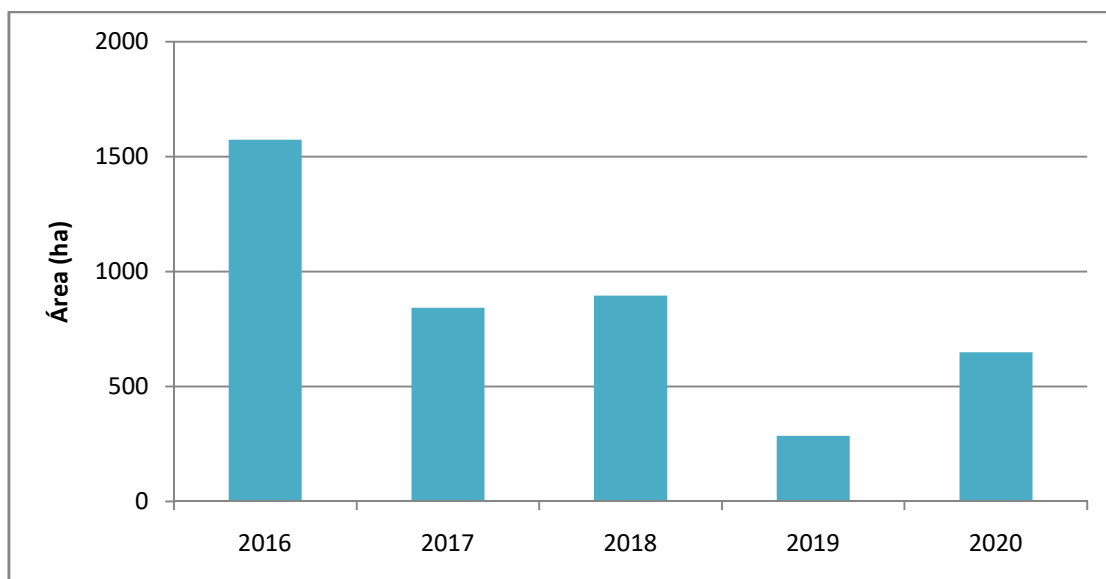


Gráfico 2 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL sem restrições.

Sendo assim, introduzir restrições de fluxo de volume de madeira e/ou de área de corte ajuda o planejamento operacional, pois, ao estabilizar a produção de madeira, evita-se a ociosidade ou sobrecarga de equipamentos, máquinas e mão-de-obra e permite gerir melhor os custos operacionais, não somente da equipe de colheita, mas também da equipe de silvicultura no próximo ciclo.

O resultado da introdução de restrições na quantidade de área colhida por período, no agendamento da colheita, pode ser visto na Figura 5.

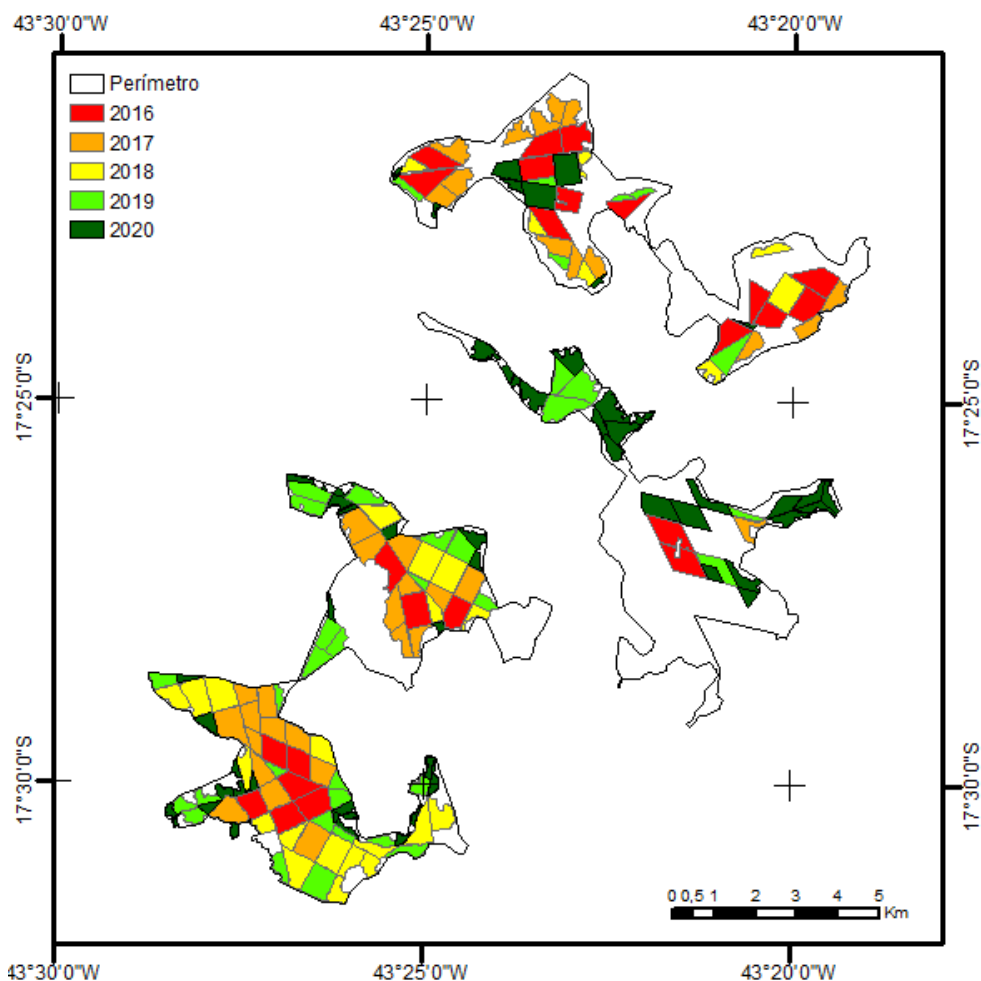


Figura 5 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período, de forma a maximizar o VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.

A introdução desta restrição (variação da área colhida por período em até 15%), provoca uma equalização na produção de madeira, diminuindo os picos de excesso e escassez de fornecimento de madeira (Gráfico 3) e disponibiliza áreas para reforma de forma equilibrada (Gráfico 4). No entanto, tem como efeito colateral uma redução de 0,4% do VPL, quando comparado à simulação sem restrições.

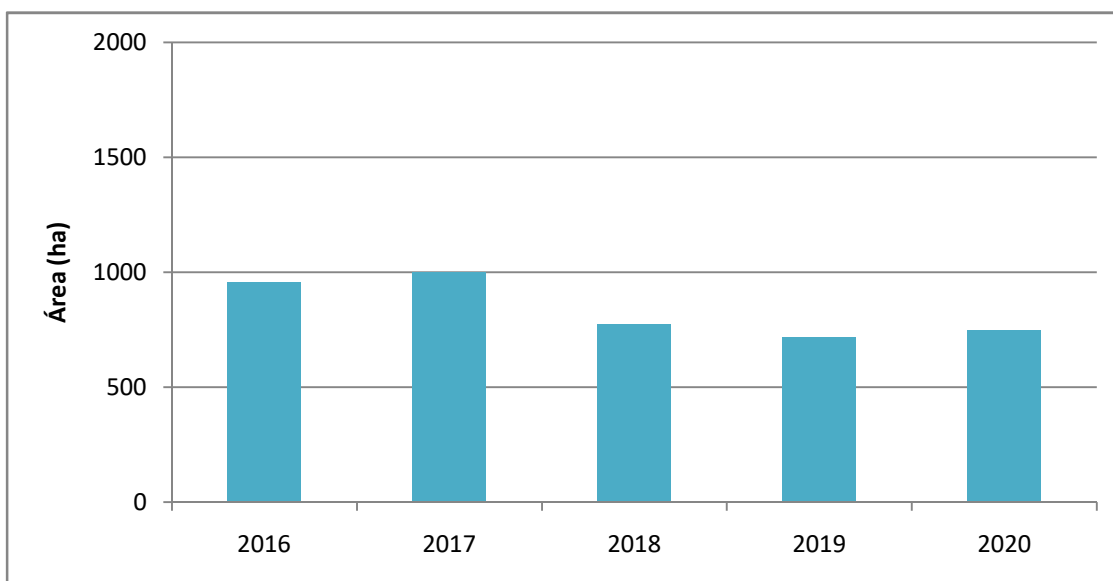


Gráfico 3 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.

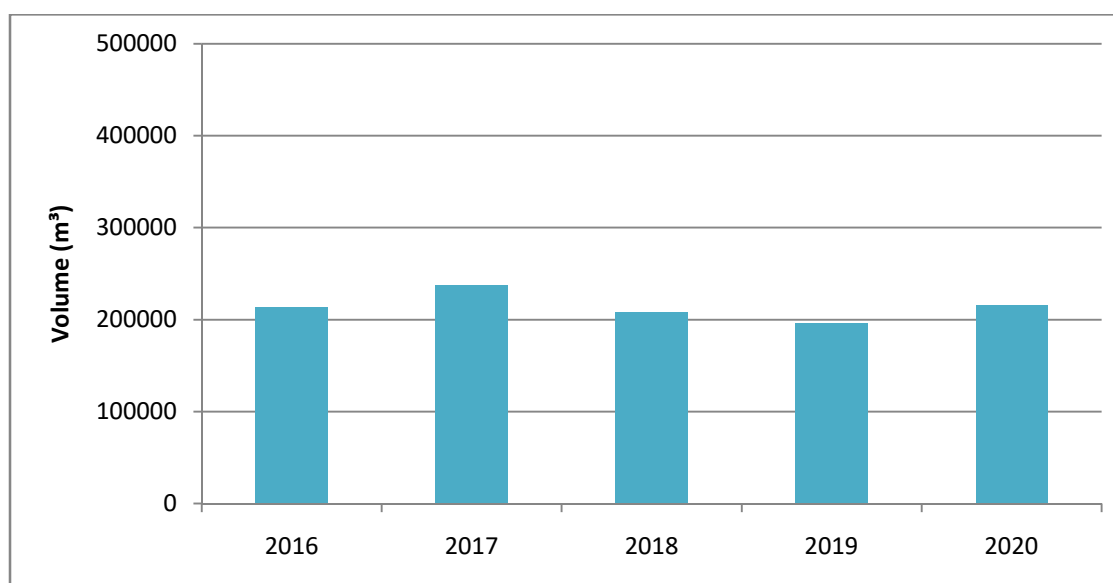


Gráfico 4 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período.

Apesar de haver uma redução do VPL, este cenário permite uma melhor gestão de máquinas e mão-de-obra, tanto das operações de colheita como de silvicultura, o que pode vir a tornar esta diferença pouco significativa, se considerados os possíveis ganhos obtidos pelo aumento da eficiência de alocação de recursos por meio da otimização do planejamento.

No entanto, é possível notar, tanto no cenário sem restrições como naquele em que é introduzida uma restrição de quantidade de área colhida por período, que há certa dispersão dos talhões a serem colhidos. Isto pode aumentar a complexidade do problema de planejamento, uma vez que as frentes de colheita teriam que ser alocadas de forma dispersa, o que acarretaria maior complexidade logística, principalmente na manutenção de máquinas e deslocamento de equipes.

Sendo assim, a introdução de restrições espaciais no modelo permite aprimorar a tomada de decisão, fazendo com que os talhões sejam agrupados em blocos de colheita, sem que haja grandes impactos no VPL. O resultado da introdução de restrições espaciais à segunda simulação pode ser visto na Figura 6.

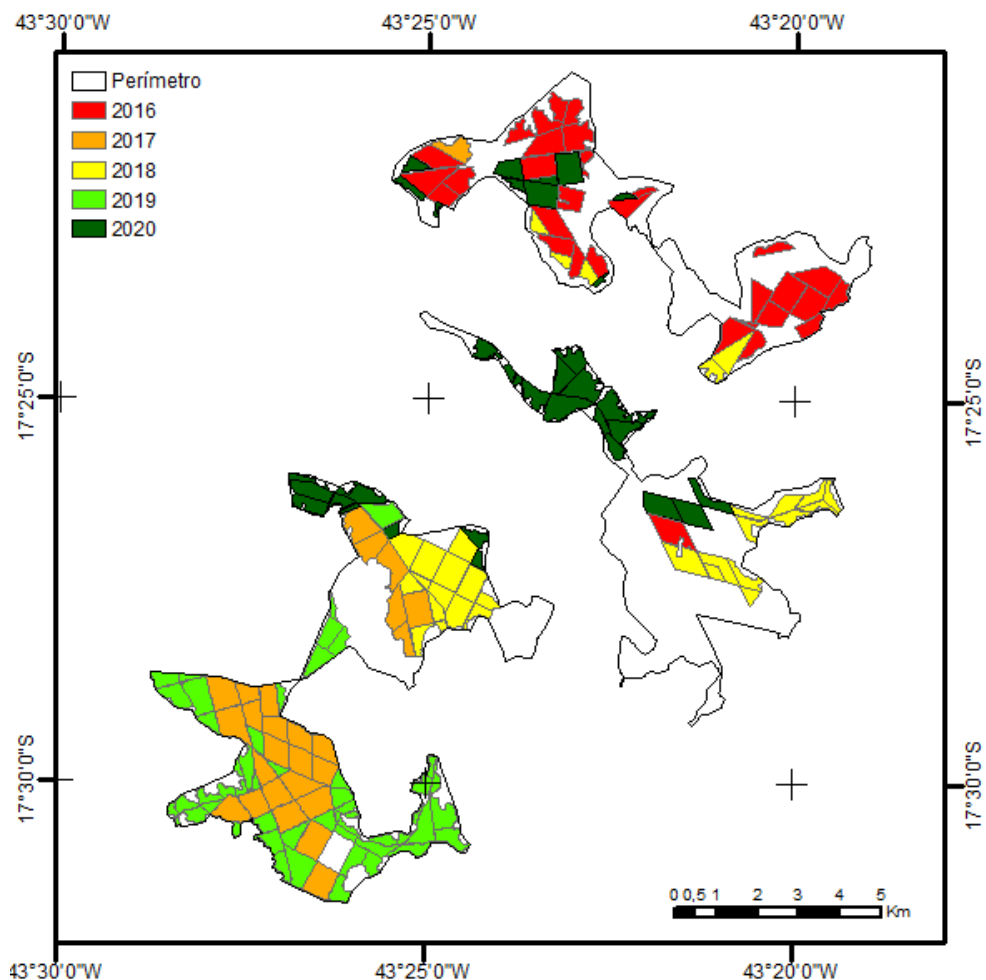


Figura 6 - Agendamento de talhões a serem colhidos em cada período, de forma a maximizar o VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.

Neste novo cenário os talhões foram agrupados em blocos de colheita tentando manter o equilíbrio na quantidade de área colhida por período. O impacto desta restrição pode ser visualizado nos Gráficos 5 e 6.

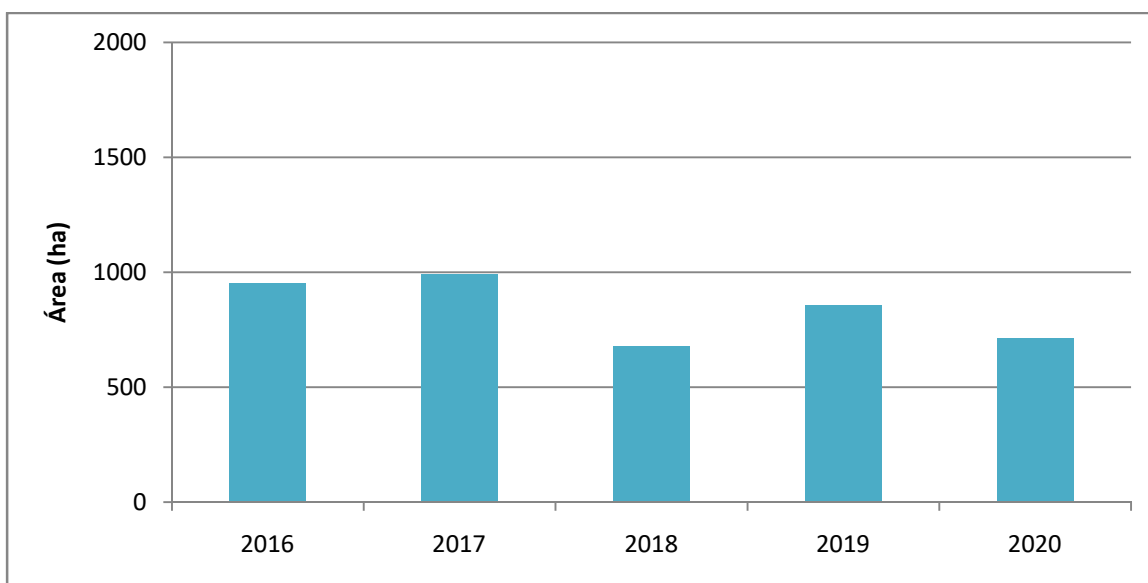


Gráfico 5 - Área colhida por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.

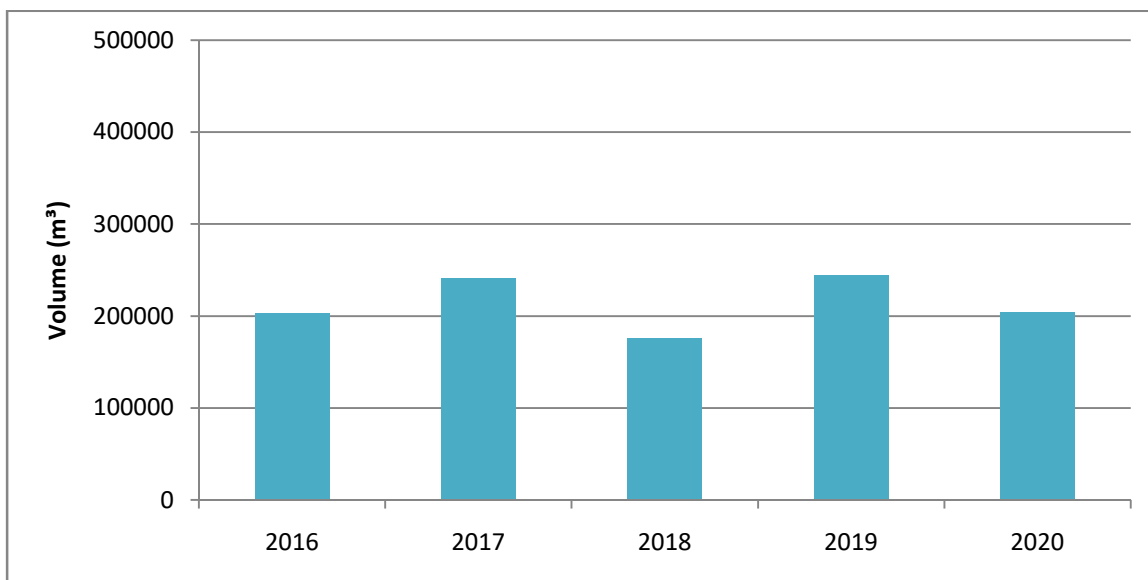


Gráfico 6 - Volume de madeira produzido por período ao simular a maximização do VPL, inserindo restrição de quantidade de área colhida por período, e restrição espacial.

Ao analisar os resultados acima, é possível verificar que a inclusão da restrição espacial permitiu construir um cenário em que o equilíbrio da

quantidade de área colhida e do fluxo de volume de madeira por período foi alcançado. Houve ainda redução na dispersão dos talhões a serem colhidos no mesmo período. Como efeito colateral à aplicação desta restrição à segunda simulação, houve uma redução de 1,54% do VPL, quando comparado à simulação sem restrições.

Uma forma mais clara de expor a influência das restrições nos cenários de otimização do agendamento da colheita florestal encontra-se nos Gráficos 7 e 8, onde são integrados os resultados de todas as simulações realizadas.

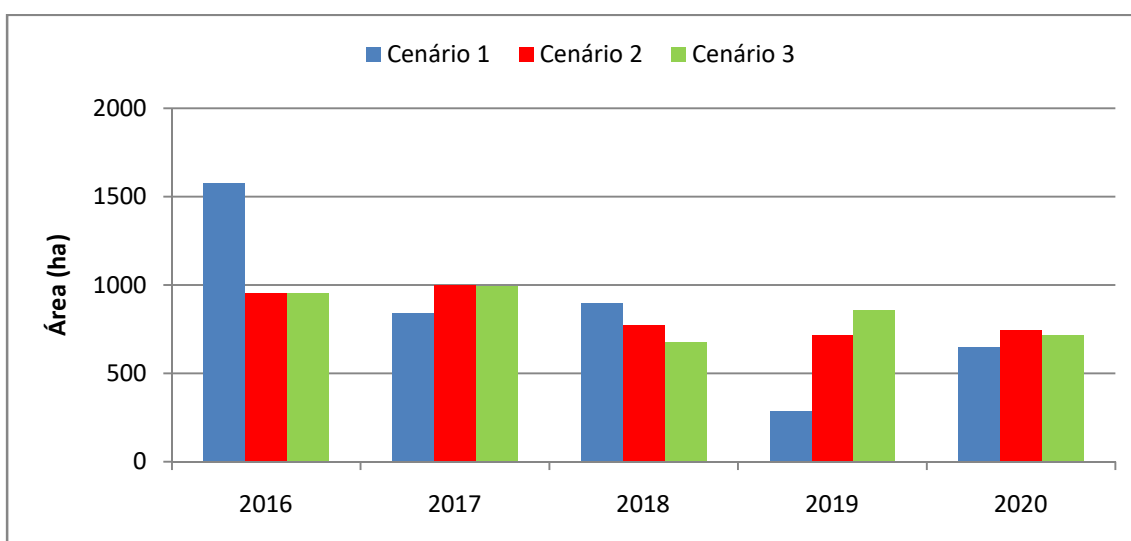


Gráfico 7- Área colhida por período nos diferentes cenários de otimização do agendamento a colheita florestal.

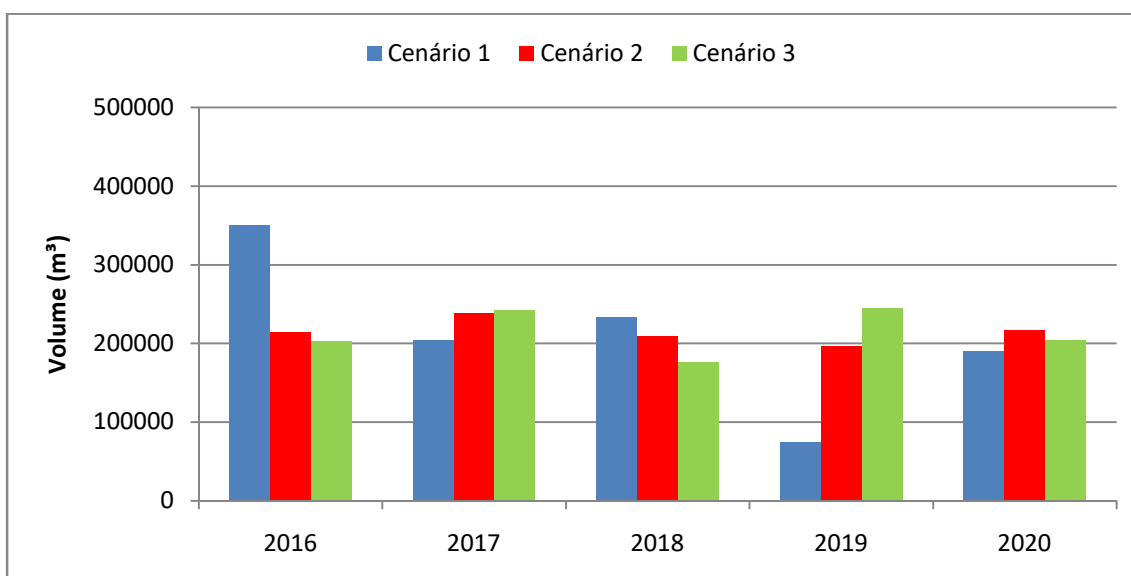


Gráfico 8 - Volume de madeira produzido por período nos diferentes cenários de otimização do agendamento da colheita florestal.

Por meio da análise dos Gráficos 7 e 8 é possível verificar que ao introduzir restrições no modelo de otimização, tanto de área cortada como de proximidade entre blocos de colheita, estabelece-se um equilíbrio na produção de madeira ao longo do horizonte de planejamento, assim como na disponibilização de áreas para novos plantios. Isto permite com que o gestor florestal possa planejar e dimensionar as equipes de colheita e silvicultura de forma mais eficiente e assertiva, sem acarretar grandes perdas no VPL do projeto florestal.

Neste ponto, por meio da análise dos custos de produção ligados à logística de equipamentos e mão-de-obra inerentes a cada um dos cenários apresentados acima, caberia ao gestor florestal a escolha do cenário ideal para o seu plano estratégico.

5 CONCLUSÃO

O resultados apresentados no presente trabalho mostram a importância das ferramentas de otimização no planejamento florestal, permitindo tomadas de decisão mais eficientes e assertivas na busca do equilíbrio entre lucratividade e sustentabilidade, ambiental e econômica, do empreendimento florestal.

6 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARCE, J. E. Modelos Matemáticos de Otimização. Apostila do Curso de MBA em Gestão Florestal. 2016.

AUGUSTYNCZIK, A. L. D. Planejamento florestal otimizado considerando áreas mínimas e máximas operacionais de colheita. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, Agosto de 2014. <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38703>

BARROS JUNIOR, A. A. Aplicações de heurísticas em problemas de planejamento florestal multiobjetivo. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2010. [http://www.dpi.ufv.br/arquivos/ppgcc/dissertacoes/2010-ms-Antonio Almeida de Barros Junior.pdf](http://www.dpi.ufv.br/arquivos/ppgcc/dissertacoes/2010-ms-Antonio%20Almeida%20de%20Barros%20Junior.pdf)

BORGES, J.G.; NORDSTRÖM E.M.; GARCIA-GONZALO, J.; HUJALA T.; TRASOBARES, A. Computer based tools for supporting forest management - The experience and the expertise world-wide. Department of Forest Resource Management. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå/Sweden. 2014. http://pub.epsilon.slu.se/11417/7/borges_jg_et al_140825.pdf

CHUNG, W; DYKSTRA, D; BOWER, F; O'BRIEN, S.; ABT, R; SESSIONS, J. User's guide to SNAP for ArcGIS®: ArcGIS interface for scheduling and network analysis program. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 34p. Portland, Oregon. 2012. http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr847.pdf

GOMIDE, L. R. Planejamento Florestal Espacial. Tese de Doutorado em Ciências Florestais - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009. 235p www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_dr/2009/t264_0326-D.pdf

KAŠPAR J.; MARUŠÁK R.; PÉREZ, G.F.E. DSS Optimal for use in Brazil plantation management. EWG-DSS Conference 2016. International Conference on Decision Support System Technology. Plymouth-UK. May, 2016. <https://icdsst2016.files.wordpress.com/2015/04/icdsst-2016.pdf>

LIMA, M. P. Metodologia para o planejamento da colheita e do transporte florestal utilizando geotecnologia e pesquisa operacional. Dissertação de mestrado apresentado à Universidade Federal de Lavras, 2009. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3475>

RUDEK, A. Planejamento da colheita de madeira em região montanhosa com uso de modelagem espacial e programação linear inteira. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati-PR. 2015.

www2.unicentro.br/ppgf/files/2015/10/Dissertação_AlynneRudek.pdf

SANTOS, R. M. M. Planejamento e otimização de plantios de Pinus taeda L. na região oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Área de atuação em Manejo Florestal. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati/PR. 2015.

<http://www2.unicentro.br/ppgf/files/2016/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Ricardo-Murilo-Malheiros-dos-Santos.pdf>

SILVA, P. H. B. M. Planejamento otimizado da colheita florestal por blocos e talhões integrado à rede de estradas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba/PR. 2015.

www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2015/d715_0938-M.pdf

SOUZA, J. A. M. Programação Linear. Lisboa. Disponível em <http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa/Doc/SIG2005.pdf>.