



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**CATHERINE CRISTINA CLAROS LEITE**

**CUSTO DE PRODUÇÃO DE MADEIRA EM TORA E DEFINIÇÃO ÓTIMA DE  
UNIDADES DE PRODUÇÃO ANUAL EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

CATHERINE CRISTINA CLAROS LEITE

**CUSTO DE PRODUÇÃO DE MADEIRA EM TORA E DEFINIÇÃO ÓTIMA DE  
UNIDADES DE PRODUÇÃO ANUAL EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais. Orientador: Dr. Gilson Fernandes da Silva  
Coorientador(es): Dr. Evandro Orfanó Figueiredo; Dr. Zenobio Abel Gouvêa Perelli da Gama e Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

L533c Leite, Catherine Cristina Claros, 1993-  
Custo de produção de madeira em tora e definição ótima de unidades de produção anual em florestas nativas na Amazônia / Catherine Cristina Claros Leite. – 2017.  
200 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Coorientadores: Evandro Orfanó Figueiredo; Zenobio Abel Gouvêa Perelli da Gama e Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Economia florestal. 2. Pesquisa operacional. 3. Manejo florestal. 4. Acre (Estado). I. Silva, Gilson Fernandes. II. Figueiredo, Evandro Orfanó. III. Gama e Silva, Zenobio Abel Gouvêa Perelli da. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

---

**CUSTO DE PRODUÇÃO DE MADEIRA EM TORA E DEFINIÇÃO ÓTIMA DE  
UNIDADES DE PRODUÇÃO ANUAL EM FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA**

**Catherine Cristina Claros Leite**

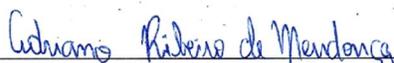
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 17 de Julho de 2017.



---

**Dr. Daniel Henrique Breda Binoti**  
(Examinador externo)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça**  
(Examinador interno)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Prof. Dr. Zenobio Abel Gouvêa Perelli da Gama e Silva**  
(Coorientador)  
Universidade Federal do Acre



---

**Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva**  
(Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

Aos meus pais,  
Eurico do Nascimento Leite e  
Cristina Claros de Castro Leite.

À minha avó, Guidey Carmen Claros de Castro.

Ao meu primo, Ian Cauê da Silva Castro.

À toda minha família.

Dedico.

*“Dê ao mundo o melhor de você. Mas isso pode não ser o bastante. Dê o melhor de você assim mesmo”.*

Madre Teresa de Calcutá

## AGRADECIMENTOS

À Deus, Poderoso e Misericordioso. Senhor, agradeço por sua bondade em minha vida, pela força, saúde, ânimo e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus pais, pelo amor, carinho, ensinamentos e por sempre me apoiarem. Sem vocês não alcançaria mais essa conquista. Amo vocês.

À minha avó Guidey, a pessoa mais incrível e maravilhosa que conheço. Agradeço pelo amor, conselhos e por suas constantes orações. Te amo.

Aos meus irmãos, primos, tios e a toda minha família, pelo amor, apoio e apreço. Amo vocês.

Ao Raimundo Maciel Davila, pelo amor, apoio e por me dar forças, principalmente nos momentos difíceis. Amo você.

Ao meu orientador, professor Gilson Fernandes da Silva, pela atenção, dedicação e apoio, que foram imprescindíveis para a realização desse trabalho.

Ao meu coorientador, professor Zenobio Abel Gouvêa P. G. Silva, pela dedicação, apoio e disponibilidade em tirar minhas dúvidas, mesmo à distância, que contribuíram de forma relevante para esse trabalho.

Ao meu coorientador, Evandro Orfanó Figueiredo, pelo apoio, esclarecimentos e por ter aceitado participar desse trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições para a melhoria desse trabalho.

À minha amiga Sandra Pires, pela amizade, força, momentos compartilhados e apoio durante mais uma importante etapa.

Às amigas que conheci durante o mestrado, Glaucileide Ferreira, Harliany Matias, Julyana Viana, Letícia Paschoa, Mariana Aragão, Taís Rizzo e Thaís Mendes. Agradeço pelos bons momentos em Jerominho.

Aos amigos Evandro Ferreira e Edimilson Marques, pela ajuda e disponibilidade para esclarecer minhas inúmeras dúvidas.

A todos os amigos do laboratório de manejo, em especial ao Giovanni Vieira, Márcia Fernandes, Daniel Binoti, Luandson Souza, Anny Ataide, Isáira Lopes, Jeangelis Santos, Jeferson Martins, Lívia Figueiredo, Janiel Cerqueira e Antonio Almeida. Agradeço pela boa convivência e brincadeiras.

Aos colegas da área da computação, Marcelo Otone e Rodrigo Freitas, pelo auxílio e contribuição na execução desse trabalho.

Aos engenheiros florestais que trabalham com manejo florestal no Acre, pela disponibilidade, apoio e por repassarem informações que me permitiram compreender um pouco do manejo praticado no estado.

Aos engenheiros florestais do Instituto do Meio Ambiente do Acre – IMAC, pelo apoio e informações repassadas.

Aos donos das serrarias que se dispuseram participar das entrevistas.

Aos professores Adriano Ribeiro de Mendonça e Mayra Luiza Marques, pela atenção e disponibilidade em tirar minhas dúvidas durante o mestrado.

Ao professor Alexandre Rosa dos Santos, pelo incentivo a ampliar meus horizontes com relação à pesquisa científica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pelas oportunidades oferecidas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Acre – FAPAC e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço a todos os amigos, que mesmo à distância, estiveram torcendo para a conclusão desse trabalho.

## RESUMO GERAL

LEITE, Catherine Cristina Claros. **Custo de produção de madeira em tora e definição ótima de unidades de produção anual em florestas nativas na Amazônia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientador(es): Dr. Evandro Orfanó Figueiredo; Dr. Zenobio Abel Gouvêa Perelli da Gama e Silva.

O presente estudo abordou o manejo florestal sustentável (MFS) na Amazônia brasileira. O primeiro capítulo teve como objetivo quantificar o custo de produção de madeira em tora, posta em serraria, no estado do Acre. Foram coletados dados relacionados ao preço da terra florestal, da matéria-prima, da elaboração e execução de planos de manejo, das atividades inerentes à exploração florestal e do transporte da madeira em tora até a serraria. Os dados foram obtidos por meio de entrevistas e aplicação de formulário. O custo de produção foi calculado para florestas manejadas a 50 km, 100 km e 150 km da cidade de Rio Branco, áreas estas incluindo ou não a instalação e medição de parcelas permanentes (PP), como também, a aplicação ou não de tratamentos silviculturais pós-exploratórios. Calculou-se o custo de produção para um ciclo de corte de 25 anos. Quantificou-se o valor presente líquido (VPL) das atividades do MFS, nas taxas de juros de 6% a.a., 8% a.a., 10% a.a. e 12% a.a. Identificou-se a margem de comercialização da madeira em tora, posta em serraria. Concluiu-se que, para uma área de manejo localizada a 50 km de Rio Branco, com ou sem PP, a atividade é viável em termos econômicos. Com o acréscimo de tratamentos pós-exploratórios, a produção de madeira em tora a 50 km é viável apenas a uma taxa de 6%. Na situação em que a floresta localiza-se a 100 km, a margem de comercialização se mantém positiva a uma taxa de 6%, apenas para cenários com e sem parcelas permanentes. Para maiores distâncias (150 km), tem-se prejuízo no processo de produção. O segundo capítulo teve como objetivo propor modelos matemáticos para otimizar a definição de Unidades de Produção Anual (UPAs) em áreas de manejo sustentável na Amazônia, regulando a produção de volume. A área de estudo localiza-se no município de Bujari, Acre, em que foram selecionadas duas UPAs. A formulação dos modelos teve como base o problema de p-mediana capacitado (PPMC). A primeira proposta visou otimizar a subdivisão de uma UPA, de modo a obter uma

produção regular durante dois anos de exploração, considerando o prazo para explorar a área. Nessa abordagem, foram alocados pátios de forma otimizada, com restrições de distância máxima de arraste e capacidade máxima dos pátios. A segunda proposta visou otimizar a formação de UPAs a nível de árvores, de modo a agrupar as árvores acima do diâmetro mínimo de corte (DMC), regulando a produção florestal. Em ambas as propostas foram executados dois cenários de regulação do volume:  $\pm 10\%$  e  $\pm 20\%$ . No cenário 1 da proposta 1, a produção variou em  $\pm 9,6\%$ . Para o cenário 1 da proposta 2, o volume total acima do DMC variou em  $\pm 0,14\%$ . Após a formação das UPAs e posterior aplicação dos critérios da legislação, a produção total explorável das UPAs teve uma variação de aproximadamente  $\pm 1,9\%$ . As propostas são aplicáveis à realidade na Amazônia e podem ser utilizadas para regular a produção de madeira em áreas de MFS na região.

**Palavras-chave:** Economia florestal, Pesquisa operacional, Planejamento florestal, Regulação florestal, Estado do Acre.

## GENERAL ABSTRACT

LEITE, Catherine Cristina Claros. **Production cost of log and optimum definition of annual production units in native forests in the Amazon**. 2017. Dissertation (Master Degree in Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-advisors: Dr. Evandro Orfanó Figueiredo; Dr. Zenobio Abel Gouvêa Perelli da Gama e Silva.

The present study dealt with sustainable forest management (SFM) in the Brazilian Amazon. The first chapter had the objective of quantifying the production cost of log, put into a sawmill, in the state of Acre. Were collected data on the price of forest land, the raw material, the elaboration and execution of management plans, the activities inherent to logging and the transportation of timber to the sawmill. The data were obtained through interviews and questionnaire application. The cost was calculated for forests managed located at 50 km, 100 km and 150 km from the city of Rio Branco, these areas including or not the installation and measurement of permanent parcels (PP), as well as the application or not of silvicultural treatments post-exploratory . Production cost was calculated for a 25-year cutting cycle. The net present value (NPV) of the SFM activities was measured at interest rates of 6% a.a., 8% a.a., 10% a.a. e 12% a.a. The marketing margin of the logs placed in a sawmill was identified. It was concluded that, for a management area located 50 km from Rio Branco, with or without PP, the activity is feasible in economic terms. With the addition of trataments post-exploratory, the production of log wood at 50 km is feasible only at a rate of 6%. In the situation where the forest is located at 100 km, the marketing margin remains positive at a rate of 6%, only for scenarios with and without permanent parcels. For greater distances (150 km), there is losses in the production process. The second chapter aimed to propose mathematical models to optimize the definition of Annual Production Units (APUs) in areas of sustainable management in the Amazon, regulating volume production. The study area is located in the municipality of Bujari, Acre, where two APUs were selected. The formulation of the models was based on the capacitated p-median problem (CPMP). The first proposal aimed at optimizing the subdivision of a APU, so as to obtain a regular production during two years of exploration, considering the term to explore the area. In this approach, patios were optimally allocated, with maximum trailing distance restrictions and maximum yard capacity. The second

proposal aimed at optimizing the formation of APUs at the tree level, in order to group trees above the minimum cutting diameter (MCD), regulating forest production. In both proposals, two volume regulation scenarios were performed:  $\pm 10\%$  and  $\pm 20\%$ . In scenario 1 of proposal 1, production varied by  $\pm 9.6\%$ . For scenario 1 of proposal 2, the total volume above the MCD varied by  $\pm 0.14\%$ . After the formation of APUs and subsequent application of the criteria of the legislation, the total production exploitable in the APUs had a variation of approximately  $\pm 1.9\%$ . The proposals are applicable to the reality in the Amazon and can be used to regulate the production of wood in SFM areas in the region.

**Key words:** Forest economics, Operational research, Forest planning, Forest regulation, State of Acre.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cronograma das etapas do manejo florestal.....	35
Figura 2 – Mapa de localização do estado do Acre, Brasil.....	75
Figura 3 – Localização e delimitação da AMF, Bujari, estado do Acre.....	128
Figura 4 – UPAs selecionadas na AMF, Bujari, Acre. ....	131
Figura 5 – Mapa de declividade. ....	134
Figura 6 – Mapa de APPs e <i>buffer</i> de 50 m. ....	134
Figura 7 – Mapa de zonas restritivas. ....	135
Figura 8 – Mapa de árvores remanescentes de grande porte.....	136
Figura 9 – Áreas aptas para alocação de pátios. ....	137
Figura 10 – Divisão da UPA em subáreas. ....	138
Figura 11 – Possíveis pontos para instalação de pátios. ....	139
Figura 12 – Fluxograma do método heurístico. ....	148
Figura 13 – Instalações (pátios) abertas por meio do modelo de p-medianas. ....	151
Figura 14 – Subdivisão da UPA 2014 para o cenário 1.....	160
Figura 15 – Subdivisão da UPA 2014 para o cenário 2.....	161
Figura 16 – Produção de cada subcompartimento (cenário 1).....	162
Figura 17 – Produção de cada subcompartimento (cenário 2).....	163
Figura 18 – Produção acima do DMC para as UPAs formadas (cenário 1). ....	165
Figura 19 – Formação otimizada de UPAs (cenário 1).....	166
Figura 20 – Árvores da categoria explorável da UPA 1 (cenário 1).....	168
Figura 21 – Árvores da categoria explorável da UPA 2 (cenário 1).....	170
Figura 22 – Regulação da produção (cenário 1). ....	171
Figura 23 – Produção acima do DMC das UPAs formadas (cenário 2). ....	173
Figura 24 – Formação otimizada de UPAs (cenário 2).....	174
Figura 25 – Árvores da categoria explorável da UPA 1 (cenário 2).....	176
Figura 26 – Árvores da categoria explorável da UPA 2 (cenário 2).....	178
Figura 27 – Regulação da produção (cenário 2). ....	179

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados médios para área total das UPAs, volume anual e volume explorado nas UPAs, Acre, 2016. ....	81
Tabela 2 – Composição do custo do MFS para um ciclo de corte de 25 anos, convertido para área de efetivo manejo, Acre, 2016. ....	100
Tabela 3 – Custo do MFS em áreas florestais no estado do Acre, 2016. ....	102
Tabela 4 – Composição do custo de produção da madeira em pé, para um ciclo de corte de 25 anos, em área manejada no Acre, 2016. ....	104
Tabela 5 – Valor presente líquido do MFS no estado do Acre, 2016. ....	107
Tabela 6 – Custo médio da exploração florestal, Acre, 2016. ....	108
Tabela 7 – Composição do custo de produção e margem bruta de comercialização da madeira em tora, no estado do Acre, 2016. ....	110
Tabela 8 – Informações das UPAs da AMF em estudo. ....	127
Tabela 9 – Reclassificação da declividade. ....	133
Tabela 10 – Número de pátios a serem alocados em cada subárea. ....	141
Tabela 11 – Resultados da viabilidade da solução, por meio do método exato, em relação a alteração no número de pátios a serem abertos (P). ....	153
Tabela 12 – Resultados do processamento da modelagem matemática. ....	154
Tabela 13 – Resultados dos pátios abertos em cada subárea, número de árvores ligadas a cada pátio e volume total de cada pátio. ....	155
Tabela 14 – Resultados do processamento da etapa 2. ....	158
Tabela 15 – Produção de cada compartimento da UPA no cenário 1. ....	162
Tabela 16 – Produção de cada compartimento da UPA no cenário 2. ....	162
Tabela 17 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo dos valores das soluções do método heurístico, para o cenário 1. ....	164
Tabela 18 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo do tempo de solução as execuções da heurística, para o cenário 1. ....	164
Tabela 19 – Ponto central, áreas total e de efetiva exploração, e número de indivíduos dos agrupamentos da melhor solução do método aproximado, para o cenário 1. ...	164
Tabela 20 – Produção planejada para a UPA 1, cenário 1: Espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas. ....	167
Tabela 21 – Produção planejada para a UPA 2, cenário 1: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas. ....	169

Tabela 22 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo dos valores das soluções da heurística, para o cenário 2. ....	171
Tabela 23 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo do tempo de solução as execuções da heurística, para o cenário 2. ....	172
Tabela 24 – Ponto central, áreas total e de efetiva exploração, e número de indivíduos dos agrupamentos da melhor solução do método aproximado, para o cenário 2. ..	172
Tabela 25 – Produção planejada para a UPA 1, cenário 2: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.....	175
Tabela 26 – Produção planejada para a UPA 2, cenário 2: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.....	177

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	21
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	21
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	21
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	22
<b>3.1 Manejo Florestal Sustentável na Amazônia</b> .....	22
3.1.1 Contexto histórico, conceitos e importância.....	22
3.1.2 Setor florestal madeireiro na Amazônia Legal .....	26
3.1.3 Legislação voltada ao manejo florestal sustentável na Amazônia .....	27
3.1.4 Sistemas de manejo aplicados em florestas tropicais.....	31
3.1.5 Etapas do manejo florestal .....	33
3.1.5.1 Macroplanejamento .....	36
3.1.5.2 Microzoneamento .....	36
3.1.5.3 Exploração de impacto reduzido .....	37
3.1.5.4 Atividades pós-exploratórias.....	38
<b>3.2 Aspectos econômicos do manejo florestal sustentável</b> .....	38
3.2.1 Técnicas de avaliação econômica do manejo de florestas tropicais.....	41
3.2.2 Margem de comercialização .....	43
<b>3.3 Regulação da produção florestal</b> .....	43
<b>3.4 Pesquisa Operacional (PO)</b> .....	45
3.4.1 Programação Linear .....	47
3.4.1.1 Programação Linear Inteira (PLI) .....	49
3.4.1.1.1 Métodos de solução de PLI.....	50
3.4.1.1.2 O problema de p-medianas (PPM).....	52
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	55
<b>CAPÍTULO I – CUSTO DA PRODUÇÃO DE MADEIRA EM TORA NO ESTADO DO ACRE, AMAZÔNIA BRASILEIRA</b> .....	71
<b>RESUMO</b> .....	71
<b>ABSTRACT</b> .....	72
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	73
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	75
<b>2.1 Material</b> .....	75

2.1.1	Descrição da área de estudo .....	75
2.1.1.1	Localização e população .....	75
2.1.1.2	Clima .....	76
2.1.1.3	Hidrografia, relevo, solos e vegetação.....	76
2.1.2	Processo de produção de madeira em tora no estado do Acre, Brasil .....	77
2.1.3	Identificação dos itens do custo de produção de madeira em tora, posta em serraria, estado do Acre.....	79
2.1.4	Levantamento de dados .....	79
2.1.4.1	Dados primários .....	79
2.1.4.2	Dados secundários .....	91
<b>2.2</b>	<b>Métodos.....</b>	<b>92</b>
2.2.1	Quantificação do custo de produção de madeira em tora, explorada em área manejada e posta no pátio da firma madeireira, no estado do Acre.....	92
2.2.1.1	Custo de produção da madeira em pé em uma área de manejo florestal, no estado do Acre .....	93
2.2.1.2	Custo das atividades de exploração florestal, em área sob regime de MFS.....	94
2.2.1.3	Custo do transporte da madeira em tora, da área manejada para a serraria .....	95
2.2.1.4	Custos com Nota Fiscal para produto de origem florestal .....	95
2.2.1.5	Custos com impostos do Funrural .....	95
2.2.1.6	Custos do Imposto de Renda .....	95
2.2.1.7	Cenários para quantificação do custo de produção de madeira em tora .....	96
2.2.2	Margem de comercialização da madeira em tora posta em serraria .....	97
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>98</b>
<b>3.1</b>	<b>Custo de produção da madeira em pé, Acre, 2016.....</b>	<b>98</b>
3.1.1	Valor presente líquido do MFS .....	107
<b>3.2</b>	<b>Custos da exploração florestal .....</b>	<b>108</b>
<b>3.3</b>	<b>Custo de produção e margem de comercialização da madeira em tora, Acre .....</b>	<b>109</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>

<b>CAPÍTULO II – OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO ANUAL NO MANEJO DE FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA</b>	121
<b>RESUMO</b>	121
<b>ABSTRACT</b>	123
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	125
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b>	127
<b>2.1 Descrição da área de estudo</b>	127
<b>2.2 Seleção de Unidades de Produção Anual da AMF</b>	127
<b>2.3 Base de dados do inventário florestal 100%</b>	129
<b>2.4 Propostas de modelos de otimização para subdivisão e formação de UPAs em áreas de manejo florestal sustentável</b>	132
2.4.1 Proposta 1: Otimização da subdivisão de UPA por meio do agrupamento de pátios de estocagem	132
2.4.1.1 Identificação das áreas aptas para alocação de pátios	132
2.4.1.1.1 Áreas aptas	136
2.4.1.1.2 Subdivisão da área	137
2.4.1.1.3 Alocação de pontos de possíveis pátios	138
2.4.1.2 Modelo matemático para otimização da subdivisão de UPA	139
2.4.1.2.1 Etapa 1	139
2.4.1.2.2 Etapa 2	142
2.4.1.2.3 Solução dos modelos	145
2.4.2 Proposta 2: Otimização da formação de UPAs a nível de árvores	145
2.4.2.1 Solução do modelo proposto	147
2.4.2.2 Delimitação das UPAs	149
2.4.2.3 Critérios de manutenção de árvores por espécie	149
2.4.2.4 Critérios de intensidade máxima de corte	150
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	151
<b>3.1 Propostas de otimização de subdivisão e formação de UPAs em áreas de MFS</b>	151
3.1.1 Proposta 1: Otimização da subdivisão de UPA por meio do agrupamento de pátios de estocagem	151
3.1.2 Proposta 2: Otimização da formação de UPAs a nível de árvores	163
3.1.2.1 Trabalhos futuros e recomendações	180

<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	182
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	183
<b>APÊNDICES</b> .....	187
<b>ANEXOS</b> .....	199

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O manejo florestal sustentável (MFS) evoluiu nas últimas décadas, gerando impactos positivos para a conservação da biodiversidade, além de benefícios sociais e econômicos às populações (GAMA; BENTES-GAMA; SCOLFORO, 2005; SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY – SCBD, 2009). Mais de 2 bilhões de hectares da área florestal mundial foram previstos para permanecer sob uso permanente de florestas, indicando uma ampla intenção por parte dos governos de apoiarem o MFS (MACDICKEN et al., 2015).

Conforme determinado no Decreto nº 5.975/2006 (2006a) e no Código Florestal (BRASIL, 2012), planos de manejo florestal sustentável (PMFS) são exigidos para que se explore as florestas naturais na Amazônia. Nesse contexto, Silva et al. (2006) ressaltam que o planejamento do uso dos recursos florestais envolve considerável número de variáveis, o que exige experiência e habilidade do manejador no processo de decisão. Já, Barreto et al. (1998) indicam que um dos aspectos chaves do manejo florestal é a obtenção de informações econômicas inerentes ao processo de produção.

Cabe mencionar que estudos econômicos da produção madeireira na Amazônia buscam subsidiar a tomada de decisão de manejadores e indústrias do setor, e permite que a sociedade compreenda e acompanhe a cadeia produtiva da madeira advinda de áreas manejadas. Nesse sentido, alguns trabalhos buscaram analisar os custos das atividades do manejo florestal na Amazônia brasileira: Barreto et al. (1998); Boltz et al. (2001); De Graaf, Filius e Santos (2003); Holmes, Boltz e Carter (2001); Holmes et al. (2002); Silva e Santos (2011). Contudo, existe ainda uma demanda por estudos que gerem informações econômicas abordando o MFS praticado em diferentes regiões da Amazônia.

Dentre as regiões da Amazônia Legal, o estado do Acre apresenta 87% de seu território coberto por florestas nativas (AMARAL et al., 2012), com condições de serem utilizadas de forma sustentável, a fim de fomentar a produção de madeira comercial na região. Dessa forma, tem-se a necessidade de se realizar análises econômicas do setor florestal nesse estado.

Além do estudo econômico, um dos desafios do planejamento florestal refere-se à regulação da produção, conforme indicam Carvalho et al. (2015) e Clutter et al. (1983). Para que uma floresta forneça produção anual de madeira de forma regular e satisfaça a demanda de uma determinada indústria, o dimensionamento e exploração

da unidade de manejo florestal (UMF) devem ser adequadamente planejados e gerenciados. A distribuição espacial das unidades de produção anual (UPAs) é um problema que necessita de solução otimizada, sendo possível o uso de técnicas de programação matemática (PM) para sua resolução (SOUZA; SOARES, 2013). Alguns pesquisadores utilizaram técnicas de PM para a solução de problemas em florestas nativas na Amazônia, como Braz (2001); Braz, Carnieri e Arce (2004); Fernandes et al. (2013); Martinhago (2012); Silva (2014a); Silva (2014b) e Silva (2015a).

Diante do exposto, torna-se relevante o conhecimento dos custos envolvidos no processo de produção do manejo madeireiro em florestas naturais na Amazônia, visando subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas a fomentar o uso racional dos recursos florestais na região, bem como a adoção de técnicas de programação matemática para otimizar o planejamento do MFS nessas florestas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Gerar informações econômicas sobre a produção florestal madeireira em florestas nativas no estado do Acre e propor modelos matemáticos para otimizar a definição de Unidades de Produção Anual (UPAs) em áreas de manejo sustentável na Amazônia.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Quantificar e analisar o custo de produção de madeira em tora, posta em serraria, oriunda de manejo florestal sustentável no estado do Acre;
- Identificar e avaliar a margem de comercialização da madeira em tora, advinda de áreas manejadas e entregue em serrarias acreanas;
- Desenvolver modelos matemáticos para a subdivisão e formação de UPAs; e
- Otimizar a subdivisão e formação de UPAs, promovendo a regulação da produção florestal por volume.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Manejo Florestal Sustentável na Amazônia

##### 3.1.1 Contexto histórico, conceitos e importância

Strand et al. (2017) citam que a floresta amazônica é amplamente reconhecida como um recurso natural crucial para toda a humanidade. Contudo, Braz et al. (2014) argumentam que considerável parte do potencial florestal dessa região sofreu uma exploração predatória e impactante, sem um adequado planejamento, o que provocou grandes danos à essa floresta.

A maior parte da exploração madeireira na região amazônica, nos últimos séculos, se concentrou no estuário amazônico e ao longo do rio Amazonas. No final dos anos 50, grandes serrarias movidas à energia hidráulica ou a vapor, além de fábricas de laminados e compensados, se instalaram no estuário, explorando seletivamente em florestas de várzea, as espécies virola (*Virola surinamensis*) e andiroba (*Carapa guianensis*), com vistas ao comércio internacional (BARROS; UHL, 1997). A partir de 1960, com os incentivos fiscais para estimular as atividades econômicas na Amazônia, concedidos pela Superintendência de Desenvolvimento para a Amazônia – SUDAM, grandes áreas de florestas foram devastadas, principalmente no Pará, Mato Grosso e Maranhão. Nas décadas seguintes a atividade expandiu-se rapidamente (GARRIDO FILHA, 2002), e a partir de 1970, com a abertura de estradas, deu-se início a exploração madeireira em regiões de terra firme (BARROS; UHL, 1997). A floresta que cobria os interflúvios do sul da Amazônia foi cortada, uma vez que o governo brasileiro integrou a região ao restante do país, com a abertura da rodovia Transamazônica (BR-230) (SMITH, 1982).

A expansão da atividade madeireira foi impulsionada com a chegada de madeireiros e pecuaristas de várias regiões do Brasil, principalmente do Sul e Sudeste, devido à exaustão das florestas nativas nessas regiões (VERÍSSIMO et al., 2002). A exploração florestal cresceu de forma expressiva nas décadas de 1980 e 1990, principalmente no estado do Pará. A construção de estradas estratégicas de acesso à Amazônia, transformou a exploração madeireira de menor escala para uma grande indústria (VERÍSSIMO et al., 1992), que seguiu a expansão da fronteira

agrícola (SCHNEIDER et al., 2000), e contribuiu indiretamente para o desmatamento regional (VERÍSSIMO et al., 1998).

De acordo com Espada et al. (2013), nesse tipo de exploração, denominada de exploração convencional (EC), não há planejamento das atividades, em que, além de ocasionar danos à floresta, como excesso de áreas abertas para estradas, pátios e ramais de arraste, e elevado desperdício, não se leva em consideração a capacidade de recuperação da floresta.

A adoção de práticas de manejo florestal é uma alternativa para evitar a exaustão da floresta (LENTINI; VERÍSSIMO; SOBRAL, 2003). As tentativas de introduzir técnicas de manejo florestal para a Amazônia brasileira começaram com o advento do Código Florestal Brasileiro de 1965, que estabelecia, em seu artigo 15, a necessidade de um plano técnico de manejo para a colheita de madeira. Porém, na época, o conteúdo do plano não havia sido especificado (BARRETO et al., 1998). Somente a partir do final da década de 1990 é que o setor florestal madeireiro foi inserido no centro das discussões de políticas públicas, por ser uma atividade que desencadeia o processo de ocupação predatória (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

O manejo florestal é um tipo de exploração que utiliza atividades de planejamento a fim de assegurar a manutenção da floresta para o próximo ciclo de corte (SABOGAL et al., 2006), reduzindo os danos ambientais durante a extração de madeira (BARRETO et al., 1998). Vários pesquisadores têm sugerido a adoção de técnicas de manejo florestal para a exploração adequada dos recursos florestais, entre os quais pode-se citar: Angelo et al. (2014); Barreto et al. (1998); Barros e Uhl (1997); Gama, Bentes-Gama e Scolforo (2005); Lentini, Veríssimo e Sobral (2003); Pinho et al. (2009) e Sabogal et al. (2006).

Desde a década de 1990, o Manejo Florestal Sustentável tornou-se um tema de grande relevância na política ambiental mundial. Em 1992, na *United Nations Conference on Environment and Development* – UNCED, realizada no Rio de Janeiro, o conceito de desenvolvimento sustentável consolidou-se como um assunto de interesse público. Esta tendência foi considerada também na segunda *Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe* – MCPFE, realizada em Helsinki, em 1993, quando o MFS foi definido e adotado em um nível político (WOLFSLEHNER; VACIK; LEXER, 2005).

O termo manejo, que no início considerava apenas a produção contínua de madeira, sofreu modificações e passou a envolver também o planejamento econômico

da empresa florestal e a considerar questões ecológicas relacionadas à exploração da floresta, com base no princípio de regime sustentado e de uso múltiplo (SCHNEIDER; FINGER, 2000).

A Resolução 1 da segunda *Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, define manejo florestal sustentável como

[...] a gestão e a utilização das florestas e das áreas florestais de forma e intensidade que mantenham a sua biodiversidade, produtividade, capacidade de regeneração, vitalidade e potencial para cumprir, no presente e futuro, funções ecológicas, em escalas local, nacional e global no domínio econômico e social, e que não causem danos a outros ecossistemas (MCPFE, 1993, p. 1).

*International Tropical Timber Organization – ITTO* e *International Union for the Conservation of Nature – IUCN* (ITTO/IUCN, 2009), por sua vez, consideram o MFS como sendo o processo de gerenciar florestas visando a produção contínua de produtos e serviços florestais desejados, sem reduzir os seus valores inerentes e futura produtividade, e sem consequências indesejadas de forma excessiva sobre o meio ambiente físico e social.

A legislação brasileira, conforme disposto no Art. 3º da Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei 11.284/2006), define o termo “manejo florestal sustentável” como sendo a

Administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal (BRASIL, 2006b, p. 2).

Para *Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO* (2015), manejar as florestas de maneira sustentável significa aumentar os seus benefícios, incluindo madeira e outros produtos, a fim de atender às necessidades das gerações presente e futuras da sociedade.

O manejo permite a continuidade da produção, além de certificar e valorizar os produtos florestais perante o mercado mundial (ANGELO et al., 2014). Uma exploração com base na sustentabilidade possibilita um melhor aproveitamento do recurso madeireiro (GARRIDO FILHA, 2002). Com uma exploração planejada, a floresta pode gerar riqueza econômica ao mesmo tempo em que realiza suas outras

funções ecológicas (BARROS; VERÍSSIMO, 2002). Portanto, o manejo visa que as florestas forneçam continuamente benefícios econômicos, ecológicos e sociais (GAMA; BENTES-GAMA; SCOLFORO, 2005), possibilitando a melhoria das condições de vida das populações (PINHO et al., 2009).

Todavia, a consolidação do manejo florestal na Amazônia tem sido dificultada devido à expansão de atividades causadoras do desmatamento (ROS-TONEN, 2007). Rivero et al. (2009) comentam que as principais causas diretas do desmatamento nas florestas da Amazônia brasileira são a pecuária, a agricultura de larga escala e a agricultura de corte e queima, sendo a pecuária bovina a de maior importância. A Confederação Nacional da Indústria – CNI e o Fórum Nacional de Atividades de Base Florestal – FÓRUM FLORESTAL (2012), citam que algumas madeireiras contribuem de forma secundária nesse processo, adotando práticas ilegais, como a compra de madeira advinda de áreas desmatadas por pecuaristas ou agricultores. Segundo Ferreira, Venticinqu e Almeida (2005), o processo de desmatamento inicia geralmente com a abertura de estradas, permitindo o fácil acesso, o que ocasiona a ocupação desordenada e irregular de terras e a exploração predatória de madeiras nobres. Fearnside (2006), por seu turno, argumenta que o desmatamento tem impactos negativos, entre eles, a perda de oportunidades para a utilização da floresta de forma sustentável.

Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2017), em 2004 o desmatamento na Amazônia atingiu a sua segunda maior taxa registrada até os dias atuais, com uma área desflorestada de 27.772 km<sup>2</sup>, superada apenas pela marca histórica de 29.059 km<sup>2</sup> desmatados no ano de 1995.

Para combater o avanço do desmatamento e fomentar atividades de produção sustentáveis, como o manejo florestal e a agricultura ecológica, em 2004 foi criado o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) (BRASIL, 2004), o que coibiu intensamente o desmatamento e a extração ilegal de madeira em tora (SANTANA, et al., 2012).

Dados atuais do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) (INPE, 2017) indicam que o desmatamento no ano de 2016 foi o maior registrado desde 2008. A supressão de 7.989 km<sup>2</sup> de florestas entre agosto de 2015 a julho de 2016 indica um aumento de 29% em relação a 2015, ano em que foram medidos 6.207 km<sup>2</sup> (INPE, 2016). Entretanto, apesar desse aumento indicar a ocorrência de atividades ilegais e ocupação desordenada na região

(AZEVEDO; REIS, 2016), a taxa para o ano de 2016 representa uma redução de 71% em relação à registrada em 2004, ano em que foi iniciado o PPCDAm pelo Governo Federal (INPE, 2016).

O declínio de 70% no desmatamento na Amazônia brasileira sugere que é possível administrar o avanço de uma vasta fronteira agrícola (NEPSTAD et al., 2014), sendo necessário a realização de estudos voltados ao aperfeiçoamento de técnicas de manejo sustentável dos recursos florestais.

### 3.1.2 Setor florestal madeireiro na Amazônia Legal

Serviço Florestal Brasileiro – SFB (2013) cita que a cobertura florestal do país está estimada em 463 milhões de hectares, representando a segunda maior área de floresta do mundo, atrás somente da Rússia. Já, *Organización Internacional de las Maderas Tropicales* – OIMT (2015) aponta o Brasil como um dos maiores produtores de madeira tropical do mundo, logo atrás da Indonésia e Índia, chegando a atingir uma produção em torno de 30,8 milhões de metros cúbicos no período de 2013 a 2014.

O Brasil apresenta variadas formações vegetais, formando os grandes biomas brasileiros, destacando-se a floresta Amazônica, que concentra 70% dos remanescentes florestais (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). A Bacia Amazônica cobre aproximadamente 40% da América do Sul e é distribuída pelos países: Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela (GUIMARÃES et al., 2016), sendo que 60% da floresta localiza-se em território brasileiro (STRAND et al., 2017). A Amazônia Legal está dividida administrativamente nos estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso, e regiões situadas no Tocantins, Goiás e Maranhão (BRASIL, 2012).

O setor madeireiro é uma das principais atividades econômicas da região, precedida pela pecuária e pela mineração industrial (PEREIRA; LENTINI, 2010). De acordo com Lentini, Veríssimo e Pereira (2005), o setor produziu 24,5 milhões de metros cúbicos de madeira em tora no ano de 2004. Já no estudo de Hummel et al. (2010), a produção da atividade madeireira na Amazônia no ano de 2009 foi de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora nativa, com 47% da matéria-prima advinda do estado do Pará. O estado do Mato Grosso respondeu por 28% do total da produção, Rondônia por 16% e o restante pelos estados do Acre (3%), Amazonas (3%), Amapá (1%), Maranhão (1%) e Roraima (1%).

Lentini, Veríssimo e Pereira (2005) citam que o processamento ocorreu em 82 polos madeireiros, situados, principalmente, nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia. Além disso, o número de empregos gerados direta e indiretamente aumentou de 353 mil em 1998 para 379 mil empregos em 2004, assim como o número de empresas, de 2.570 para 3.132. Hummel et al. (2010) verificaram que a produção se concentrava em 75 polos madeireiros e haviam 2.226 empresas madeireiras em funcionamento. A receita bruta foi de aproximadamente 4,94 bilhões de reais, gerando 204 mil empregos, dos quais 66 mil empregos eram empregos diretos, com processamento e exploração florestal.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), a produção de madeira em tora nativa no ano de 2015, em alguns estados da Amazônia, foi de: 285.313 m<sup>3</sup> (Acre); 673.254 m<sup>3</sup> (Amapá); 744.485 m<sup>3</sup> (Amazonas); 4.150.193 m<sup>3</sup> (Pará); 1.869.493 m<sup>3</sup> (Rondônia) e 357.642 m<sup>3</sup> (Roraima).

A cadeia produtiva da indústria do MFS tem como principais produtos básicos os serrados e seus produtos finais, que são produtos de maior valor agregado (CNI/ FÓRUM FLORESTAL, 2012). Da produção de madeira explorada na Amazônia, 64% se destina ao mercado doméstico e 36% à exportação, e o estado do Pará se destaca pela extração de madeira em tora, beneficiamento e liderança na exportação de diversos produtos madeireiros (SANTOS; SANTANA, 2009). O setor madeireiro é um importante gerador de renda e empregos, impulsionando de forma indireta a economia de mais um terço dos municípios da Amazônia (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

### 3.1.3 Legislação voltada ao manejo florestal sustentável na Amazônia

O manejo florestal foi inicialmente previsto no Código Florestal de 1965 (Lei nº 4.771/1965), como uma atividade legal para a exploração de florestas naturais na Amazônia (GARRIDO FILHA, 2002). Em seu artigo 15, a lei proibia a exploração das florestas da bacia Amazônica, e determinava que a utilização das mesmas poderia ser somente com a adoção de planos técnicos de manejo (BRASIL, 1965). Em 1980, a Instrução Normativa (IN) nº 001/80, do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, estabeleceu o limite mínimo de 45 cm de diâmetro para corte das árvores, a fim de proteger os indivíduos remanescentes (BARRETO et al., 1998).

Na década de 1980, houve uma diminuição de alguns investimentos do governo na Região Amazônica (PRATES; BACHA, 2011). Com o fim dos incentivos fiscais e a

com uma crescente demanda internacional por espécies tropicais, como mogno, cerejeira e virola, houve um aumento da extração seletiva. Assim, organizações não governamentais se mobilizaram e realizaram denúncias de que a madeira exportada não possuía prévia autorização dos órgãos competentes. Após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, houve uma mobilização para que a origem da madeira, por meio de MFS, fosse comprovada (ZACHOW, 1999).

Em 1989, Planos de Manejo Florestal foram normalizados na Amazônia, por meio da Ordem de Serviço 001-89/IBAMA/DIREN, a qual disciplinava a exploração madeireira na Mata Atlântica, mas que poderia ser aplicada por todas as Superintendências do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis – IBAMA (ZACHOW, 1999). A Ordem de Serviço 001-89 exigia estimativas do volume a ser explorado, o uso de técnicas de extração que reduzissem os danos à floresta, tratamentos silviculturas e métodos de monitoramento do desenvolvimento da floresta após a exploração. Esta ordem também especificava que o ciclo de corte deveria ser de pelo menos 30 anos (BARRETO et al., 1998).

A normatização do artigo 15 do Código Florestal, que deveria ser feita no prazo de um ano, só ocorreu após 26 anos, em 1991, com a IN do IBAMA nº 80/1991 (SILVA, 1996), que foi o primeiro instrumento específico para a atividade de MFS na Amazônia, e apresentava um roteiro de procedimentos técnicos e exigências burocráticas necessárias à elaboração, aprovação e execução dos PMFS (GUIMARÃES, 2003).

Foi somente em 1994, pelo Decreto nº 1.282, que a exploração florestal sob a forma de manejo sustentável foi efetivamente definida (GARRIDO FILHA, 2002), regulamentando os artigos 15, 19, 20 e 21 do Código de 1965 (BRASIL, 1994). A prática da atividade era incipiente, mas passou a ser difundida a partir de 1994, em virtude do aperfeiçoamento do marco regulatório, avanços nas técnicas de exploração e exigências internacionais por madeira legalizada (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). Segundo Sabogal et al. (2006), a adoção do MFS se deu em grande parte, devido a legislação e pressão do mercado pela certificação florestal.

O IBAMA disciplinou o MFS pela portaria nº 48/95 (BRASIL, 1995), apresentando um roteiro básico para elaboração de planos de manejo, com informações quanto ao inventário florestal, sistema de exploração, sistema silvicultural, minimização de impactos ambientais e a documentação necessária para protocolar o documento.

O Decreto 1.282/94 foi alterado pelo Decreto nº 2.788 de 28 de setembro de 1998, o qual definiu o manejo florestal sustentável de uso múltiplo para exploração das florestas primitivas da Bacia Amazônica (BRASIL, 1998a). As IN 04, 05 e 06/1998, regulamentavam, respectivamente: o Manejo Florestal Comunitário (BRASIL, 1998b); o manejo florestal simplificado, para proprietários ou legítimos possuidores de glebas rurais com área de até quinhentos hectares (BRASIL, 1998c); e o manejo florestal em escala empresarial, por meio de Plano de Manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo (BRASIL, 1998d).

A Instrução Normativa nº 15/2001 (BRASIL, 2001), do IBAMA, ajustou procedimentos das atividades de MFS de uso múltiplo na Amazônia Legal, estabelecendo as seguintes modalidades de planos de manejo: I) PMFS em Escala Empresarial; II) PMFS Individual; III) PMFS em Florestas de Palmáceas para Produção de Palmito; IV) PMFS sob Regime de Certificação; e V) PMFS Comunitário.

A madeira em tora explorada em florestas nativas na Amazônia pode ser adquirida legalmente por meio de Planos de Manejo Florestal Sustentável ou Autorizações de Desmatamento (SANTOS; SANTANA, 2009). Atualmente, os PMFS são regulamentados, principalmente, pelo Decreto 5.975/2006, Instruções Normativas do Ministério do Meio Ambiente – MMA nº 4 e 5/2006, Norma de Execução nº 01/2007/IBAMA, e Resolução CONAMA 406/2009.

O decreto 5.975/2006 (BRASIL, 2006a) regulamenta os Arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 do Código Florestal de 65, revogando o Decreto 2.788/1998. Dispõe sobre plano de manejo florestal, uso alternativo do solo, utilização de matéria-prima florestal, reposição florestal e outros. De acordo com o Art. 2º do referente decreto, a exploração de florestas e formações sucessoras sob o regime de MFS, só poderá ocorrer mediante aprovação do órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA.

A IN 04/2006 (BRASIL, 2006c) dispõe sobre a Autorização Prévia à Análise Técnica (APAT) de PMFS, entendida como o ato administrativo pelo qual o órgão competente analisa a viabilidade jurídica do manejo florestal. A IN 05/2006 (BRASIL, 2006d) estabelece os procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de PMFS. Essa instrução normativa define um diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm para todas as espécies e estabelece critérios importantes de manutenção de espécies raras e árvores porta-sementes (manutenção de no mínimo de 10% das árvores que atendam os critérios de corte de cada espécie,

respeitando o limite de 3 árvores por 100 ha). A Norma de Execução nº 01/2007 (BRASIL, 2007), do IBAMA, institui Diretrizes Técnicas para Elaboração de PMFS.

A resolução 406/2009 (BRASIL, 2009), do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, estabelece parâmetros técnicos para elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de PMFS. Essa resolução define uma estimativa da produtividade anual da floresta de  $0,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para as espécies comerciais, quando da utilização de máquinas para arraste, e quando não houver estudos específicos para as espécies da área.

Outro importante instrumento da legislação brasileira para o MFS, trata-se da Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei 11.284/2006), que visa a produção sustentável de florestas públicas, institui o SFB e cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF (BRASIL, 2006b). Aliado a isso, tem como principal inovação a concessão florestal, mediante a qual o poder público outorga ao particular a exploração das florestas públicas brasileiras (MOREIRA, 2008), ampliando assim a oferta de áreas para manejo florestal (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

O Novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) estabelece que a exploração de florestas nativas e formações sucessoras, deve ser por meio de MFS. A referida Lei estipula uma proporção da área dos imóveis rurais localizados na Amazônia Legal, a ser mantida com cobertura de vegetação nativa (Reserva Legal), de no mínimo: 80% para o imóvel situado em área de florestas; 35% em área de cerrado, e 20% em área de campos gerais (BRASIL, 2012).

Existem outras normas relacionadas ao manejo florestal, listadas a seguir:

- Instrução Normativa IBAMA nº 30/2002 (BRASIL, 2003a): Aceita o fator de forma médio para a Amazônia de 0,7 ou equações de volume de árvores em pé desenvolvidas especificamente; uniformiza a unidade volumétrica ( $\text{m}^3$  geométrico) do volume liberado com as unidades volumétricas ( $\text{m}^3$  francon), utilizadas nos processos de compra, venda e transporte de madeira em tora utilizada na região amazônica;

- Instrução Normativa IBAMA nº 07/2003 (BRASIL, 2003b): Disciplina as atividades de plano de manejo florestal sustentável que envolvam a extração da espécie mogno (*Swietenia macrophylla* King);

- Instruções Normativas IBAMA nº 93/2006 (BRASIL, 2006e) e 101/2006 (BRASIL, 2006f): Estabelecem as normas técnicas para apresentação de mapas e georreferenciamento da localização de reserva legal e das áreas sob manejo florestal;

- Portaria MMA nº 253/2006 (BRASIL, 2006g) e Instrução Normativa nº 112/2006 (BRASIL, 2006h): instituem a obrigatoriedade do uso do Documento de Origem Florestal (DOF) em substituição à Autorização para Transporte de Produtos Florestais (ATPF);

- Portaria MMA nº 443/2014 (BRASIL, 2014): apresenta a Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção; e

- Instrução normativa MMA 01/2015 (BRASIL, 2015): estabelece critérios para manutenção de árvores das espécies presentes na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção, classificadas na categoria Vulnerável – VU.

#### 3.1.4 Sistemas de manejo aplicados em florestas tropicais

Os sistemas silviculturais são definidos por Matthews (1989) como o processo pelo qual as culturas de uma floresta são conduzidas, removidas e substituídas por novas culturas, resultando na produção de povoamentos de forma distinta. Souza e Soares (2013), por sua vez, consideram um sistema silvicultural como um conjunto de regras e ações para se conduzir uma floresta, de modo a obter uma nova colheita, incluindo a aplicação de tratamentos silviculturais.

Os métodos silviculturais tiveram origem na Europa, no século XIX, em resposta ao corte excessivo de florestas, e foram modificados para serem aplicados em várias partes do mundo (FUJIMORI, 2001). Durante o século XX, foram desenvolvidos vários sistemas de manejo para florestas tropicais úmidas, adaptando-se os sistemas conhecidos às condições locais de cada região (LOUMAN; QUIRÓS; NILSSON, 2001). Na realidade, os sistemas utilizados nos países com florestas tropicais são adaptações dos modelos clássicos europeus, desenvolvidos para as florestas temperadas (HIGUCHI, 1994).

Os sistemas de manejo aplicados em florestas tropicais naturais podem ser divididos em dois grupos principais: sistemas monocíclicos e sistemas policíclicos (LOUMAN; QUIRÓS; NILSSON, 2001). Sistemas monocíclicos visam uma colheita abrangente de toda a madeira comercial ao final da rotação, com base na regeneração natural para formar a próxima colheita (KEMP; NAMKOONG; WADSWORTH, 1993). Esse sistema objetiva criar uma floresta alta equiânea a partir da regeneração natural, para exploração em rotações definidas (SOUZA; SOARES, 2013). Sob um sistema

monocíclico, a floresta tende a se tornar uniforme e a próxima colheita ocorre após uma rotação completa de 70 a 100 anos (WEIDELT, 1996).

O *Malayan Uniform System* (MUS) é um exemplo clássico desse tipo de sistema, aplicado em florestas naturais com alta densidade de espécies alto valor comercial, como é o caso das florestas de dipterocarpáceas da Malásia. As árvores comerciais são removidas, o dossel é aberto e a regeneração é favorecida, crescendo até a próxima colheita, que é em torno de 70 anos para as florestas de *Dipterocarpus* na Malásia (NAIR, 2007). O MUS proporcionou uma regeneração satisfatória para essas florestas. A abertura marcada do dossel, seguida por um longo período de recuperação, é considerado o sistema silvicultural mais bem adaptado à dinâmica de regeneração de *Dipterocarpus* (WEIDELT, 1996). Porém, tal sistema gerou grandes danos, e as áreas colhidas muitas vezes foram convertidas para outros tipos de uso da terra, sendo sua aplicação encerrada em 1979 (RIJKSEN; MEIJAARD, 1999).

Os sistemas policíclicos envolvem a remoção seletiva de um número limitado de árvores, em duas ou mais ocasiões durante o ciclo de rotação completo, mantendo assim uma floresta menos uniforme, de idades mistas, com dependência de regeneração avançada para a colheita seguinte (KEMP; NAMKOONG; WADSWORTH, 1993). O sistema policíclico se baseia em operações de exploração repetidas num ciclo de corte de 25 a 45 anos, baseando-se no crescimento de árvores imaturas e na sucessão de mudas (RIJKSEN; MEIJAARD, 1999). A floresta sob um sistema policíclico é composta de árvores de diferentes idades e tamanhos (WEIDELT, 1996).

Em 1965 no Suriname, foi adotado um Sistema de Manejo Policíclico, denominado de Sistema Celos – *Centre for Agricultural Research in Suriname*, formulado a partir de vários anos de experimentos silviculturais, e divulgado por De Graaf (1986). Este sistema, com ciclos variando de 15 a 30 anos, compreende uma combinação de uma colheita controlada (20-40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de madeira comercial, e uma série de tratamentos silviculturais (DE GRAAF; POELS; VAN ROMPAEY, 1999). Normalmente, uma grande área de floresta é dividida em unidades menores, e as árvores maduras das espécies desejáveis são removidas em uma operação do ciclo. A exploração madeireira é repetida na mesma área após um intervalo fixo, pelo qual novas árvores terão atingido a maturidade (NAIR, 2007).

O sistema de gestão Celos no Suriname é considerado o melhor sistema de manejo planejado e documentado em toda a América Latina, com o objetivo principal

de estimular o crescimento das árvores comerciais de médio e grande porte. Entre cada ciclo de corte, são planejados refinamentos (envenenamento) após a colheita, para eliminar a concorrência das árvores comerciais, com a prescrição do corte de lianas para ser executado pouco antes da colheita (KIRMSE; CONSTANTINO; GUESS, 1993).

As primeiras pesquisas silviculturais na Amazônia iniciaram em 1958, em Curuá-Uma, no estado do Pará, por meio de um convênio da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia – SPVEA, com a FAO (HIGUCHI, 1981). Foi testada uma modificação do *Tropical Shelterwood System*, o qual foi largamente aplicado em alguns países da África ocidental, especialmente na Nigéria. Entretanto, a experiência brasileira não obteve sucesso, pois pesquisadores não obtiveram conclusões sobre o sistema quanto aos seus aspectos técnicos e econômicos, devido a descontinuidade da pesquisa. Além disso, o sistema apresentava insucesso em países africanos, o que levou alguns silvicultores brasileiros a voltarem suas pesquisas a um sistema baseado em cortes seletivos, em intervalos mais curtos (30-35 anos) do que os do Sistema Tropical de Cobertura (70-100 anos). Esse sistema, chamado de Sistema de Corte Seletivo, ou Sistema de Manejo Policíclico, vinha apresentando bons resultados em países do Sudeste da Ásia, principalmente na Malásia e Indonésia (SILVA; CARVALHO; LOPES, 1999).

O sistema de manejo florestal adotado atualmente para a floresta tropical na Amazônia é um sistema policíclico que envolve o corte seletivo de espécies comerciais, em ciclos de corte de 25-35 anos. As unidades de manejo florestal (UMFs), são divididas em unidades de produção anual (UPAs), de acordo com o ciclo de corte adotado (BLASER et al., 2011). A IN MMA 05/2006 (BRASIL, 2006d) define as intensidades máximas de corte de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (para exploração mecanizada), com ciclo de corte inicial de 35 anos, e  $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (exploração não mecanizada), com ciclo de corte inicial de 10 anos.

### 3.1.5 Etapas do manejo florestal

O manejo florestal prevê uma exploração planejada dos recursos florestais, diferentemente do que ocorre na exploração convencional (SABOGAL et al., 2006). O MFS não engloba apenas a Exploração de Impacto Reduzido (EIR), mas segue um grupo de ações, incluídas nas seguintes etapas, listadas por Balieiro et al. (2010):

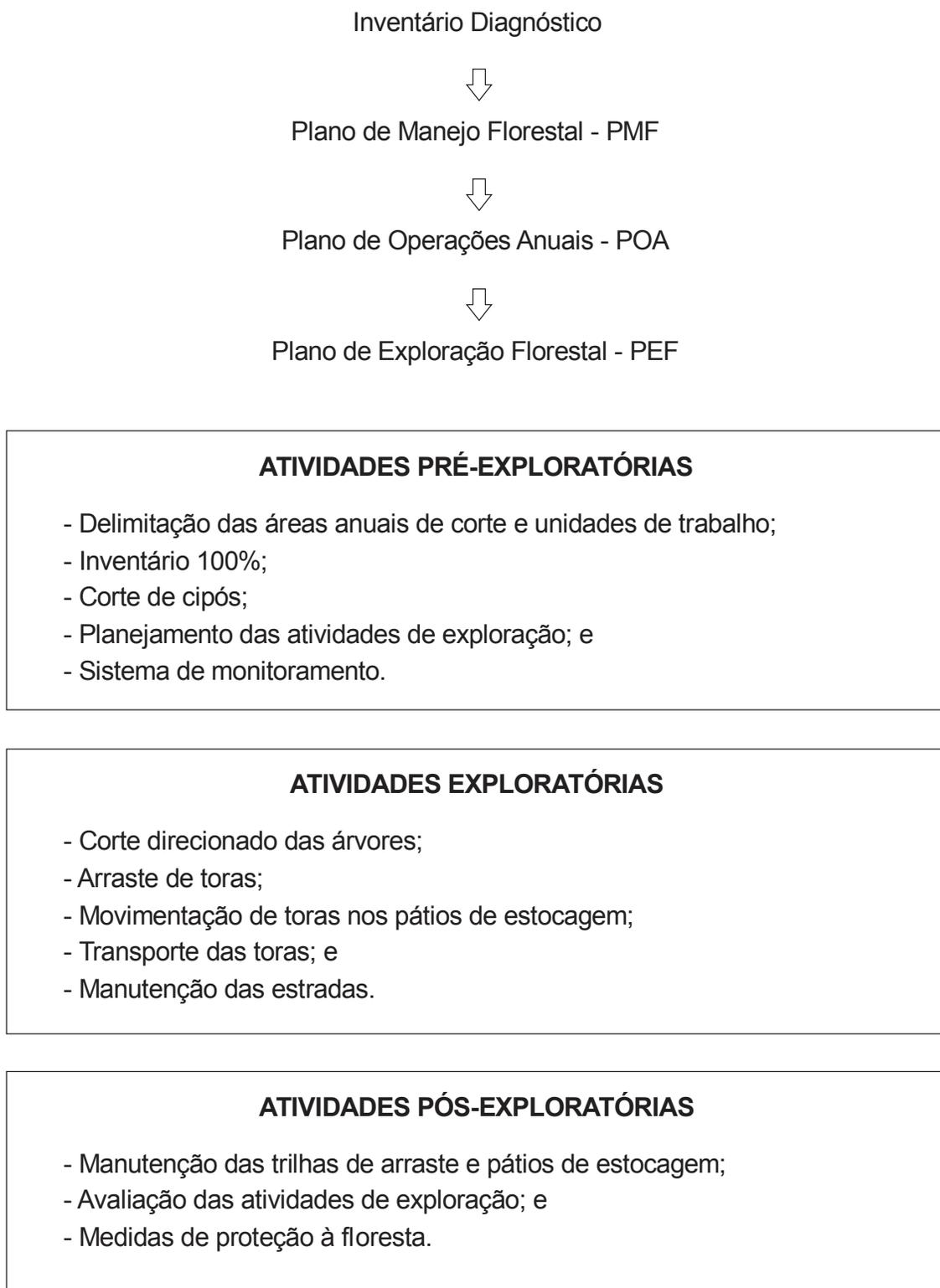
- Macroplanejamento da exploração florestal;
- Microplanejamento, incluindo as atividades pré-exploratórias;
- Atividades de exploração, também chamadas de EIR;
- Atividades pós-exploratórias, incluindo silvicultura pós-colheita.

Amaral et al. (1998) publicaram um importante manual para promover as práticas de MFS, contendo informações sobre como elaborar um plano de manejo florestal; sobre planejamento de estradas; ordenamento da área a ser explorada; censo florestal; corte de cipós; planejamento da exploração; abertura de pátios estradas e pátios de estocagem; procedimentos de corte; arraste; proteção da floresta; tratamentos silviculturais; e de custos do manejo.

Sabogal et al. (2000) apresentaram as diretrizes técnicas básicas para a realização do MFS na Amazônia, fruto de parceria e experiências entre pesquisadores, profissionais e instituições do setor. Segundo os autores, as diretrizes técnicas para a exploração sustentável são subdivididas nas seguintes atividades: 1) pré-exploratórias; 2) exploratórias; e 3) pós-exploratórias.

O cronograma dos procedimentos necessários é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Cronograma das etapas do manejo florestal.



Fonte: Adaptado de Sabogal et al. (2000).

### 3.1.5.1 Macroplanejamento

O primeiro passo para a exploração de uma área de manejo é a elaboração do PMFS. O macroplanejamento refere-se ao planejamento das atividades relacionadas à elaboração do PMFS, e fornece informações importantes que subsidiam a tomada de decisão sobre o projeto. Essa etapa envolve a seleção das áreas aptas a serem manejadas; o levantamento do potencial produtivo da floresta, por meio do inventário florestal; a avaliação da viabilidade econômica do projeto; a definição de estratégias para o gerenciamento da área; e a definição das áreas das UPAs, ou seja, as áreas definidas a partir da divisão da UMF, em áreas a serem exploradas anualmente (BALIEIRO et al., 2010).

Amaral et al. (1998) citam que o plano de manejo pode ser organizado em três fases: 1) Zoneamento ou divisão da propriedade florestal em áreas exploráveis, áreas de preservação permanente e áreas inacessíveis à exploração; 2) Planejamento das estradas secundárias que conectam a área de exploração às estradas primárias e 3) Divisão da área para exploração em blocos ou talhões de exploração anual. Os autores acrescentam que, se o manejador deseja explorar anualmente áreas de tamanho semelhante, deve-se dividir a área explorável pelo ciclo de corte. Outrossim, se a exploração for definida pelo consumo de madeira, divide-se o consumo anual de toras da indústria pelo volume médio de madeira comercial da floresta.

### 3.1.5.2 Microzoneamento

O microzoneamento baseia-se no macroplanejamento e é realizado na Unidade de Produção Anual, subsidiando a elaboração do POA, e viabilizando as operações anuais do manejo florestal. Nessa etapa, realiza-se o planejamento ao nível da UPA, estimando os recursos humanos, produção, maquinário e investimentos no período de um ano (BALIEIRO et al., 2010). Esse planejamento mais detalhado é feito a partir de atividades pré-exploratórias (ESPADA et al., 2013).

As atividades pré-exploratórias são realizadas um ano antes da exploração e incluem a delimitação das unidades de trabalho (UTs); a realização do inventário florestal 100% na UPA; trato silvicultural pré-exploratório; inventário florestal contínuo; processamento de dados; confecção de mapas de exploração; e planejamento de infraestruturas (BALIEIRO et al., 2010).

Uma inovação tecnológica para o planejamento da exploração em florestas nativas na Amazônia, foi o Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora), apresentado por Figueiredo, Braz e D'Oliveira (2007). O Modelflora foi desenvolvido por pesquisadores da Embrapa Acre, em parceria com a Embrapa Florestas e empresas madeireiras do estado do Acre, e consiste no georreferenciamento dos aspectos ambientais e árvores de interesse na área de manejo (FIGUEIREDO; LIMA, 2008). O Modelflora refere-se a um *software* ou equipamento, mas a um processo que utiliza Sistema de Informações Geográficas (SIG), tecnologias do Sistema Global de Navegação por Satélites (GNSS) para auxiliar a realização do inventário florestal e imagens de sensores remotos (radar e satélites) (BRAZ et al., 2007). O procedimento possibilita executar a exploração conforme planejado em escritório, prever os possíveis impactos sobre a floresta, monitorar integralmente as operações de exploração e reduzir custos da atividade de exploração (FIGUEIREDO et al., 2010).

#### 3.1.5.3 Exploração de impacto reduzido

Ao longo das últimas décadas, os conjuntos de diretrizes de colheita de madeira voltados à minimização dos impactos ambientais prejudiciais, advindos do corte, arraste e transporte de árvores, foram conhecidos como técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (PUTZ et al., 2008). Pesquisadores começaram a desenvolver procedimentos de exploração madeireira em florestas tropicais, que proporcionassem menos danos ao meio ambiente, e a partir da década de 1990, essas práticas começaram a ser descritas como sistemas de EIR (HOLMES, 2016).

Entre 1992 e 1997, cerca de 2.400 ha de floresta localizados no sudeste de Sabah, Malásia, foram colhidos por meio de EIR, como parte de um projeto piloto de compensação de carbono. O objetivo do projeto era reduzir os danos ao solo e à floresta remanescente, em relação às operações locais de colheita convencional. O planejamento de colheita, corte de cipós, o corte direcional e o arraste planejado, contribuíram para uma redução de 50% para 28% dos danos às árvores (PINNARD; PUTZ; TAY, 2000).

A primeira etapa consiste no corte direcional das árvores, em que as árvores selecionadas são submetidas ao teste de oco, a fim de se verificar o aproveitamento da tora na indústria, e se podem ser derrubadas. Em seguida, se constatado que a árvore pode ser derrubada, o ajudante da equipe realiza a abertura dos caminhos de

fuga, para garantir a segurança no momento da derrubada. O operador de motosserra efetua o corte, por meio de técnicas de corte direcionado. Nesse corte, evita-se desperdícios de madeira, ao minimizar a ocorrência de rachaduras na tora. A queda da árvore é direcionada, diminuindo a ocorrência de acidentes, assim como danos às árvores remanescentes (BALIEIRO et al., 2010).

Após o abate, cortam-se as copas das árvores derrubadas e, em seguida, as toras são arrastadas até pátios de estocagem. O arraste das toras até os pátios é realizado nas trilhas de arraste, adotando-se técnicas adequadas para o arraste, evitando danos ao solo e às árvores remanescentes. Nos pátios, as toras são identificadas, o que garante a rastreabilidade da madeira. Por fim, são embarcadas em caminhões para o transporte até a indústria (ESPADA et al., 2013).

#### 3.1.5.4 Atividades pós-exploratórias

Após a exploração, são realizadas operações que permitem viabilizar os próximos ciclo de corte na área explorada. São realizadas atividades como manutenção de infraestruturas, avaliação de danos e desperdícios da exploração, acompanhamento do crescimento da floresta, por meio do inventário florestal contínuo, aplicação de tratamentos silviculturais e medidas de proteção florestal (BALIEIRO et al., 2010).

### **3.2 Aspectos econômicos do manejo florestal sustentável**

Segundo Applegate, Putz e Snook (2004), embora as técnicas adequadas de manejo para exploração de florestas tropicais sejam bem conhecidas, a principal restrição, à sua adoção, é a crença por parte dos madeireiros de que essas melhorias são caras de serem implementadas. Porém, esses autores ressaltam que muitos gestores florestais não conhecem, plenamente, os custos envolvidos no processo.

À medida em que as evidências científicas mostraram que essas técnicas podem reduzir substancialmente os impactos sobre a floresta em comparação à EC, a atenção se voltou para a compreensão das condições financeiras em que as empresas madeireiras poderiam implementá-las (HOLMES, 2016).

A desagregação dos custos associados aos diferentes componentes da EIR, como parte integrante do MFS, pode ajudar os produtores de madeira a tomar

decisões mais informadas, bem como auxiliar os formuladores de políticas e os proprietários de florestas a compreenderem os custos envolvidos nesse processo. Além disso, a desagregação dos custos permite indicar quem paga e quem se beneficia dos diferentes aspectos da EIR (APPLEGATE; PUTZ; SNOOK, 2004).

Estudos clássicos buscaram detalhar os custos das diferentes etapas do manejo florestal em regiões da Amazônia brasileira. Barreto et al. (1998) identificaram e calcularam os custos envolvidos em atividades de exploração madeireira, na Fazenda Agrosete, localizada em Paragominas, PA. Em termos específicos, esses autores quantificaram os custos das seguintes atividades: consultoria para elaboração do plano de manejo; demarcação de talhões; abertura de trilhas de orientação para o mapeamento das árvores; mapeamento das árvores; corte de cipós; supervisão do projeto (taxas); desenvolvimento do planejamento de extração; orientação de estradas, pátios e ramais de arraste; derrubada da madeira; abertura de estradas e pátios; arraste de toras até os pátios; carregamento das toras nos caminhões; transporte das toras até a serraria; preço da madeira em pé; custos de planejamento da exploração; e outros custos associados a administração e manutenção.

Já, Holmes et al. (2002), tendo como objeto de estudo áreas de colheita de EIR na Fazenda Cauaxi em Paragominas-PA, dividiram os custos fixos nas seguintes etapas: 1) pré-colheita, 2) planejamento de colheita e 3) custos de infraestrutura. As atividades de pré-colheita foram: *layout* dos blocos, inventário, corte de cipós, processamento de dados e confecção de mapas.

Complementando, Holmes et al. (2002) incluíram as seguintes categorias de custos fixos: 1) suporte (cozinha, alimentos, acampamento, veículo de suporte); e 2) despesas gerais (escritório, administração e comunicações). Nas atividades de colheita, foram incluídas: marcação de árvores, planejamento de estradas e de pátios. Os custos de infraestrutura foram: construção de estradas, construção de pátios e *layout* de trilhas de arraste. Os custos variáveis foram calculados para as atividades de colheita associadas às operações de corte, traçamento, arraste e operações de pátios, como carregamento. Por último, foram levantados os custos de resíduos, da madeira em pé e com treinamento especializado.

De Graaf, Filius e Santos (2003) realizaram uma análise financeira do manejo florestal sustentável em um estudo de caso analisando a empresa Mil Madeireira Itacoatiara, localizada na região de Manaus-AM. As atividades envolvidas no levantamento dos custos foram: plano de manejo, que inclui a realização de inventário

amostral; plano de extração, que inclui os mapas com localização das estradas, trilhas de arraste, atividades silviculturais, entre outros; supervisão do IBAMA; mapeamento de árvores, incluindo a demarcação de parcelas e inventário florestal; infraestrutura: layout e marcação de estradas, trilhas e pátios; construção de estradas permanentes; construção de estradas temporárias; construção de pátios; e manutenção de estradas; operações de corte; arraste das toras; carregamento e transporte de toras; e tratamentos silviculturais.

Timofeiczky Junior et al. (2005) avaliaram os custos em uma área de manejo localizada no município de Marcelândia, Mato Grosso. Os autores consideraram as seguintes atividades para quantificar os custos fixos: imposto territorial rural (ITR); depreciação; juros sobre o capital próprio; custos administrativos, como salários e encargos, manutenção e despesas administrativas. Os custos variáveis foram compostos pelas seguintes atividades pré-exploratórias: elaboração do PMFS, censo florestal, taxa do IBAMA e corte de cipós; exploratórias: taxas do IBAMA, operações de exploração, e carregamento das toras nos caminhões; e pós-exploratórias: tratamentos silviculturais, limpeza de estradas secundárias e esplanadas; proteção florestal, e monitoramento e desenvolvimento da floresta.

Matsunaga (2005) desenvolveu uma análise econômica da cadeia produtiva da madeira oriunda de plano de manejo florestal, em um estudo realizado na Fazenda Castelo I, localizada no município de Altamira, região Sul do Pará. O custo de produção foi composto por: custo anual da terra; custo de elaboração do plano de manejo; custo de infraestrutura operacional; custo de tratamentos silviculturais; custo de extração, incluindo as atividades de construção dos ramais, manutenção dos ramais, construção dos pátios, marcação das árvores, derrubada com motosserra, arraste de toras, traçamento, carregamento e descarregamento; custo de transporte para a serraria; custo de desdobro; custo de transporte da madeira serrada; e custo administrativo.

Thaines (2013) listou os coeficientes técnicos para o Manejo Florestal Comunitário madeireiro no Bioma Amazônia. O estudo analisou sete projetos de manejo comunitário, localizados no Acre e Pará, com potencial de representação dos sistemas de produção adotados na Amazônia. Os índices técnicos apresentados foram divididos nas fases:

- Pré-exploratória: delimitação da área de exploração; abertura de picadas de orientação e sinalização; levantamento das árvores (IF100%); microzoneamento;

corte de cipó; processamento dos dados; planejamento da exploração, mapas, entre outros; instalação de parcelas permanentes; insumos, materiais e equipamentos; planejamento das estradas (marcação); abertura de pátios de estocagem e da rede de estradas; corte ou abate das árvores, com traçamento;

- Exploratória: desdobro das toras no local da zona de abate; planejamento de arraste (marcação das trilhas); arraste mecanizado ou por tração animal; medição das toras (romaneio/cadeia de custódia); carregamento (toras ou peças desdobradas); transporte (toras ou peças desdobradas); e insumos, materiais e equipamento.

- Pós-exploratória: medição de parcelas permanentes; avaliação de danos; tratos silviculturais; manutenção de infraestrutura; insumos, materiais e equipamentos.

- Administrativo: equipe de apoio e administração; e insumos, materiais e equipamentos.

Silva e Santos (2011), analisaram economicamente o manejo florestal, na Floresta Estadual do Antimary (FEA), estado do Acre. Para tal, consideraram os seguintes itens no levantamento dos custos: elaboração do Plano Operacional Anual; construção de ramais e pátios; documentação; implantação e medição das parcelas permanentes; serviços administrativos e tratamentos silviculturais.

Silva (2015b) quantificou o custo de produção de madeira serrada, oriunda de florestas públicas manejadas, sob a forma de concessão florestal, localizadas no estado do Acre. Para tal, foi levado em consideração os custos de produção florestal da madeira em tora, do processamento industrial desta e, por último, o custo com a comercialização da madeira serrada.

### 3.2.1 Técnicas de avaliação econômica do manejo de florestas tropicais

Segundo Buongiorno e Gilless (2003), muitas das atividades que os gestores florestais realizam são investimentos, ou seja, projetos que produzem resultados em períodos futuros. O longo período de tempo necessário para cultivar árvores é o que distingue o manejo florestal da maioria das outras atividades econômicas.

Antes da implementação de um projeto, deve-se realizar testes de viabilidade, entre os quais destaca-se o de viabilidade econômica, que consiste em verificar se as receitas superam os custos (SILVA; JACOVINE; VALVERDE, 2005). A avaliação econômica de um projeto baseia-se em seu fluxo de caixa, isto é, nos custos e nas

receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento, envolvendo o uso de técnicas e critérios de análise que comparam os custos e receitas inerentes ao projeto, visando decidir se este deve ou não ser implementado (REZENDE; OLIVEIRA, 2011).

A implantação de um projeto só é válida se os rendimentos esperados forem comprovadamente superiores ao montante de recursos que é necessário investir. Dessa forma, se um projeto remunerar o capital próprio, assim como amortizar os financiamentos efetuados, este é considerado rentável (HOFFMANN et al., 1989).

De acordo com Silva, Jacovine e Valverde (2005), há vários métodos de avaliação econômica, divididos em dois grupos principais, sendo que um considera a variação do capital no tempo. Os métodos em que não se considera a variação do capital no tempo são indicados para horizontes de planejamento muito curto, em que não há inflação, sendo eles: tempo de retorno do capital (*pay-back period*), razão receita/custo e razão receita média/custo. O segundo grupo compreende aqueles métodos em que se considera a variação do capital no tempo, sendo eles: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), razão benefício/custo (B/C), valor periódico equivalente (VPE) ou benefício (custo) periódico equivalente (B(C)PE) e custo médio de produção (CMP<sub>r</sub>).

Cada critério econômico fornece informações específicas, assim, recomenda-se o uso de mais de um critério. Os critérios ou métodos mais recomendados são: VPL, TIR, B(C)PE, CMP<sub>r</sub>, B/C e tempo de recuperação de capital. Após efetuados os cálculos necessários, deve-se proceder a uma análise detalhada dos resultados, identificando, por exemplo, os itens de custo mais importantes, determinando a faixa de variação dos custos para qual o projeto, ainda, é economicamente viável, entre outros (REZENDE; OLIVEIRA, 2011).

Souza e Soares (2013) comentam que, ao se analisar economicamente um PMFS, devido a taxas de juros elevadas e, principalmente, em virtude de os projetos de manejo apresentarem ciclos de corte longos, de 10 a 35 anos, métodos que não consideram a variação do capital no tempo não são indicados.

Alguns estudos envolvendo a rentabilidade do manejo florestal sustentável foram desenvolvidos na Amazônia. Barreto et al. (1998) compararam o desempenho financeiro da extração da madeira, com e sem manejo, no leste da Amazônia. Os autores analisaram o VPL da primeira e segunda colheita de madeira, para ciclos de corte 20 a 30 anos, com e sem manejo florestal, usando taxas de desconto variando de 6 a 20%. Esses autores constataram que as operações de exploração madeireira

com planejamento, ou seja, com manejo florestal, podem ser mais rentáveis do que as não planejadas. Para um ciclo de corte de 20 anos, o VPL da extração planejada foi de 39 a 56% maior, dependendo da taxa de desconto utilizada. Os autores estimaram que o VLP das duas colheitas de madeira com manejo, em um ciclo de corte de 30 anos, seria cerca de 38% a 45% maior do que sem manejo. Os autores citam que o maior benefício econômico do manejo decorreu da redução dos desperdícios de madeira.

Holmes et al. (2002) compararam os custos e as receitas em operações de exploração convencional e EIR na Amazônia Oriental. A principal conclusão do estudo foi de que, considerando as condições florestais, industriais e de mercado nas quais a análise foi realizada, a EIR foi menos onerosa e mais rentável que a EC. A renda líquida de uma EIR foi de aproximadamente 19% maior do que a da EC.

Bona et al. (2015) analisaram a viabilidade econômica da exploração florestal em um PMFS utilizando o método da Razão Receita/Custo. Com isso, esses autores concluíram que a atividade de exploração foi economicamente viável, pois apresentou a razão Receita/Custo de 1,70.

### 3.2.2 Margem de comercialização

A margem de comercialização é definida como a diferença entre o preço que o consumidor paga e o preço que é obtido pelos produtores (TOURE; WANG, 2013).

Para Guedes (1999), margem de comercialização é o preço dos serviços de comercialização, ou seja, a diferença entre os preços de venda e os de compra do produto nos diferentes níveis da cadeia.

A margem absoluta, segundo Reis e Carvalho (1999), se refere à margem em valores monetários, considerada também como custo bruto da comercialização, sendo obtida pela subtração do valor de venda para o de compra, em certo nível de mercado.

### 3.3 Regulação da produção florestal

O processo de regulação florestal refere-se à obtenção anual ou periódica de produtos da floresta em igual volume, tamanho e qualidade (LEUSCHNER, 1990). Regular a produção de uma floresta consiste em decidir quando, onde e quanto de madeira será colhida, de modo a atingir os objetivos do manejador ou empresa

florestal (RODRIGUES et al., 1998). Uma floresta regulada é aquela em que os produtos são obtidos em quantidade e qualidade suficiente para o atendimento das demandas (SANTOS, 2012). As decisões de regulação indicam quais espécies e quanto delas deve ser colhido (LEUSCHNER, 1984).

A regulação florestal relaciona-se com o conceito de produção sustentável. O objetivo de se obter uma floresta regulada é garantir um rendimento contínuo dos diversos produtos e usos da floresta (DYKSTRA, 1984). Assim, a regulação da produção florestal vem sendo abordada em alguns trabalhos, como: Binoti (2010); Binoti et al. (2014); Haddad et al. (2014); Piassi (2011); Rodrigues et al. (2006); Silva (2014a) e Silva e Ribeiro (2006).

De acordo com Braz (2010), uma vez em que se busca obter o rendimento volumétrico sustentado, torna-se necessário definir qual área deve ser submetida à exploração periodicamente e quanto de volume pode ser explorado em cada período ou ciclo de corte. Ao longo dos anos, vários métodos para o controle da colheita foram desenvolvidos em diversas partes do mundo, especialmente na Europa (DAVIS; JONHSON, 1986). Porém, a maioria desses métodos se enquadram em uma das seguintes categorias: controle por área e controle por volume (BUONGIORNO; GILLESS, 2003). Além destes, há também métodos que levam em consideração a combinação área-volume (SOUZA; SOARES, 2013).

O controle por área é um método que requer que sejam cortadas iguais áreas ou áreas de igual produtividade, anualmente ou periodicamente (LEUSCHNER, 1984). Dessa forma, corta-se o mesmo número de hectares de povoamentos equiprodutivos a cada ano (BRAZ, 2010). É um método que determina indiretamente o volume da exploração baseado no estoque da floresta. Na aplicação mais simples, a área da floresta é dividida pela idade de rotação ou o ciclo de corte para determinar o número de hectares a ser colhido anualmente (LEUSCHNER, 1990).

O método de controle de área é a maneira mais simples para regular a colheita. Sendo  $A$  a área de uma floresta e  $R$  a idade de rotação, se uma área constante de  $A/R$  é cortada a cada ano, a floresta estará totalmente regulada após  $R$  anos (KANGAS; KANGAS, KURTILLA, 2008). Quando a produção é regulada pela área, em geral, não é possível estabelecer previamente a quantidade anual de madeira a ser colhida. O corte anual é obtido segundo uma divisão pela área da floresta a manejar (MARTINS FILHO, 2006).

No método de controle pelo volume, a colheita é determinada por meio do volume e da distribuição do estoque de crescimento e do seu incremento (SOUZA; SOARES, 2013). Nesse método, define-se a quantidade de madeira a ser colhida a cada ano dentro do horizonte de planejamento, em que os cortes são iguais anualmente ou periodicamente (LEUSCHNER, 1984). Este é um método direto de controlar e determinar a quantidade de madeira a ser colhida por meio de cálculos baseados no estoque e no volume em crescimento, desconsiderando a área (SANTOS, 2012). A decisão principal envolve a quantidade de volume para cortar a cada ano e a área a ser explorada é escolhida para satisfazer esse volume (DAVIS; JONHSON, 1986).

Na prática, torna-se necessário combinar os dois tipos de controle, isto é, por área e por volume, pois nenhum pode fornecer uma determinação completa do corte (DAVIS; JONHSON, 1986). Na combinação dos métodos por área e volume, o volume a explorar é definido pela consideração ambos, buscando equilibrar volume de corte com a redução da área em locais mais produtivos e vice-versa (BRAZ, 2010).

No modelo de regulação de florestas inequiâneas, um conjunto de zonas de floresta de produção são divididas numa série de UPAs, sendo que estas devem ser regularmente colhidas no ciclo de corte. Pressupõe-se que as UPAs produzem igual volume de colheita. Na prática, pode-se até realizar a colheita em mais de uma UPA num mesmo ano, porém, a produção total deve atender a demanda anual do proprietário (SOUZA; SOARES, 2013).

### **3.4 Pesquisa Operacional (PO)**

A Pesquisa Operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), devido a necessidade de alocação dos recursos escassos entre as diversas operações militares e atividades atribuídas a cada operação. Os comandos militares britânico e norte-americano convocaram vários cientistas para realizarem pesquisas a fim de lidar com este e outros problemas táticos e estratégicos. Essas equipes de cientistas foram as primeiras de PO (BELFIORE; FÁVERO, 2012; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

O grupo de cientistas alcançou resultados positivos fazendo com que a PO fosse disseminada nos Estados Unidos. Em 1947, foi desenvolvido pela equipe liderada por George B. Dantzig, o método Simplex para resolução de problemas de

programação linear (PL) (BELFIORE; FÁVERO, 2012). O termo Pesquisa Operacional associa-se em geral, e quase exclusivamente, com a aplicação de técnicas matemáticas a problemas de decisão, representados e analisados por meio de modelos (ARCE, 1997).

A PO destaca-se como uma importante disciplina que reúne diversas das mais consagradas técnicas da modelagem matemática. Os principais modelos de PO são denominados de Programação Matemática (PM) e estão fortemente direcionados ao apoio da tomada de decisão, sendo de grande utilidade na solução de problemas de planejamento e otimização. A tomada de decisão é importante, pois consiste em selecionar, dentre várias decisões possíveis, a mais adequada para o alcance de determinado objetivo (GOLDBARG; LUNA, 2005). Os modelos de programação matemática podem ser simples ou complexos, e as expressões matemáticas podem ser lineares ou não lineares (DYKSTRA, 1984). O sucesso de um modelo de otimização depende de sua adequada formulação (GOLDBARG; LUNA, 2005).

As primeiras aplicações da PO para os problemas de manejo florestal datam a partir da década de 1960 (BUONGIORNO; GILLESS, 2003). Alguns modelos aplicados no planejamento florestal são: Programação Linear (PL), Programação Inteira (PI), Programação Inteira Mista (PIM), Programação Binária (PB), Programação Dinâmica (PD), Programação por Metas (PM) e Métodos Heurísticos (BETTINGER et al., 2009).

Como exemplos, pode-se citar os seguintes estudos na ciência florestal, que utilizaram modelos de PO para resolução de problemas de disposição espacial: Baskent e Keles (2005); Binoti (2010); Kurtilla (2001); Ohman e Eriksson (2002); de regulação da produção florestal: Carvalho et al. (2015); Silva (2014a); Silva et al. (2003); Silva (2001); padrões de corte em serrarias ou otimização de multiprodutos: Campos et al. (2013); Maturana, Pizani e Vera (2010); Soares et al. (2003); Zanjani, Ait-kadi e Nourelfath (2010); em problemas de transporte florestal: Arce (1997); Berger et al. (2003); Lacowicz (2000); entre outros que abordam questões de planejamento florestal, como: Augustynczyk (2014); Brun (2002); Fernandes et al. (2013); Lima (2009); Rodrigues et al. (2003); Silva et al. (2006).

### 3.4.1 Programação Linear

A Programação Linear é um importante ramo da PO, sendo um dos métodos mais empregados na resolução de diversos problemas (BELFIORE; FÁVERO, 2012; MA; YANG; ZHANG, 2012). Trata-se de uma técnica de otimização, sendo uma das primeiras ferramentas para lidar com complexos problemas de tomada de decisão para a indústria, agricultura e governo (BUONGIORNO; GILLESS, 2003). A ideia da PL é alocar os recursos limitados de forma otimizada, ou seja, de maneira ótima ou ideal (BUONGIORNO; GILLESS, 2003; GOLDBARG, LUNA, 2005; KANGAS; KANGAS; KURTTILA, 2008).

Muitos gestores florestais enfrentam situações em que devem alocar recursos limitados para atividades concorrentes de uma forma ótima. Assim, a PL é o método de otimização mais usado em problemas de planejamento florestal (BUONGIORNO; GILLESS, 2003). Pereira (2004) utilizou programação linear para a maximização da mão-de-obra global na exploração da floresta. No estudo de Fiorentin (2016), a técnica foi empregada para a maximização da produção dos sortimentos dos talhões. Faria (2013) aplicou PL para minimizar o somatório do deslocamento dentro do talhão. Já Braz (2001) empregou para a minimização dos desvios da renda bruta, visando obter uma renda semelhante anualmente em função da reunião de subtalhões.

A PL busca fundamentalmente encontrar a melhor solução para problemas em que os modelos são representados por funções lineares. Sua aplicação visa a maximização ou minimização de uma função linear, denominada função objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou desigualdades que são chamadas de restrições. As restrições impostas representam, geralmente, limitações de recursos disponíveis ou, então, exigências que devem ser cumpridas no problema. Essas restrições determinam uma região que recebe o nome de conjunto de soluções viáveis, sendo uma solução viável aquela em que todas as restrições são satisfeitas. A melhor solução entre as soluções viáveis, isto é, aquela que maximiza ou minimiza a função objetivo, em sua totalidade denomina-se solução ótima (BELFIORE; FÁVERO, 2012; BREGALDA; OLIVEIRA, BORNSTEIN, 1988; HILLIER, LIEBERMAN, 2006). Na PL, se existe uma solução ótima, é sempre um ponto extremo do conjunto de soluções viáveis (KANGAS; KANGAS; KURTTILA, 2008).

Em um Problema de Programação Linear (PPL), as variáveis de decisão devem ser todas contínuas, ou seja, devem assumir quaisquer valores em um intervalo de

números reais. Tais variáveis são as incógnitas, ou valores desconhecidos, que serão determinados pela solução do modelo (BELFIORE; FÁVERO, 2012).

Um PPL maximiza ou minimiza uma função objetivo linear para um conjunto de igualdades e/ou desigualdades lineares. As variáveis escolhidas não devem assumir valores negativos (LEUSCHNER, 1984). A forma-padrão de um PPL é descrita da seguinte forma (HILLIER; LIEBERMAN, 2006):

Função objetivo:

$$\text{Max / Min } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito à:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n;$$

$$i = 1, 2, \dots, m.$$

Em que  $Z$  é a função objetivo a ser maximizada ou minimizada;  $x_j$  são as variáveis de decisão a serem resolvidas no problema;  $c_j$  é o coeficiente que mede a contribuição na função objetivo  $Z$  de cada incremento unitário no nível da atividade  $j$ ;  $b_i$  é a quantidade disponível do recurso  $i$  que deve ser respeitada nas restrições impostas ao problema;  $a_{ij}$  são os coeficientes operacionais, isto é, a quantidade do recurso  $i$  consumido por uma unidade da atividade  $j$ . Os valores de  $c_j$ ,  $b_i$  e  $a_{ij}$  são as constantes de entrada, conhecidas como parâmetros do modelo.

A restrição  $x_j \geq 0$  é a restrição de não-negatividade. Algumas restrições com uma desigualdade do tipo maior ou igual, e de igualdade, também podem ser utilizadas (KANGAS; KANGAS; KURTTILA, 2008).

O modelo de PL, na sua forma mais básica, tem quatro hipóteses ou pressupostos que devem ser atendidos (HILLIER; LIEBERMAN, 2006):

a) Proporcionalidade: a contribuição de cada atividade no valor da função objetivo e em cada restrição, é diretamente proporcional ao valor da atividade (variável de decisão);

b) Aditividade: toda função em um modelo de PL é a soma das contribuições individuais de cada variável de decisão;

c) Divisibilidade: as variáveis de decisão são variáveis contínuas; e

d) Certeza: o valor atribuído a cada parâmetro do modelo é assumido como uma constante conhecida.

### 3.4.1.1 Programação Linear Inteira (PLI)

A pressuposição de divisibilidade da PL, em diversas situações do planejamento florestal, pode resultar na impossibilidade de adoção da solução ótima, como em casos em que as variáveis decisórias envolvem, por exemplo, mão-de-obra ou número de máquinas (SILVA et al., 2003). Segundo Hillier e Lieberman (2006), as variáveis de decisão, muitas vezes, fazem sentido apenas se assumirem valores inteiros. O modelo matemático para um problema de Programação Inteira (PI) refere-se ao modelo de PL, com uma restrição adicional de que as variáveis devem apresentar valores inteiros (GOLDBARG; LUNA, 2005).

Problemas florestais que envolvem variáveis inteiras são comuns no manejo florestal, justificando, portanto, a adoção de restrições de integralidade (SILVA et al., 2003). Entretanto, há problemas que são ainda mais limitantes, envolvendo decisões em que as únicas escolhas possíveis são “sim” e “não”. Com apenas duas opções, tais decisões podem ser representadas por variáveis de decisão que estão restritas apenas a dois valores, 0 e 1. Tais variáveis são chamadas variáveis binárias (0-1). Assim, problemas de PI contendo apenas variáveis binárias são denominados de problemas de Programação Inteira Binária (PIB) (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Alguns trabalhos envolvendo variáveis inteiras e binárias foram desenvolvidos, como o de Murray e Church (1995), que tinham por uma das decisões  $x_{it}$ , isto é, se a unidade  $i$  é colhida no tempo  $t$  (se sim, assume o valor 1, caso contrário, 0); no estudo de Fernandes et al. (2013), as variáveis  $x_i$ , com  $x_i \in 0,1,2,\dots,N$ , significam o número de equipes a executar a atividade  $i$ ; Binoti et al. (2014) tinham como variáveis decisórias  $x_{ij}$ , representando a  $j$ -ésima alternativa de manejo adotada na  $i$ -ésima unidade de manejo.

### 3.4.1.1.1 Métodos de solução de PLI

O requisito de que as variáveis devem assumir valores inteiros, em um problema de PLI, normalmente implica em maior complexidade computacional (GOLDBARG; LUNA, 2000). As técnicas para resolução desses problemas podem ser classificadas em duas categorias principais: algoritmos exatos e heurísticos (RAIDL; PUCHINGER, 2008).

Os algoritmos exatos são aqueles que garantem uma solução ótima e provam sua otimalidade para cada instância de um problema. Contudo, o tempo de execução muitas vezes aumenta consideravelmente com o tamanho do problema, e muitas vezes, apenas instâncias de tamanho pequeno ou moderado podem ser resolvidas para uma solução ótima. Para casos maiores, a alternativa geralmente é recorrer a algoritmos heurísticos que consomem menor tempo de execução e são projetados para obter boas soluções, mas não necessariamente ótimas, em tempo aceitável (RAIDL; PUCHINGER, 2008).

Goldbarg e Luna (2000) citam alguns métodos para resolver problemas de PLI: 1) técnicas de enumeração: separação e avaliação progressiva ou *Branch-and-Bound* (B&B); enumeração implícita e restrições *surrogate*; 2) técnicas de corte: cortes inteiros; cortes combinatórios; cortes de interseção e método de decomposição de Benders; e 3) técnicas híbridas: *Branch-and-Cut* (B&C) e teoria de grupo.

Segundo Genova e Guliashki (2011), os métodos exatos para resolver problemas de otimização de PLI são divididos em: Algoritmos de planos de corte; Abordagens enumerativas: B&B, B&C e métodos *Branch-and-Price*; e Técnicas de relaxação e de decomposição.

O algoritmo B&B é uma técnica de solução exata que se baseia na enumeração inteligente dos pontos candidatos à solução ótima inteira de um problema (GOLDBARG; LUNA, 2000). O algoritmo realiza a divisão (*branching* ou ramificação) do conjunto inteiro de soluções viáveis em subconjuntos menores. A conquista, ou avaliação, é feita parcialmente limitando-se quão boa pode ser a melhor solução no subconjunto e, em seguida, é descartado um subconjunto, caso seu limite indique que possivelmente ele não possa conter uma solução ótima para o problema original (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

O algoritmo B&B usa uma estratégia de busca que enumera todas as soluções possíveis para um determinado problema, em uma estrutura de árvore, eliminando

regiões do espaço de solução de busca que não podem levar a uma melhor solução. Uma vez que a árvore inteira foi explorada, a melhor solução encontrada na busca é retornada (MORRISON et al., 2016). O B&B é um método de solução ótima bem conhecido, no entanto, quando a dimensionalidade do espaço de solução é grande, o tempo de computação do algoritmo torna-se excessivo (NAKARIYAKUL, 2014). A combinação do método B&B com algoritmos de plano de corte resultou em uma classe poderosa de algoritmos *Branch-and-cut*. A ideia é gerar planos de corte em toda a árvore de um algoritmo B&B padrão, para obter limites apertados das relaxações em cada nó, ou para excluir soluções inviáveis (RAIDL; PUCHINGER, 2008).

O crescimento exponencial do número de soluções possíveis, de acordo com o tamanho da instância do problema, torna inviável a procura por uma solução ótima. Nessas situações, métodos heurísticos ou aproximativos são empregados para encontrar soluções sub-ótimas (aproximadas) de qualidade aceitável (RANGEL et al. 2000). Um método heurístico é um procedimento em que não há garantia da solução ótima para o problema, porém, fornece uma solução viável que se encontra pelo menos próxima da ótima, utilizando um esforço computacional considerado razoável (GOLDBARG; LUNA, 2005; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

As estratégias heurísticas básicas, usadas nos algoritmos aproximados, podem ser dos seguintes tipos: algoritmos construtivos ou algoritmos de melhoria local. Os algoritmos construtivos geram a solução passo a passo, usando os dados do problema. Geralmente, não há solução encontrada, até que o algoritmo não tenha terminado seu desempenho. O algoritmo “*greedy*” ou guloso, pertence a essa classe de algoritmos, em que a cada etapa é incluído um próximo elemento da solução, escolhido de tal forma que a melhoria local seja alcançada (por exemplo, o maior ganho ou o menor preço) (GENOVA; GULIASHKI, 2011).

Os algoritmos de melhoria local geralmente começam a usar uma solução viável do problema, e as soluções vizinhas da solução atual  $x$  é avaliada. Quando alguma delas é melhor do que a atual solução  $x$ , torna-se a nova solução atual do problema e sua vizinhança é explorada. Este procedimento continua até que não haja melhoria e a solução atual neste passo é um ótimo local (GENOVA; GULIASHKI, 2011).

As metaheurísticas envolvem as chamadas heurísticas estocásticas e analógicas (GOLDBARG; LUNA, 2000), e são métodos de solução que usam procedimentos de melhoria local e estratégias de nível superior para criar um processo

capaz de escapar do ótimo local e realizar uma busca robusta de um espaço de solução (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). As metaheurísticas foram propostas na década de 1980, a fim de resolver problemas de otimização combinatória decorrentes de muitas áreas práticas, e incluem *simulated annealing*, *tabu search*, redes neurais e algoritmos genéticos (DONDO; CERDÁ, 2009).

#### 3.4.1.1.2 O problema de p-medianas (PPM)

O PPM é um dos modelos de localização-alocação mais conhecidos na literatura científica. Foi originalmente definido por Hakimi em 1964 e 1965, e envolve a localização de  $p$  instalações em uma rede, de tal maneira que a distância total seja minimizada (CHURCH, 2008). Os problemas de localização têm como objetivo geral localizar novas instalações para otimizar algum objetivo, como a distância ou outro critério, como tempo de viagem (CURRENT; DASKIN; SCHILLING, 2002); ou custo total de transporte (DANTRAKUL; LIKASIRI; PONGVUTHITHUM, 2014). Tais problemas são conhecidos como problemas de localização-alocação devido ao processo de alocação dos clientes aos centros abertos (LORENA et al., 2001). O PPM é um problema clássico de localização em que o objetivo é determinar os locais de  $p$  instalações (denominadas medianas) em uma rede de  $n$  nós, de modo a minimizar a soma das distâncias entre cada nó de demanda e a mediana mais próxima (SENNE; LORENA, 2003).

Esse problema pode ser visto ainda como o problema de agrupar  $N$  vértices de um grafo em  $p$  conjuntos, em torno de um vértice mediano, onde existe ou deveria existir uma instalação (COSTA; COSTA, GÓES, 2007). Dessa forma, pode ser empregado na determinação de centros para a formação de *clusters* (HANSEN et al., 2009; SENNE; LORENA; PEREIRA, 2005).

O problema de p-medianas pode ser descrito como o seguinte problema de PIB (SENNE; LORENA; PEREIRA, 2005):

Função objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n Y_j = P \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq Y_j, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij}, Y_j \in \{0,1\}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

Em que  $i, j$  são os locais (clientes  $i$  e instalações  $j$ );  $d_{ij}$  é a distância, custo de deslocamento ou qualquer outra variável de interesse que liga o local  $i$  para o local  $j$ ;  $P$  é o número total de instalações (medianas), a serem abertas de acordo com critério específico;  $x_{ij}$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se o cliente  $i$  é atendido pela instalação  $j$ , caso contrário, assume o valor 0;  $Y_j$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se a instalação  $j$  for uma instalação utilizada como mediana, caso contrário, assume o valor 0.

A função objetivo (1) busca minimizar o somatório das distâncias entre a instalação  $j$  e cada cliente  $i$  ligado a ela. A primeira restrição (2) é uma restrição de ligação única, garantindo que cada cliente  $i$  seja atendido por apenas uma instalação  $j$ . A segunda restrição (3) determina o número exato de instalações  $P$  a serem localizadas. A terceira restrição (4) impõe que cada cliente  $i$  seja ligado apenas à uma instalação  $j$ , se esta for uma mediana. A última restrição (5) garante que as variáveis de decisão são binárias.

Este problema tem sido um considerável objeto de investigação envolvendo o desenvolvimento de abordagens de solução especiais, bem como o desenvolvimento de muitos tipos diferentes de formatos de modelos (CHURCH, 2008). A localização de  $p$ -medianas é reconhecida como um problema *NP-Hard* (KARIV; HAKIMI, 1979). Tratam-se de problemas de otimização complexos, difíceis de serem solucionados devido ao grande número de combinações (MAPA, 2007). Boas soluções, portanto, podem requerer tempos computacionais excessivos (SENNE; LORENA, 2003). Assim, para problemas de grande porte, métodos de solução heurísticos são normalmente utilizados (DOMÍNGUEZ; MUÑOZ, 2008; MLADENOVIC et al., 2007).

Quando as demandas dos clientes e as capacidades das instalações estão incluídas no modelo, o modelo é do tipo capacitado. Em um caso capacitado, cada cliente tem uma certa demanda para atender e as instalações têm restrições de capacidade, ou seja, as demandas totais dos clientes atribuídos a uma instalação não

podem exceder a capacidade dessa instalação (DANTRAKUL; LIKASIRI; PONGVUTHITHUM, 2014). O problema de p-medianas capacitado (PPMC) é uma particularização do problema de p-medianas não capacitado (PPMNC), com restrições adicionais de que cada ponto de demanda seja alocado sem violar a restrição de capacidade de atendimento da mediana (ISLER; BONASSA; CUNHA, 2012). Os problemas de agrupamento capacitados têm muitas aplicações práticas, como localização da instalação de hospitais, escolas e coleta de lixo, entre outros (STEFANELLO; ARAÚJO; MÜLLER, 2012).

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. F. et al. Circunstâncias Estaduais. In: COSTA, F. S. et al. (Ed.) **Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do estado do Acre: ano-base 2010**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2012. 144 p.
- AMARAL, P. et al. **Floresta para sempre**: um manual para a produção de madeira na Amazônia. Belém: Imazon, 1998. 130 p.
- ANGELO, H. et al. Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 341-348, 2014.
- APPLEGATE, G.; PUTZ, F. E.; SNOOK, L. K. **Who pays for and who benefits from improved timber harvesting practices in the tropics? Lessons learned and information gaps**. Bogor: Center for International Forestry Research, 2004. 35 p.
- ARCE, J. E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização dos custos**. 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- AUGUSTYNCZIK, A. L. D. **Planejamento florestal otimizado considerando áreas mínimas e máximas operacionais de colheita**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- AZEVEDO, A.; REIS, T. (Ed.). **Código Florestal: avaliação 2012-2016**. Belém: IPAM/ OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL, 2016. 46 p.
- BALIEIRO, M. R. et al. **As concessões de florestas públicas na Amazônia Brasileira: um manual para pequenos e médios produtores**. 2. ed. Piracicaba; Belém: Imaflora/ IFT. 2010. 204p.
- BARRETO, P. et al. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.108, p. 9-26, 1998.
- BARROS, A. C.; UHL, C. **Padrões, problemas e potencial da extração madeireira ao longo do Rio Amazonas e do seu estuário**. Belém: Imazon, 1997. 42 p. (Imazon. Série Amazônica, 4).
- BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. (Ed.). **A expansão da atividade madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal no Pará**. 2. ed. Belém: Imazon, 2002. 166 p.
- BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: a review. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 188, p. 145-173, 2005.
- BELFIORE, O.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional: para cursos de Administração, Contabilidade e Economia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 355 p.
- BERGER, R. et al. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 33-50, 2003.

BETTINGER, P. et al. **Forest Management and Planning**. San Diego: Academic Press, 2009. 331 p.

BINOTI, D. H. B. **Estratégias de regulação de florestas equiâneas com vistas ao manejo da paisagem**. 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BINOTI, D. H. B. et al. Regulação de florestas equiâneas com restrição de classes de idade por compartimento. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 567-573, 2014.

BLASER, J. et al. **Status of tropical forest management 2011**. Yokohama: International Tropical Timber Organization, 2011. 418 p. (ITTO. Technical Series, 38).

BOLTZ, F. et al. Financial returns under uncertainty for conventional and reduced-impact logging in permanent production forests of the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 387-398, 2001.

BONA, D. A. O. et al. Receita/custo da atividade de exploração florestal em um plano de manejo florestal sustentável na Amazônia - estudo de caso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 50-55, 2015.

BRASIL. Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1994. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 nov. 1994. Seção 1, p. 16803-16804.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/11/1994&jornal=1&pagina=3&totalArquivos=56>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Decreto nº 2.788, de 28 de setembro de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 set. 1998a. Seção 1, p. 19. Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=29/09/1998&jornal=1&pagina=39&totalArquivos=88>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 dez. 2006a. Seção 1, p. 01-03.

Disponível

em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/12/2006&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=132>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa nº 04, de 28 de dezembro de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 1998b. Seção 1, p. 150.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/12/1998&jornal=1&pagina=410&totalArquivos=428>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa nº 05, de 28 de dezembro de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 1998c. Seção 1, p. 151.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/12/1998&jornal=1&pagina=411&totalArquivos=428>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa nº 06, de 28 de dezembro de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 1998d. Seção 1, p. 151.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/12/1998&jornal=1&pagina=412&totalArquivos=428>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 12 de fevereiro de 2015. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 fev. 2015. Seção 1, p. 67.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/02/2015&jornal=1&pagina=67>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 101, de 19 de junho de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 jun. 2006f. Seção 1, p. 59-60.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=59&data=20/06/2006>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 112, de 21 de agosto de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 ago. 2006h. Seção 1, p. 58-63.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=23/08/2006&jornal=1&pagina=58&totalArquivos=72>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 15, de 31 de agosto de 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 set. 2001. Seção 1, p. 89-95.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/09/2001&jornal=1&pagina=89&totalArquivos=264>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 30, de 31 de dezembro de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 jan. 2003a.

BRASIL. Instrução normativa nº 4, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006c. Seção 1, p. 154-155.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/12/2006&jornal=1&pagina=154&totalArquivos=232>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006d. Seção 1, p. 155-159.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/12/2006&jornal=1&pagina=155&totalArquivos=232>>. Acesso em: 02 set. 2016.

BRASIL. Instrução normativa nº 7, de 22 de agosto de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 ago. 2003b. Seção 1, p. 47-51.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=47&data=26/08/2003>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 93, de 3 de março de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 mar. 2006e. Seção 1, p. 33-35. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/03/2006&jornal=1&pagina=33&totalArquivos=44>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 02 de março de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 mar. 2006b. Seção 1, p. 1-9. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/03/2006&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=80>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012. Seção 1, p. 1-8. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/05/2012&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=168>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 set. 1965. Seção 1.

BRASIL. Norma de execução nº 1, de 24 abril de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 abr. 2007. Seção 1, p. 405. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/04/2007&jornal=1&pagina=405&totalArquivos=428>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Portaria nº 253, de 18 de agosto de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 ago. 2006g. Seção 1, p. 92. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/08/2006&jornal=1&pagina=92&totalArquivos=104>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 dez. 2014. Seção 1, p. 110-121. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=18/12/2014&jornal=1&pagina=110&totalArquivos=144>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Portaria nº 48, de 10 de julho de 1995. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jul. 1995. Seção 1, p. 10493-10500. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=17/07/1995&jornal=1&pagina=29&totalArquivos=64>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal**. Brasília: Casa Civil, 2004. 156 p.

BRASIL. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 fev. 2009. Seção 1, p. 100. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/02/2009&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=160>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRAZ, E. M. et al. Manejo florestal de precisão: modelo digital de exploração e manejo de florestas naturais. In: FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E.M.; D' OLIVEIRA, M. V. N. (Ed.). **Manejo de precisão em florestas tropicais**: modelo digital de exploração florestal. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. p. 15-30.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BRAZ, E. M. **Um modelo em programação linear para garantia do rendimento sustentado em pequena propriedade na floresta tropical**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

BRAZ, E. M.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E. Um modelo otimizador para organização dos compartimentos de exploração em floresta tropical. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 77-83, 2004.

BRAZ, R. L. et al. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia - uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 5, n. 2, p. 168-181, 2014.

BREGALDA, P. F.; OLIVEIRA, A. F.; BORNSTEIN, C. T. **Introdução à Programação Linear**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988. 329 p.

BRUN, F. L. **Influência do valor da madeira de mercado sobre o ordenamento de florestas plantadas para o suprimento parcial de uma indústria de celulose e papel: uma aplicação da programação linear**. 2002. 160 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

BUONGIORNO, J.; GILLES, J. K. **Decision methods for forest resource management**. San Diego: Academic Press, 2003. 439 p.

CAMPOS, B. P. F. et al. Conversão de árvores em multiprodutos da madeira utilizando programação inteira. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 37, n. 5, p. 881-887, 2013.

CARVALHO, K. H. A. et al. Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 143-151, 2015.

CHURCH, R. L. BEAMR: An exact and approximate model for the p-median problem. **Computers & Operations Research**, Amsterdam, v. 35, n. 2, p. 417-426, 2008.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI/ FÓRUM NACIONAL DE ATIVIDADES DE BASE FLORESTAL – FÓRUM FLORESTAL. **Cadeia produtiva de florestas nativas**. Brasília: CNI/ FÓRUM FLORESTAL, 2012. 59 p. (CNI/ FÓRUM FLORESTAL. Cadernos setoriais Rio+20).

- COSTA, C. E. S.; COSTA, D. M. B.; GÓES, A. R. T. Determinação de setores de atendimento em uma concessionária de energia. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, São Carlos, v. 8, n. 3, p. 381-390, 2007.
- CURRENT, J.; DASKIN, M.; SCHILLING, D. Discrete network location models. In: DREZNER, Z.; HAMACHER, H. (Ed.). **Facility location theory: applications and methods**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 81-118.
- DANTRAKUL, S.; LIKASIRI, C.; PONGVUTHITHUM, R. Applied p-median and p-center algorithms for facility location problems. **Expert Systems with Applications**, Amsterdam, v. 41, n. 8, p. 3596-3604, 2014.
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. New York: Mc Graw-Hill, 1986. 790 p.
- DE GRAAF, N. R. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname**. Wageningen: Landbouwhogeschool, 1986. 250 p.
- DE GRAAF, N. R.; FILIUS, A. M.; SANTOS, A. R. H. Financial analysis of sustained forest management for timber: perspectives for application of the CELOS management system in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 177, p. 287-299, 2003.
- DE GRAAF, N. R.; POELS, R. L. H.; VAN ROMPAEY, R. Effect of silvicultural treatment on growth and mortality of rainforest in Surinam over long periods. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 124, p. 123-135, 1999.
- DOMÍNGUEZ, E.; MUÑOZ, J. A neural model for the p-median problem. **Computers & Operations Research**, Amsterdam, v. 35, n. 2, p. 404-416, 2008.
- DONDO, R. G.; CERDÁ, J. A hybrid local improvement algorithm for large-scale multi-depot vehicle routing problems with time windows. **Computers & Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 33, n. 2, p. 513-530, 2009.
- DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318 p.
- ESPADA, A. L. V. et al. **Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia**. Belém: IFT, 2013. 31 p. (Instituto Floresta Tropical. Informativo Técnico, 1).
- FARIA, A. L. R. **Programação aplicada ao microplanejamento da colheita florestal em plantios de *Eucalyptus sp.*** 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.
- FERNANDES, A. P. D. et al. Alternativas de planejamento para a exploração florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 339-350, 2013.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FIGUEIREDO, E. O. et al. **Procedimentos metodológicos utilizado na compilação de dados do Modelflora para construção de mapas dinâmicos no cartão MicroSD para uso no GPS**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2010. 17 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 52).

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. (Ed.). **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 183 p.

FIGUEIREDO, E. O.; LIMA, Q. S. **Coefficientes técnicos para o inventário e manejo florestal com emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora)**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2008. 19 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 169).

FIORENTIN, L. D. **Estratégias de regulação de povoamentos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* utilizando programação linear**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Sustainable forest management. **FAO**, 13 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/sfm/en/>>. Acesso em: 05 set. 2016.

FUJIMORI, T. **Ecological and silvicultural strategies for sustainable forest management**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 398.

GAMA, J. R. V.; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Manejo sustentado para floresta de várzea na Amazônia Oriental. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 719-729, 2005.

GARRIDO FILHA, I. Manejo florestal: questões econômico-financeiras e ambientais. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 16, n. 45, p. 91-106, 2002.

GENOVA, K.; GULIASHKI, V. Linear integer programming methods and approaches – a survey. In: **Cybernetics and Information Technologies**. Sofia: Institute of Information and Communication Technologies, v. 11, n. 1, 2011. p. 3-25.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. (Ed.). **Handbook of metaheuristics**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2003. 556 p.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. C. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 519 p.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. C. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2000. 649 p.

GUEDES, J. Z. G. **Comercialização da carne bovina no Paraguai: uma abordagem de margem**. 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Administração Rural) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

GUIMARÃES, N. M. S. **Evolução da legislação ambiental no manejo dos recursos naturais das florestas da Amazônia brasileira, com enfoque dos recursos madeireiros no estado do Pará**. 2003. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2003.

GUIMARÃES, R. M. L. et al. The merits of the visual evaluation of soil structure method (VESS) for assessing soil physical quality in the remote, undeveloped regions of the Amazon basin. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, p. 1-8, 2016.

HADDAD, H. M. D. et al. An integer linear programming approach applied to the Cerrado (Savanna) management. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 1-10, 2014.

HANSEN, P. et al. Solving large p-median clustering problems by primal–dual variable neighborhood search. **Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 19, n. 3, p. 351-375, 2009.

HIGUCHI, N. A silvicultura no INPA. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 11, n. 1, p. 99-107, 1981.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 24, n.3-4, p. 275-288, 1994.

HILLIER, S. F.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 828 p.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 1989. 325 p.

HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 93-110, 2002.

HOLMES, T. P. Financial and economic analysis of reduced impact logging. In: PANCEL, L.; KÖHL, M. (Ed.). **Tropical Forestry Handbook**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2016. p. 2967-2985.

HOLMES, T. P.; BOLTZ, F.; CARTER, D. R. Financial indicators of reduced impact logging performance in Brazil: case study comparisons. p. 152-162. In: ENTERS, T. et al. (Eds.). **Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management**. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. 311 p. (FAO. RAP Publication, 14).

HUMMEL, A. C. et al. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém: SFB/ Imazon, 2010. 26 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2015/default.shtm>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS – INPE. **PRODES estima 7.989 km<sup>2</sup> de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. INPE, São José dos Campos, 29 nov. 2016. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4344](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS – INPE. **Taxas anuais do desmatamento - 1988 até 2016**. INPE, 2017. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2016n.htm/](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm/)>. Acesso em: 22 fev. 2017.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION – ITTO/ INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE – IUCN. **Guidelines for the conservation and sustainable use of biodiversity in tropical timber production forests**. Yokohama: ITTO/IUCN, 2009. 118 p. (ITTO. Policy Development Series, 17).

ISLER, C. A.; BONASSA, A. C.; CUNHA, C. B. Algoritmo genético para resolução do problema de p-medianas capacitado associado à distribuição de peças automotivas. **Transporte**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 5-14, 2012.

KANGAS, A.; KANGAS, J.; KURTTILA, M. **Decision support for forest management**. New York: Springer, 2008. 222 p.

KARIV, O.; HAKIMI, S. L. An algorithmic approach to network location problem - part 2: the p-median. **SIAM Journal on Applied Mathematics**, Philadelphia, v. 37, n. 3, p. 539-560, 1979.

KEMP, R. H.; NAMKOONG, G.; WADSWORTH, F. H. **Conservation of genetic resources in tropical forest management: principles and concepts**. Roma: FAO, 1993. 105 p. (FAO. Forestry Paper, 107).

KIRMSE, R. D.; CONSTANTINO, L. F.; GUESS, G. M. **Prospects for improved management of natural forests in Latin America**. Washington, DC: World Bank, Latin America Technical Department, Environment Division, 1993. 32 p. (LATEN Dissemination, 9).

KURTILLA, M. The spatial structure of forests in the optimization calculations of forest planning – a landscape ecological perspective. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.142, n. 1, p. 129-142, 2001.

LACOWICZ, P. G. **Minimização dos custos de transporte rodoviário florestal através do uso da programação linear e otimização do processo**. 2000. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. Belém: Imazon. 2005. 4 p. (Imazon. Série O Estado da Amazônia, 02).

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia 2003**. Belém: Imazon, 2003. 110 p.

LEUSCHNER, W. A. **Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 281 p.

LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resources management**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 298 p.

LIMA, M. P. **Metodologia para o planejamento da colheita e do transporte florestal utilizando geotecnologia e pesquisa operacional**. 2009. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LORENA, L. A. N. et al. Integração de modelos de localização a sistemas de informações geográficas. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 8, n. 2, p. 180-195, 2001.

LOUMAN, B.; QUIRÓS, D.; NILSSON, M. (Ed.). **Silvicultura de bosques latifoliados húmedos com ênfase em América Central**. Turrialba: CATIE, 2001. 265 p. (CATIE. Série técnica. Manual técnico, 46).

MA, G.; YANG, J.; ZHANG, P. Achieving optimal solution of linear programming based on mobile agent technology. **Physics Procedia**, Amsterdam, v. 24, p. 1364-1368, 2012.

MACDICKEN, K. G. et al. Global progress toward sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 352, p. 47-56, 2015.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de instalações com sistema de informações geográficas e modelagem matemática**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para alocação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia Brasileira**. 2012. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MARTINS FILHO, S. E. C. **Avaliação dos danos e métodos de regulação da floresta submetida à exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental**. 2006. 120 f. Dissertação Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

MATSUNAGA, A. T. **Análise econômica da cadeia produtiva da madeira oriunda de Plano de Manejo Florestal: estudo de caso**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MATTHEWS, J. D. **Silvicultural systems**. Oxford: Oxford Clarendon Press, 1989. 284 p.

MATURANA, S.; PIZANI, E.; VERA, J. Scheduling production for a sawmill: a comparison of a mathematical model versus a heuristic. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 59, n. 4, p. 667-674, 2010.

MINISTERIAL CONFERENCE ON THE PROTECTION OF FORESTS IN EUROPE – MCPFE. **Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe 16-17 June 1993, Helsinki/Finland**: resolution H1: general guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe. Helsinki: MCPFE, 1993. Disponível em: <[http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC\\_helsinki\\_resolutionH1.pdf](http://www.foresteurope.org/docs/MC/MC_helsinki_resolutionH1.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2016.

MLADENović, N. et al. The p-median problem: a survey of metaheuristic approaches. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 179, n. 3, p. 927-939, 2007.

MOREIRA, J. S. A Lei de Florestas Públicas sob o crivo da Política Ambiental do Poder Público. **Revista CEJ**, Brasília, n. 43, p. 77-83, 2008.

MORRISON, D. R. et al. Branch-and-bound algorithms: a survey of recent advances in searching, branching, and pruning. **Discrete Optimization**, Amsterdam, v. 19, p. 79-102, 2016.

MURRAY, A.; CHURCH, R. Heuristic solution approaches to operational forest planning problems. **Operation Research Spektrum**, Berlin, v. 17, p. 193-203, 1995.

NAIR, K. S. S. **Tropical forest insect pestes**: ecology, impact and management. New York: Cambridge University Press, 2007. 424 p.

NAKARIYAKUL, S. Suboptimal branch and bound algorithms for feature subset selection: A comparative study. **Pattern Recognition Letters**, Amsterdam, v. 45, p. 62-70, 2014.

NEPSTAD, D. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, Washington, DC, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014.

OHMAN, K.; ERIKSSON, L. O. Allowing for spatial consideration in long-term forest planning by linking linear programming with simulated annealing. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 161, p. 221-230, 2002.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LAS MADERAS TROPICALES – OIMT. **Reseña bienal y evaluación de la situación mundial de las maderas**: 2013-2014. Yokohama: OIMT, 2015. 215 p.

PEREIRA, D.; LENTINI, M. **SAMFLOR**: Sistema de apoio ao manejo florestal. Belém: Imazon, 2010. 68 p.

PEREIRA, G. W. **Aplicação da técnica de recozimento simulado em problemas de planejamento florestal multiobjetivo**. 2004. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PIASSI, L. C. **Métodos de regulação florestal no planejamento da produção de madeira**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

PINHO, G. S. C. et al. Análise de custos e rendimentos de diferentes métodos de corte de cipós para produção de madeira na Floresta Nacional de Tapajós. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 555-560, 2009.

PINNARD, M. A.; PUTZ, F. E.; TAY, J. Lessons learned from the implementation of reduced-impact logging in hilly terrain in Sabah, Malaysia. **International Forestry Review**, v. 2, n. 1, p. 33-39, 2000.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 601-636, 2011.

PUTZ, F. E. et al. Reduced-impact logging: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 1427-1433, 2008.

RAIDL, G. R.; PUCHINGER, J. Combining (integer) linear programming techniques and metaheuristics for combinatorial optimization. **Studies in Computational Intelligence**, Berlin, v. 114, p. 31-62, 2008.

RANGEL, M. R. et al. Algoritmo guloso adaptativo e aleatório para o problema quadrático de alocação. **Produção**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 37-48, 2000.

REIS, A.J.; CARVALHO, F.A.P. **Comercialização agrícola no contexto agroindustrial**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 188 p.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011, 386 p.

RIJKSEN, H. D.; MEIJAARD, E. **Our vanishing relative: the status of wild orang-utans at the close of the twentieth century**. Dordrecht; Berlim: Tropenbos Foundation/Kluwer Academic Publishers, 1999. 486 p.

RIVERO, S. et al. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

RODRIGUES, F. L. et al. Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear: Uma aplicação da teoria do modelo II. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 185-192, 1998.

RODRIGUES, F. L. et al. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando busca tabu. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 701-713, 2003.

RODRIGUES, F. L. et al. Um modelo de regulação florestal e suas implicações na formulação e solução de problemas com restrições de recobrimento. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 769-778, 2006.

ROS-TONEN, M. Novas perspectivas para a gestão sustentável da Floresta Amazônica: explorando novos caminhos. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 11-25, 2007.

SABOGAL, C. et al. **Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 52 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 64).

SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades: relatório síntese**. Belém: CIFOR, 2006. 72 p.

SANTANA, A. C. et al. O valor econômico da extração manejada de madeira no Baixo Amazonas, estado do Pará. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 527-536, 2012.

SANTOS, A. L. **Uso da programação linear na identificação de estratégias ótimas de regulação florestal considerando mix de consumo**. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SANTOS, R. B. N.; SANTANA, A. C. Comportamento recente do setor florestal madeireiro no estado do Pará, Brasil. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 533-543, 2009.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequidêneas heterogêneas**. Santa Maria: UFSM, 2000. 195 p.

SCHNEIDER, R. et al. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural**. Brasília; Belém: Banco Mundial/ Imazon, 2000. 57 p. (Banco Mundial, Imazon. Série Parcerias, 1).

SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY – SCBD. **Sustainable forest management, biodiversity and livelihoods: a good practice guide**. Montreal: SCBD, 2009. 47 p. Disponível em: <<https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-forestry-booklet-web-en.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. Abordagens complementares para problemas de p-medianas. **Produção**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 78-87, 2003.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N.; PEREIRA, M. A. A branch-and-price approach to p-median location problems. **Computers and Operations Research**, Amsterdam, v. 32, n. 6, p. 1655-1664, 2005.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. **Florestas do Brasil em resumo-2013: dados de 2007-2012**. Brasília: SFB, 2013. 188 p.

SILVA, D. A. S. **Regulação em florestas inequidêneas sob regime de manejo florestal comunitário**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014a.

SILVA, E. F. **Alocação de pátios de estocagem em planos de manejo na Amazônia por meio de programação matemática**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015a.

- SILVA, G. F. et al. O método das restrições na solução de um problema de planejamento florestal multiobjetivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n. 1, p. 41-48, 2006.
- SILVA, G. F. et al. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 677-688, 2003.
- SILVA, G. F. **Problemas no uso de programação matemática e simulação em regulação florestal**. 2001. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- SILVA, J. A. Regulamentação do manejo florestal no Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 3, n. 19, p. 151-154, 1996.
- SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A. Um sistema silvicultural policíclico para produção sustentada de madeira na Amazônia brasileira. In: SIMPÓSIO SILVICULTURAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU/DFID, 1999. p. 180-185. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123).
- SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.
- SILVA, M. L.; RIBEIRO, C. A. A. S. Estabelecimento de rotação econômica para uma floresta regulada. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 1063-1072, 2006.
- SILVA, P. H. **Desenvolvimento de modelo para alocação ótima de pátios de estocagem de madeira**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014b.
- SILVA, Z. A. G. P. G. Raio econômico como um indicativo para a definição de concessões florestais: um estudo de caso no estado do Acre. In: MATOS et al. (Ed.). **II Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal**: concurso de monografias sobre o tema: estudos de economia e mercado florestal: coletânea de monografias premiadas. Brasília: ESAF, 2015b. p. 205-244.
- SILVA, Z. A. G. P. G.; SANTOS, R. A. Custo do manejo florestal madeireiro em floresta pública: estudo de caso no Acre, 2011. **Amazônia Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 3, p. 79-96, 2011.
- SMITH, N. J. H. **Rainforest corridors**: the Transamazon colonization scheme. Berkeley: University of California Press, 1982. 248 p.
- SOARES, T. S. et al. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Floresta nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: UFV, 2013.

STEFANELLO, F.; ARAÚJO, O. C. B.; MÜLLER, F. M. Matheuristics for the capacitated p-median problem. In: RIBEIRO, C.; MANIEZZO, V. (Ed.). **Matheuristics: model-based metaheuristics**. New Jersey: International Transactions in Operational Research, 2012. p. 2-12.

STRAND, J. et al. Using the Delphi method to value protection of the Amazon rainforest. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 131, p. 475-484, 2017.

THAINES, F. **Coefficientes técnicos para o manejo florestal comunitário com fins madeireiros no bioma Amazônia**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2013. 135 p.

TIMOFFEICZYK JUNIOR, R. et al. Estrutura de custos do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – um estudo de caso. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 89-103, 2005.

TOURE, M.; WANG, J. Marketing margin analysis of tomato in the district of Bamako, Republic of Mali. **Journal of Agricultural Economics and Development**, v. 2, n. 3, p. 84-89, 2013.

VERÍSSIMO, A. et al. Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeiras numa região de fronteira na Amazônia Oriental: o caso de Tailândia. In: BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A. (Ed.). **A expansão madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará**. 2 ed. Belém: Imazon, 2002. 166 p.

VERÍSSIMO, A. et al. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazon frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 55, p. 169-199, 1992.

VERÍSSIMO, A. et al. Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 12, n.1, p. 128-136, 1998.

VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, A. Produção na Amazônia florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2014.

WEIDELT, H. J. Sustainable management of dipterocarp forests: opportunities and constraints. In: SCHULTE, A.; SCHONE, D. (Ed.). **Dipterocarp forest ecosystems: towards sustainable management**. Singapore: World Scientific Publishing, 1996.

WOLFSLEHNER, B.; VACIK, H.; LEXER, M. J. Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 207, n. 1-2, p. 157-170, 2005.

ZACHOW, R. **Metodologia para monitoramento de projetos de manejo em florestas naturais tropicais baseadas em critérios normativos**. 1999. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

ZANJANI, M. K.; AIT-KADI, D.; NOURELFATH, M. Robust production planning in a manufacturing environment with random yield: a case in sawmill production planning. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 201, n. 3, p. 882-891, 2010.

## **CAPÍTULO I – CUSTO DA PRODUÇÃO DE MADEIRA EM TORA NO ESTADO DO ACRE, AMAZÔNIA BRASILEIRA**

### **RESUMO**

Um fator relevante no manejo para produção madeireira sustentável é o conhecimento dos seus aspectos econômicos. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo quantificar o custo de produção de madeira em tora, posta no pátio de serraria, no estado do Acre. Foram coletados dados relacionados ao preço da área de floresta; preço da matéria-prima florestal; elaboração e execução do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS)/ Plano Operacional Anual (POA); exploração florestal; e transporte da madeira em tora até a serraria. Os dados básicos primários foram obtidos por meio de entrevistas e aplicação de formulário. O custo de produção foi calculado para florestas manejadas a 50 km, 100 km e 150 km da cidade de Rio Branco, áreas estas incluindo ou não a instalação e medição de parcelas permanentes (PP), como também, a aplicação ou não de tratamentos silviculturais pós-exploratórios. Quantificou-se o valor presente líquido (VPL) das atividades do MFS, nas taxas de juros de 6% a.a., 8% a.a., 10% a.a. e 12% a.a. Identificou-se a margem de comercialização da madeira em tora, posta em serraria. Os resultados gerados permitiram inferir que o custo de produção da madeira em tora, entregue em serraria, se eleva à medida em que as áreas de manejo ficam mais distantes de Rio Branco. Tal fato ocorre, uma vez que a diminuição no preço da terra não compensa o aumento no custo do transporte. Para uma área de manejo localizada a 50 km do polo madeireiro em Rio Branco, com ou sem PP, a atividade é viável em termos econômicos. Com o acréscimo de tratamentos pós-exploratórios, a produção de madeira em tora a 50 km é viável apenas a uma taxa de desconto de 6%. Na situação em que a área de manejo fica mais distante, a 100 km, a margem de comercialização se mantém positiva a uma taxa de 6%, apenas para cenários com e sem parcelas permanentes. Para maiores distâncias (150 km), há prejuízo no processo de produção, com margem de comercialização negativa, com maiores prejuízos para cenários que incluem PP juntamente com tratamentos pós-exploratórios.

**Palavras-chave:** Economia florestal, Parcelas permanentes, Manejo Florestal Sustentável.

## CHAPTER I – PRODUCTION COST OF LOG IN THE STATE OF ACRE, BRAZILIAN AMAZON

### ABSTRACT

A relevant factor in the management of sustainable timber production is the knowledge of its economic aspects. Thus, this study aimed to quantify the production cost of log, put into a sawmill, in the state of Acre. Were collected data related to the price of the forest area; price of the forest raw material; elaboration and execution of the Sustainable Forest Management Plan (SFMP)/ Annual Operational Plan (AOP); forest exploration; and transportation of timber to the sawmill. The primary baseline data were obtained through interviews and questionnaire application. The cost was calculated for forests managed located at 50 km, 100 km and 150 km from the city of Rio Branco, these areas including or not the installation and measurement of permanent parcels (PP), as well as the application or not of silvicultural treatments post-exploratory. Production cost was calculated for a 25-year cutting cycle. The net present value (NPV) of the SFM activities was measured at interest rates of 6% a.a., 8% a.a., 10% a.a. e 12% a.a. The marketing margin of the logs placed in a sawmill was identified. The results generated allowed us to infer that the production cost of log, put into a sawmill, increases as the management areas are more distant from Rio Branco. This fact occurs, since the decrease in the price of land does not compensate for the increase in transportation costs. For a management area located 50 km from the wood pole in Rio Branco, with or without PP, the activity is feasible in economic terms. With the addition of post-exploratory tracts, the production of log at 50 km is feasible only at a discount rate of 6%. In the situation where the management area is further away, at 100 km, the marketing margin remains positive at a rate of 6%, only for scenarios with and without permanent parcels. For greater distances (150 km), there is a losses in the production process, with a negative marketing margin, with greater losses for scenarios that include PP along with post-exploratory treatments.

**Key words:** Forest economics, Permanent plots, Sustainable Forest Management.

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas cobrem cerca de 30% da área terrestre global e 44% destas estão distribuídas em países tropicais (KEENAN et al., 2015). Morales-Hidalgo, Oswalt e Somanathan (2015) acrescentam que áreas florestais fornecem bens e serviços ecossistêmicos, tais como alimentos, água, abrigo e ciclo de nutrientes, além de desempenharem um papel chave na conservação da biodiversidade. Macdicken et al. (2015) indicam que as florestas podem contribuir significativamente para a economia e assegurar os meios de vida e proteção do meio ambiente.

Segundo *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (2016), o Brasil é detentor da segunda maior área de floresta do mundo. Neste contexto, tem-se que cerca de 60% do território brasileiro é ocupado pela Bacia Amazônica (STRAND et al., 2017), a qual apresenta a maior extensão contínua de florestas tropicais do mundo (ASSUNÇÃO et al., 2017). A adequada utilização desse bioma é fundamental para o equilíbrio global, pois ele desempenha um papel importante nos ciclos globais de carbono, água e padrões de temperatura (FEARNSIDE, 1997; HAMAOU JR. et al., 2016; VERWEIJ et al., 2009).

O setor madeireiro na Amazônia, durante décadas, esteve associado à destruição da floresta, com o uso de técnicas de alto impacto ambiental e elevado desperdício de madeira (AZEVEDO-RAMOS, 2010). Diante da relevância desse bioma, nos âmbitos nacional e internacional, práticas de exploração dos recursos florestais que podem garantir a sustentabilidade, são aplicadas por meio do Manejo Florestal Sustentável (MFS), como defendem Higuchi (1994) e Sabogal et al. (2006). Uma proporção crescente de florestas tropicais é gerida sob os princípios do MFS, para a obtenção de múltiplos benefícios, incluindo a conservação da biodiversidade, proteção florestal e aumento de renda (BRANDT; NOLTE; AGRAWAL, 2016).

Um fator relevante no MFS é o conhecimento dos seus aspectos econômicos, que envolve o custo de produção do recurso madeireiro. O estudo econômico do processo de produção de madeira na Amazônia subsidia a tomada de decisão de manejadores e indústrias do setor, e permite que a sociedade compreenda a cadeia produtiva do manejo, conhecendo os custos inerentes a tal processo, o qual atende às demandas das populações. Além disso, a identificação dos custos subsidiará outras pesquisas de cunho econômico ou que necessitem de tais informações.

Segundo Barreto et al. (1998) são necessárias análises detalhadas dos custos e benefícios do manejo, para que se avance no debate sobre como usar as florestas regionais. De acordo com Applegate, Putz e Snook (2004), a maioria dos madeireiros ou empresas envolvidas não está totalmente consciente dos custos das operações de colheita de madeira. Alguns pesquisadores, como Barreto et al. (1998), Boltz et al. (2001), De Graaf, Filius e Santos (2003), Holmes, Boltz e Carter (2001) e Holmes et al. (2002), objetivaram levantar os custos do manejo florestal na Amazônia.

Os custos são a principal preocupação para a adoção da Exploração de Impacto Reduzido (EIR) (SASAKI et al., 2016). Assim, é válido realizar estudos que quantifiquem os custos do MFS. Salienta-se, porém, que cada região da Amazônia Legal possui peculiaridades, as quais afetam os custos, devido a fatores, como por exemplo, a variação do preço da madeira em pé. Por isso, recomenda-se que a coleta de dados seja realizada em diferentes regiões ou estados da Amazônia Legal.

Cabe salientar que, segundo Amaral et al. (2012), o estado do Acre possui sua cobertura florestal conservada, com 87% de seu território coberto por floresta natural. Já, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe – CEPAL, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* – GIZ (2014) acrescentam que, desde 1999, o Acre foi um dos pioneiros na implementação de políticas baseadas na conservação e uso sustentável dos recursos florestais, utilizando o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) como principal instrumento para o planejamento do desenvolvimento. Diante desse cenário, alguns estudos, como por exemplo, Machado (2013), Silva (2003), Silva e Santos (2011) e Silva (2015), quantificaram os custos do manejo no Acre. Porém, são oportunos trabalhos que, visando gerar informações sobre o raio econômico da atividade florestal em terras acreanas, avaliem o custo do MFS, implantado a diferentes distâncias, considerando ou não a instalação e medição de parcelas permanentes (PP) e a adoção de tratamentos silviculturais.

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo gerar informações sobre o processo da produção de madeira no estado do Acre. Especificamente, essa pesquisa visou: 1) quantificar e analisar o custo de produção de madeira em tora posta em serraria, a diferentes distâncias entre a floresta e a serraria, considerando o manejo com e sem instalação e medição de PP, e aplicação de tratamentos silviculturais; e 2) identificar e avaliar a margem de comercialização da madeira em tora, entregue nas serrarias acreanas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

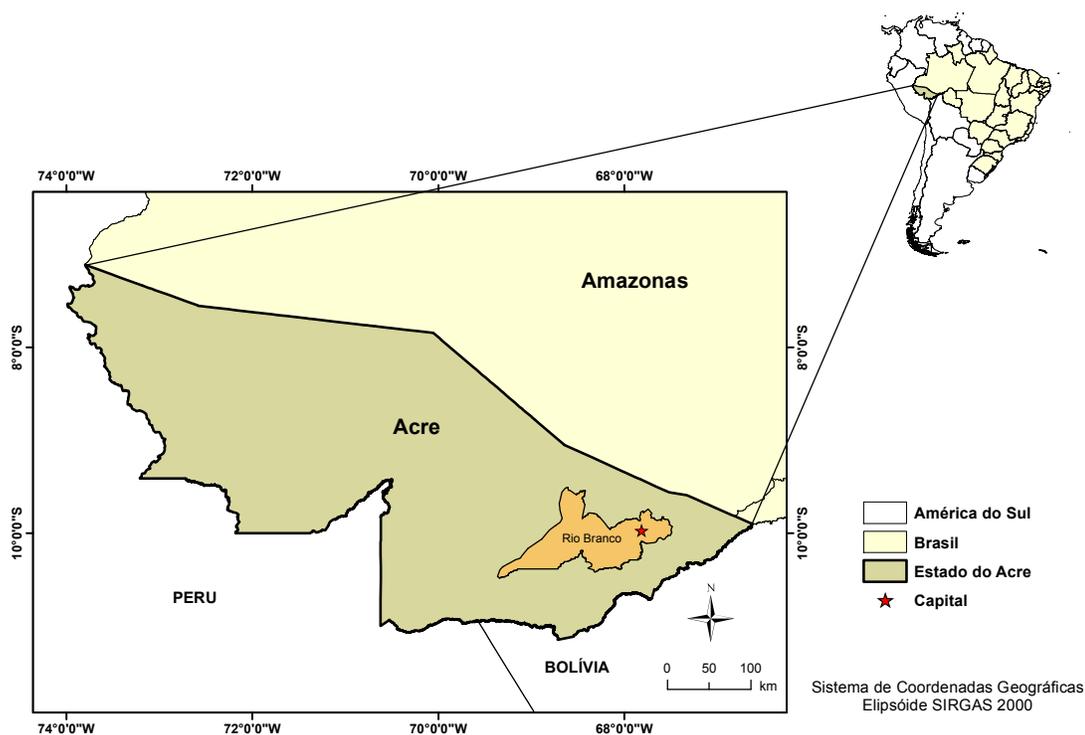
### 2.1 Material

#### 2.1.1 Descrição da área de estudo

##### 2.1.1.1 Localização e população

A área de estudo refere-se ao estado do Acre, localizado na Região Norte, na Amazônia brasileira, entre as latitudes de  $07^{\circ}07' S$  e  $11^{\circ}08' S$  e as longitudes de  $66^{\circ}30' W$  e  $74^{\circ} W$ . Esse estado tem uma superfície territorial de 164.221,36 km<sup>2</sup> ou 16.422.136 ha (4% da Amazônica brasileira), e faz fronteiras com o Peru e a Bolívia e com os estados do Amazonas e Rondônia (ACRE, 2010). Essas informações estão sintetizadas na Figura 2. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), a população do Acre é de 816.687 habitantes, sendo que 46,17% concentra-se em Rio Branco, capital do estado.

Figura 2 – Mapa de localização do estado do Acre, Brasil.



### 2.1.1.2 Clima

No estado do Acre o clima é do tipo equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas, elevados índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar, com temperatura média anual em torno de 24,5°C (ACRE, 2010). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o Acre apresenta dois subtipos de clima: Tropical úmido ou Equatorial (Af) e Tropical de monções (Am) (KOTTEK et al., 2006). O subclima do tipo Af não apresenta estação seca, caracterizado pela intensa precipitação pluviométrica: precipitação mensal maior ou igual a 60 mm e quantidade acumulada anual superior a 1900 mm. O subclima Am possui precipitação anual acumulado similar ao Af, porém, tem uma estação seca de curta duração, com precipitação mensal menor que 60 mm (ALVARES et al., 2014).

### 2.1.1.3 Hidrografia, relevo, solos e vegetação

As principais bacias hidrográficas do Acre são a Bacia do Rio Purus, situada na região central e leste do estado do Acre e a Bacia do Rio Juruá, localizada no oeste desse estado. Todos os rios e igarapés pertencem à rede hidrográfica do Rio Amazonas (GUILHERME, 2016).

O estado do Acre está inserido em três unidades morfoestruturais: Depressão Amazônica, Planalto Rebaixado e Planície Amazônica (WADT, 2002). O relevo é composto, principalmente, por rochas sedimentares, formando uma plataforma regular, com altitudes que variam de 300m nas fronteiras internacionais para pouco mais de 110 m nos limites com o estado do Amazonas. A Planície Amazônica, presente em todas as regiões do estado, é caracterizada por áreas planas com altitudes que variam de 110 a 270 m e está situada ao longo das margens dos principais rios (ACRE, 2010).

As classes de solo predominantes são os Argissolos, cobrindo aproximadamente 40% da área do estado, seguidos dos Cambissolos, que ocupam cerca de 30% do território (ACRE, 2006).

Cerca de 87% do território acreano é composto por cobertura florestal primária (AMARAL et al., 2012), em que, de acordo com o ZEE (ACRE, 2010), predominam duas grandes regiões fitoecológicas: Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Aberta, com ocorrência individual ou simultânea de diferentes formações vegetais

(cipós, bambus, palmeiras). Em uma pequena extensão existe também uma terceira região, a da Campinarana, restrita à parte noroeste do Estado.

### 2.1.2 Processo de produção de madeira em tora no estado do Acre, Brasil

A produção de madeira em tora oriunda de planos de manejo empresariais no Acre, segue as etapas do MFS, descritas a seguir, adotando-se procedimentos exigidos pela legislação federal, como: Decreto 5.975/2006 (BRASIL, 2006a); Instrução Normativa (IN) do Ministério do Meio Ambiente – MMA nº 05/2006 (BRASIL, 2006b); Norma de Execução IBAMA nº 01/2007 (BRASIL, 2007); Resolução Conama nº 406/2009 (BRASIL, 2009); IN MMA 01/2015 (BRASIL, 2015); e legislação estadual: Resolução Conjunta CEMACT/CFE nº 003/2008 (NEVES, 2009).

#### a) Elaboração do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e o Plano Operacional Anual (POA)

A etapa de elaboração do PMFS e POA, compreende as atividades pré-exploratórias, isto é, o processo anterior à extração da madeira, realizadas um ano antes da exploração, e são necessárias para o licenciamento desses documentos (THAINES, 2013). A primeira fase do processo é a elaboração do PMFS, em que é necessário executar o inventário florestal amostral na Unidade de Manejo Florestal (UMF) (ESPADA et al., 2013), a fim de levantar informações qualitativas e quantitativas sobre a floresta (BRASIL, 2009).

Deve-se definir a área a ser explorada em determinado ano, denominada de Unidade de Produção Anual (UPA), e procede-se com a realização do inventário florestal 100% na UPA a ser explorada (BALIEIRO et al., 2010). No microzoneamento são identificadas as áreas de preservação permanente, áreas de cipoais, tabocais, dentre outras (BRASIL, 2007). O próximo passo é elaborar o POA, que se trata do documento do planejamento da exploração na UPA (BALIEIRO et al., 2010), contendo informações das espécies e volume a serem explorados, árvores a serem mantidas, atividades previstas, como infraestrutura de estradas e pátios, procedimentos de exploração, atividades pós-exploratórias, dentre outras (BRASIL, 2007).

Após elaboração do POA, procede-se ao licenciamento do PMFS/ POA. De acordo com a Resolução Estadual Conjunta CEMACT/CFE nº 003/2008, legislação

que disciplina o licenciamento, monitoramento e fiscalização do MFS no estado do Acre, deve-se apresentar o PMFS e seu respectivo POA ao Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC.

As PP devem ser instaladas e medidas antes de qualquer intervenção na floresta, e remediadas após a exploração, para avaliação dos danos causados pela intervenção (OLIVEIRA et al., 2004). A atividade de corte de cipós é realizada antes da exploração, quando prevista (BRASIL, 2007).

#### b) Atividades de exploração na UPA

Conforme a Resolução Conjunta CEMACT/CFE nº 003/2008, após o licenciamento do PMFS/POA, o órgão ambiental responsável, dentro de suas atribuições, emite a Licença de Operação (LO) e a Autorização para Exploração (AUTEX). Dessa forma, é autorizada a exploração da floresta em determinado ano.

As atividades exploratórias são realizadas após a emissão da LO e AUTEX, e são listadas conforme Thaines (2013): construção da infraestrutura de estradas e pátios de estocagem; corte das árvores exploráveis; planejamento de arraste, que consiste na marcação das trilhas por onde a tora será arrastada; arraste das toras até os pátios; operação de pátios, envolvendo as etapas de medição (romaneio/cadeia de custódia), organização e carregamento das toras; e baldeio, caracterizado pelo transporte intermediário das toras dos pátios de estocagem (na floresta) para um pátio central geralmente localizado próximo à infraestrutura de transporte consolidada, como estradas asfaltadas.

#### c) Transporte da madeira em tora até a serraria

O transporte das toras é o transporte da matéria-prima florestal, desde a floresta, até o pátio da indústria (ESPADA et al., 2013).

#### d) Atividades pós-exploratórias

Finalizada a exploração da UPA, é necessário apresentar o Relatório de Atividades ao órgão ambiental (BRASIL, 2009), contendo informações das atividades realizadas e o volume efetivamente explorado na UPA (BRASIL, 2006b). Entre as

atividades pós-exploratórias, incluem-se ainda: manutenção da infraestrutura; monitoramento do crescimento da floresta (quando previsto no plano), por meio de medição das PP instaladas; tratamentos silviculturais e proteção da floresta, quando previstos no plano de manejo (THAINES, 2013).

### 2.1.3 Identificação dos itens do custo de produção de madeira em tora, posta em serraria, estado do Acre

Mediante a uma consulta à literatura pertinente, realizou-se uma identificação dos itens que compõem o custo de produção de madeira em tora, oriunda de MFS e entregue em pátios de serrarias. Esse levantamento teve como base os estudos de Holmes et al. (2002), Timofeiczuk Junior et al. (2005), Silva e Santos (2011), Thaines (2013) e Silva (2015), os quais abordaram o sistema de produção do manejo florestal em regiões da Amazônia.

Considerando procedimentos adotados por Silva (2015) e Silva e Santos (2011), foi elaborado um roteiro para a coleta de dados das atividades do processo, descrito no item subsequente, com o objetivo de focar os seguintes fatores: 1) Preço da terra de floresta; 2) Preço da matéria-prima florestal; 3) Elaboração e execução do PMFS/POA; 4) Exploração florestal; e 5) transporte da madeira em tora até a serraria.

### 2.1.4 Levantamento de dados

#### 2.1.4.1 Dados primários

Os dados básicos primários usados na quantificação do custo de produção de madeira em tora, foram obtidos por meio de entrevistas pessoais e aplicação de um formulário específico (Apêndice A). Optou-se por entrevista, pois, de acordo com Gil (2008), tal procedimento permite um contato maior com a realidade vivida pelos atores sociais e, segundo May (2004), essa forma de coleta de dados gera compreensões ricas das experiências e opinião sobre determinado assunto.

Salienta-se que as entrevistas se concentraram na Regional do Baixo Acre, região essa localizada no sudeste do estado, mais especificamente na cidade de Rio Branco. A coleta de dados nessa região justifica-se pelo fato de que, de acordo com Acre (2010), nessa cidade concentra-se 63% das indústrias madeireiras, além de 69%

dos empregos diretos do setor industrial madeireiro em todo o estado e, conforme Lentini, Veríssimo e Pereira (2005), representa o principal polo madeireiro do Acre.

As entrevistas ocorreram em dezembro de 2016 e foram direcionadas a quatro agentes atuantes, direta ou indiretamente, nas atividades ligadas ao MFS realizado em terras acreanas: 1) Engenheiros florestais que, como consultores, elaboram e executam PMFS e POA na região; 2) Proprietários de serrarias que realizam o MFS para o suprimento de madeira em suas firmas; 3) Dono de firma que executa as operações de exploração florestal e 4) Engenheiros florestais, responsáveis, no IMAC, pelo licenciamento das atividades do manejo florestal.

A coleta de dados realizou-se segundo uma amostragem por acessibilidade, descrita por Gil (2008). Assim, selecionaram-se os entrevistados em acordo com a acessibilidade que o entrevistador tinha para com eles, admitindo-se que os entrevistados podiam, de alguma forma, ser representativos do universo pesquisado.

Para manter em sigilo a identidade dos entrevistados, os mesmos receberam as seguintes codificações, nas Tabelas dos Apêndices B e C desse estudo, a saber: 1) os cinco consultores florestais foram codificados como C1 a C5; 2) os três donos de firmas madeireiras foram identificadas como F1 a F3; e 3) o dono de empresa que executa a extração florestal foi representado por Fex. 1.

Ressalta-se que os engenheiros do IMAC, participaram na coleta de dados, fornecendo informações específicas quanto ao processo do licenciamento do manejo e seus respectivos custos, tais como o valor da taxa de vistoria e taxa da licença.

Após a tabulação dos dados obtidos com a aplicação do formulário, os entrevistados contribuíram com informações adicionais relacionadas ao manejo praticado no Acre, como por exemplo, extensão de estradas (km) e quantidade de pátios de estocagem nos POAs executados.

Aplicou-se o formulário para consultores, donos de serraria e dono da firma de exploração florestal. Os itens voltados aos donos de serrarias e dono da firma que executa as atividades de exploração, foram: 1, 2, 3, 4, e 13-27 (Apêndice A). Os dados referentes ao preço da terra, a diferentes distâncias de Rio Branco, foram obtidos em uma imobiliária localizada em Rio Branco.

Foram obtidos dados do preço da madeira em tora, posta em serraria, para diferentes espécies, praticados no mercado local. Esses dados foram coletados em três serrarias localizadas em Rio Branco e em entrevista com os consultores florestais.

a) Valores físicos e econômicos do manejo florestal praticado no estado do Acre

Seguindo procedimento adotado por Silva e Santos (2011), os dados foram discriminados em valores físicos e econômicos, conforme indicado a seguir.

a.1) Valores físicos

Foram obtidos os seguintes dados de valores físicos de planos de manejo/planos operacionais anuais, conforme adotado por Machado (2013) e Silva e Santos (2011): 1) área total média das Unidades de Produção Anual, em hectares; 2) volume anual médio de madeira em tora ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ ); e 3) volume médio explorado nas UPAs, por unidade de área de efetiva exploração ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ).

Os dados básicos de valores físicos coletados podem ser visualizados no Apêndice B desse trabalho. Os dados médios foram utilizados na quantificação do custo de produção e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados médios para área total das UPAs, volume anual e volume explorado nas UPAs, Acre, 2016.

<b>Itens</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Área total média das UPAs	(ha)	1.030,56
Volume médio anual de madeira em tora	( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ )	12.400,00
Volume médio explorado nas UPAs	( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ )	14,71

a.2) Valores econômicos

Os dados econômicos, considerados nesse estudo, referem-se ao preço da terra, preço da matéria-prima, preços cobrados pela prestação de serviços e custos com atividades (Quadro 1), conforme Silva (2015) e Silva e Santos (2011). Os dados básicos de valores econômicos coletados podem ser visualizados no Apêndice C.

Ressalta-se que, devido à dificuldade em se obter dados detalhados de custos para algumas atividades, considerou-se o preço cobrado ou o preço pago para realização destas operações, como um valor de *proxy* para representar seus custos, conforme procedimento adotado por Silva (2015). Mais especificamente, para os itens

de elaboração do PMFS/POA, censo florestal, instalação e medição de parcelas permanentes, remedição de parcelas permanentes e relatório pós-exploratório, foram levados em conta os preços cobrados pelos consultores florestais para execução desses serviços. Para as operações de corte, arraste, carregamento, baldeio, novo carregamento, acampamento de apoio e transporte florestal, adotou-se o preço pago pelas serrarias às empresas prestadoras desses serviços e o preço cobrado por uma firma que executa tais atividades.

Quadro 1 – Variáveis econômicas das atividades do MFS, para a quantificação do custo de produção de madeira em tora no Acre, 2016.

(Continua)

Item	Atividade
1	Preço da terra a diferentes distâncias da cidade de Rio Branco: (1.1) Preço da terra a 50 km, sem manejo (R\$ ha <sup>-1</sup> ) (1.2) Preço da terra a 100 km, sem manejo (R\$ ha <sup>-1</sup> ) (1.3) Preço da terra a 150 km, sem manejo (R\$ ha <sup>-1</sup> )
2	Preço da matéria-prima florestal (R\$ ha <sup>-1</sup> )
3	Preço cobrado para elaboração do PMFS/POA (R\$ ha <sup>-1</sup> )
4	Custos com impostos sobre a elaboração do PMFS/POA (R\$ ha <sup>-1</sup> )
5	Custos com documentação de cartório (R\$ ha <sup>-1</sup> )
6	Custos com CREA/ART (R\$ ha <sup>-1</sup> )
7	Custos com taxas de licenciamento (R\$ ha <sup>-1</sup> )
8	Preço cobrado pelo censo florestal na UPA (R\$ ha <sup>-1</sup> )
9	Preço cobrado pela implantação e medição de parcelas permanentes* (R\$ ha <sup>-1</sup> )
10	Preço cobrado pela remedição de parcelas permanentes* (R\$ ha <sup>-1</sup> )
11	Custos com publicação e placa de manejo (R\$ ha <sup>-1</sup> )
12	Custos com corte de cipós** (R\$ ha <sup>-1</sup> )
13	Preço cobrado pela elaboração do relatório pós-exploratório (R\$ ha <sup>-1</sup> )
14	Custos com tratamentos silviculturais** (R\$ ha <sup>-1</sup> )
15	Preço das atividades de exploração florestal: (15.1) Infraestrutura (abertura de estradas) (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.2) Infraestrutura (abertura de pátios) (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.3) Corte ou abate (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.4) Arraste (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.5) Carregamento (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.6) Baldeio (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.7) Novo carregamento (R\$ m <sup>-3</sup> ) (15.8) Infraestrutura de apoio (R\$ m <sup>-3</sup> )

Quadro 1 – Variáveis econômicas das atividades do MFS, para a quantificação do custo de produção de madeira em tora no Acre, 2016.

(Continuação)

Item	Atividade
16	Custo do transporte florestal a diferentes distâncias da cidade de Rio Branco: (16.1) 50 km de distância (R\$ m <sup>-3</sup> ) (16.2) 100 km de distância (R\$ m <sup>-3</sup> ) (16.3) 150 km de distância (R\$ m <sup>-3</sup> )
17	Custos com serviços de administração (R\$ ha <sup>-1</sup> )
18	Custos com emissão de nota fiscal da madeira em tora (R\$ m <sup>-3</sup> )
19	Custos com impostos do Funrural (R\$ m <sup>-3</sup> )
20	Custos com Imposto de Renda (R\$ m <sup>-3</sup> )

\* Alguns dados para essa atividade foram obtidos de fontes secundárias.

\*\* Dados obtidos de fontes secundárias.

É oportuno mencionar que, no planejamento de uma UPA, de acordo com a IN 05/2006 (BRASIL, 2006b), o volume explorado é considerado por área de efetiva exploração florestal, isto é, a área efetivamente explorada na UPA, em que não são contabilizadas as áreas de preservação permanente e áreas de infraestrutura.

Nesse estudo, os custos do MFS foram quantificados por área de efetiva exploração. A partir dos dados coletados sobre POAs nas entrevistas, considerou-se que as áreas não exploradas (APPs) correspondem em média a 18% da área total da UPA (Apêndice D). Assim, obteve-se uma área média de 845,06 ha de efetiva exploração (82% de 1.030,56 ha). Ou seja, uma UPA de 1.030,56 ha de área total, apresenta em média 845,06 ha de área de efetiva exploração.

Dessa forma, alguns preços que são cobrados para área total da UPA foram convertidos para área efetiva, utilizando um fator de conversão (1,21951), obtido pela divisão da área total média da UPA pela área de efetiva exploração. A conversão se deu pela multiplicação do fator pelo valor original do custo.

#### - Preço da terra florestal

Foi obtido o preço da terra florestal, sem manejo florestal, com áreas a 50 km, 100 km e 150 km de Rio Branco, conforme adotado por Machado (2013). A média do preço da terra a uma distância de 50 km, 100 km e 150 km da cidade de Rio Branco, foi de R\$ 700,00 ha<sup>-1</sup>, R\$ 575,00 ha<sup>-1</sup> e R\$ 425,00 ha<sup>-1</sup> respectivamente (Apêndice E).

O preço da terra convertido para área efetiva foi de R\$ 853,66 ha<sup>-1</sup>, R\$ 701,22 ha<sup>-1</sup> e R\$ 518,29 ha<sup>-1</sup>, para as diferentes distâncias consideradas.

#### - Preço da matéria-prima florestal

Constatou-se, na coleta de dados para esse estudo que, no estado do Acre, os donos de serrarias, quando não possuem área florestal própria, firmam um contrato com os proprietários de terras florestais. O proprietário da terra cobra um preço, por unidade de área (hectares), para que o dono da firma madeireira explore a floresta sob regime de MFS. Tal procedimento permite que esses empresários assumam a responsabilidade de execução do PMFS/POA, isto é, sejam os detentores do plano de manejo.

Em 2016, era esse o processo que predominava, quando da elaboração dos planos de manejo empresariais do estado do Acre. O pagamento, nessas situações, era definido em função da área da UPA e o preço médio praticado, obtido na coleta de dados, foi de R\$ 557,14 ha<sup>-1</sup>. Salienta-se que, segundo os donos das serrarias, a forma de pagamento depende da negociação. Alguns exemplos citados nas entrevistas foram: 1) o valor total é parcelado em três vezes; 1ª parcela: 30% após emissão da AUTEX; 2ª parcela: 30 dias após início da exploração; 3ª parcela: 90 dias após início da exploração; 2) o valor total é parcelado em doze vezes, sendo a primeira parcela paga após a emissão da AUTEX, e as demais parcelas são mensais e 3) o valor total é parcelado em três vezes; 1ª parcela: 30% após emissão da AUTEX; 2ª parcela: 40% no mês que inicia a exploração; 3ª parcela: 30% ao final da exploração.

Para calcular o preço da madeira em pé, dividiu-se o preço médio do contrato (R\$ 557,14 ha<sup>-1</sup>) pelo volume médio explorado das UPAs (14,71 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), obtendo-se R\$ 37,86, referente ao valor pago pelo metro cúbico de madeira explorada.

#### - Preço cobrado para elaboração do PMFS/POA

O preço médio cobrado pela elaboração e execução do PMFS/POA é de R\$ 87,50 ha<sup>-1</sup> (área total da UPA). O preço obtido pela conversão, para área de efetiva exploração, foi de R\$ 106,71 ha<sup>-1</sup>.

- Custos com impostos sobre a elaboração do PMFS/POA

Os impostos que incidem sobre a elaboração do PMFS/POA são os impostos de prestação de serviços: 1) Imposto de Renda Retido na Fonte (IRRF); 2) Programa de Integração Social (PIS); 3) Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS); 4) Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL); e 5) Imposto Sobre Serviço de Qualquer Natureza (ISS).

Cabe aqui salientar que esses impostos correspondem a 16,15% do preço cobrado pela elaboração do PMFS/POA. Assim, considerando que o preço médio da elaboração do PMFS/POA é de R\$ 106,71 ha<sup>-1</sup>, obteve-se um valor de R\$ 17,23 ha<sup>-1</sup>.

- Custos com cartório

Os custos com cartório envolvem custos com os seguintes itens: 1) reconhecimento de firma; 2) averbação da área de reserva legal às margens da matrícula do imóvel rural; 3) certidão do imóvel; averbação do Termo de Responsabilidade de Manutenção de Floresta Manejada (TRMFM); e 4) Termo de Responsabilidade Florestal e Técnica (TRFT), caso a elaboração do PMFS seja realizada por técnico diferente da elaboração e execução do POA. O custo médio com documentação de cartório foi de R\$ 0,28 ha<sup>-1</sup>, obtido pela divisão do custo em reais, pela área média de efetiva exploração (845,06 ha).

- Custos com CREA/ART

Os custos com CREA/ART referem-se ao pagamento da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do responsável técnico pela elaboração e ou execução do PMFS/POA. O custo médio com ART foi de R\$ 0,10 ha<sup>-1</sup>, obtido pela divisão do custo em reais, pela área média de efetiva exploração (845,06 ha).

- Custos com licenciamento

Além da legislação federal, o licenciamento do MFS segue orientações e procedimentos da Resolução Conjunta nº 003, de 12 de agosto de 2008, do Conselho Estadual de Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia e o Conselho Florestal Estadual.

Os custos com licenciamento são os custos para licenciar o Plano de Manejo Florestal Sustentável e o Plano Operacional Anual, junto ao IMAC. Os itens que envolvem esse processo são: 1) taxa de licenciamento, calculada em função da área total da UPA; 2) taxa de vistoria técnica; 3) taxa de deslocamento, calculada em função da distância até a área manejada; e 4) taxa administrativa. O valor total é multiplicado por dois anos, validade da LO e AUTEX. Realizou-se uma simulação, juntamente com um responsável pelo setor de Manejo Florestal no órgão ambiental. Considerou-se a área total média das UPAs (Tabela 1), localizada a diferentes distâncias da cidade de Rio Branco (50 km, 100 km e 150 km). O custo total (R\$) do licenciamento pode ser visualizado no Apêndice F. O custo para área total foi de R\$ 3,82 ha<sup>-1</sup> (50 km), R\$ 4,55 ha<sup>-1</sup> (100 km) e R\$ 5,27 ha<sup>-1</sup> (150 km). O custo convertido para área efetiva foi de R\$ 4,66 ha<sup>-1</sup> (50 km), R\$ 5,55 ha<sup>-1</sup> (100 km) e R\$ 6,43 ha<sup>-1</sup> (150 km).

- Preço cobrado pela realização do inventário 100% na UPA

O preço médio cobrado pelas empresas de consultoria para realização do inventário florestal 100% foi de R\$ 42,80 ha<sup>-1</sup>. Cabe ressaltar que esse valor está incluído no preço cobrado para elaboração do PMFS/POA.

- Custo da instalação e medição de parcelas permanentes

As parcelas permanentes servem para acompanhar a dinâmica de crescimento da floresta manejada, por meio do inventário florestal contínuo (IFC), e devem ser estabelecidas em áreas de produção da floresta (SILVA et al., 2005). Entretanto, a realização do IFC é facultativa, sendo obrigatória somente para justificar a adoção de parâmetros distintos dos apresentados na Instrução Normativa nº 5, do MMA, de 11 de dezembro de 2006, como por exemplo, a alteração do ciclo de corte.

Para os custos dessa atividade, foram usadas duas fontes de dados, uma mediante as entrevistas e a segunda do trabalho de Santos (2007). Assim, os dados obtidos com a aplicação do formulário geraram um custo médio de R\$ 3,00 ha<sup>-1</sup>. Já no estudo de Santos (2007), válido para a instalação e medição de uma parcela permanente na Floresta Estadual do Antimary, no ano de 2005, o custo foi de US\$ 432,26 por parcela. Seguindo procedimentos apresentados por Oliveira et al. (2004), assumiu-se que a cada 250 ha de área manejada deve ser instalada uma parcela

permanente. Assim, obteve-se um custo por hectare de US\$ 1,73. Diante desses valores, chegou-se a um custo médio para a instalação e medição de parcelas permanentes de US\$ 1,15 ha<sup>-1</sup> (Apêndice G).

- Custo da remedição de parcelas permanentes

As parcelas devem ser remediadas no ano seguinte à exploração, e a partir daí os intervalos entre as medições deverão ser de dois a cinco anos (OLIVEIRA et al., 2004). Para os custos dessa atividade, além de dados obtidos com a aplicação do formulário, com valor médio de R\$ 2,50 ha<sup>-1</sup>, utilizou-se o custo de US\$ 314,11 para remedição da parcela, apresentado por Santos (2007). Considerando que a cada 250 ha de área manejada deve ser instalada uma parcela permanente, o custo para remedição da parcela é de US\$ 1,26 ha<sup>-1</sup>. O custo médio da remedição das PP obtido nesse estudo foi de US\$ 0,89 ha<sup>-1</sup> (Apêndice G).

- Custos com publicação e placa de manejo

Conforme foi verificado nas entrevistas, o detentor do plano de manejo deverá apresentar, junto ao IMAC, publicação de requerimento e recebimento de licenciamento, no Diário Oficial do Estado e jornal de circulação diária local. Além disso, de acordo com a Resolução Conjunta CEMACT/CFE nº 003/2008, ao receber a LO e a AUTEX, o detentor deverá fixar placas indicativas da área de manejo florestal na propriedade antes da exploração. O custo médio dessas atividades foi de R\$ 0,52 ha<sup>-1</sup>, obtido pela divisão do custo em reais, pela área média de efetiva exploração (845,06 ha).

- Elaboração do relatório pós-exploratório

O relatório pós-exploratório (ou relatório de atividades) deve ser apresentado ao IMAC antes da solicitação do novo POA ou até cento e oitenta dias após o término das atividades descritas no POA da UPA explorada, de acordo com Resolução CEMACT/CFE nº 003/2008 (NEVES, 2009). O preço médio cobrado pelas empresas de consultoria para elaboração do documento é de R\$ 4,46 ha<sup>-1</sup> (área total). O preço convertido para área de efetiva exploração foi de R\$ 5,40 ha<sup>-1</sup>.

- Preço das atividades de exploração florestal

A exploração florestal é realizada, geralmente, por empresas terceirizadas, as quais se responsabilizam por todas as operações, desde o abate, até o descarregamento da madeira em tora na esplanada (pátio central). Para quantificar os custos desse processo, considerou-se o preço pago pelas indústrias madeireiras às empresas contratadas, assim como o preço cobrado pela própria empresa prestadora desses serviços. Ressalta-se que o pagamento dessas atividades é em função do metro cúbico de madeira em tora explorada, em medida comercial. A medida comercial adotada nas serrarias do Acre é uma adaptação do método Francon ou do 4º reduzido. Pelo método Francon (ou do 4º deduzido), obtém-se o volume de uma tora de madeira esquadrihada (BRASIL, 2003). Segundo informações obtidas nas entrevistas, na medição adotada pelos madeireiros acreanos, há uma modificação, em que se desconta o alburno em uma das medições da face de menor diâmetro da tora.

O preço médio pago/cobrado para a construção de estradas e pátios, obtido na coleta de dados, foi de R\$ 9,75 m<sup>-3</sup>. Entretanto, optou-se por calcular o custo separado para estradas e pátios, a partir de dados de POAs obtidos nas entrevistas.

Considerou-se o preço médio do aluguel de máquinas para as operações de abertura de infraestrutura obtido nas entrevistas, de R\$ 2.150,00/km de estrada (4m de largura). Aliado a isso, tendo como base que os projetos de manejo apresentam em média 0,032 km de estradas/ha (área efetiva) (Apêndice H), obteve-se um custo de R\$ 68,80 ha<sup>-1</sup>. Esse valor foi dividido pelo volume médio explorado nas UPAs (14,71 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), e obteve-se um custo de R\$ 4,68 m<sup>-3</sup> para abertura de estradas.

Para a atividade de abertura de pátios, conforme dados de POAs, levou-se em consideração que em média a infraestrutura de pátios de 500m<sup>2</sup> (20 x 25m) corresponde a 0,44% da área efetiva de uma UPA (Apêndice I). Utilizou-se a área média de efetiva exploração obtida nesse estudo (845,06 ha) e obteve-se uma área total de pátios de 37.182,64 m<sup>2</sup>. Dessa forma, considerando que 1 km de estrada de 4m de largura corresponde a 4.000m<sup>2</sup> (0,4 ha), e que o custo para a abertura de 4.000m<sup>2</sup> é de R\$ 2.150,00, têm-se um custo total de R\$ 19.985,67 para pátios. Considerando a área efetiva média e o volume médio explorado obtidos nesse estudo, o custo para abertura de pátios é de R\$ 23,65 ha<sup>-1</sup> ou R\$ 1,61 m<sup>-3</sup>.

Outro ponto a destacar é que, para identificar o custo da extração florestal, pressupôs-se que essa atividade pode ocorrer de duas formas: uma operação incluindo o baldeio da madeira em tora, entre os pátios de estocagem na floresta e um pátio localizado próximo a uma rodovia asfaltada; e outra sem baldeio. Salienta-se que o baldeio permite a firma se suprir de tora o ano todo, pois no período de chuvas, fato que impede que caminhões percorram estradas não pavimentadas dentro das áreas florestais, as firmas são abastecidas por toras depositadas no pátio próximo às estradas asfaltadas, denominado de esplanada. Do exposto, nesse estudo, tem-se um cenário que uma empresa, em Rio Branco, trabalha o ano todo. Assim, no período de seca (quatro meses), ela é abastecida sem o uso de baldeio, enquanto que, nos oito meses restantes, ela faz uso do baldeio para o suprimento de suas toras. Dessa forma, o custo final médio da exploração florestal dessa firma resultou de uma média ponderada dos custos dos dois sistemas (com e sem o baldeio), onde o peso usado foi a participação percentual que cada um desses sistemas de exploração tem no volume total de tora processado nessa empresa, 67% e 33%, respectivamente.

Os preços médios para as atividades de corte, arraste, carregamento, baldeio, novo carregamento e acampamento de apoio, foram R\$ 9,38 m<sup>-3</sup>, R\$ 25,36 m<sup>-3</sup>, R\$ 8,58 m<sup>-3</sup>, R\$ 15,00 m<sup>-3</sup>, R\$ 7,75 m<sup>-3</sup> e R\$ 11,75 m<sup>-3</sup>, respectivamente. Os custos de infraestrutura de apoio relatados, incluem custos com acampamento, ajudante, alimentação, cozinha, entre outros. O custo médio da exploração, com baldeio e sem baldeio, foi de R\$ 84,11 m<sup>-3</sup> e R\$ 61,36 m<sup>-3</sup>, respectivamente.

#### - Custos com transporte da madeira em tora

O transporte da madeira é realizado por empresas prestadoras de serviços, sendo a madeira descarregada no pátio da serraria. Foram adotados diferentes cenários de distância da floresta até a serraria na cidade de Rio Branco. Os custos para as distâncias de 50, 100 e 150 km, foram de R\$ 40,83 m<sup>-3</sup>, R\$ 72,00 m<sup>-3</sup> e R\$ 93,33 m<sup>-3</sup>, respectivamente.

#### - Custos com administração

Considerou-se que os custos com administração correspondem em média a 17,5% do subtotal dos custos anuais, conforme Silva, Jacovine e Valverde (2005).

Tais custos, de acordo com Silva e Santos (2011), envolvem custos com serviços contábeis, de escritório e supervisão de campo.

- Custos com emissão de nota fiscal (NF) para produto de origem florestal

Durante as entrevistas, foram obtidos dados de custos com emissão de nota fiscal de produtor rural. Em seguida, de posse de um documento expedido pela Secretaria de Estado da Fazenda, verificou-se que, para o transporte de madeira em tora, dentro do estado do Acre, não é exigido a emissão de Nota Fiscal Eletrônica. No entanto, consta no documento que, caso a nota para o produto “in natura” (toras) seja emitida, não há a necessidade do preenchimento do campo referente ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS.

Assim sendo, no presente estudo, optou-se por considerar a emissão da Nota Fiscal na quantificação do custo de produção. Aliado a isso, foi levado em conta que, de acordo com dados das entrevistas, a nota deve ser emitida para cada carga de caminhão, com um volume entre 40 a 60 metros cúbicos e o custo para emitir uma nota é em torno de três reais. Assim, obteve-se um custo para emissão da NF de R\$ 0,06 m<sup>-3</sup>, para um volume médio por carga de caminhão de 50 m<sup>3</sup>.

- Custos com impostos do Funrural

Alguns entrevistados informaram que ocorrem custos com impostos na comercialização da madeira em tora, em que é recolhido 2,25% sobre o valor bruto da madeira em tora, referente ao Fundo de Apoio ao Trabalhador Rural (Funrural). Dessa forma, levando-se em conta que o preço médio da madeira em tora, posta nas serrarias locais e praticado no mercado local, era de R\$ 256,7 m<sup>-3</sup>, tem-se um custo de R\$ 5,78 m<sup>-3</sup> referente ao recolhimento do Funrural.

- Custos com Imposto de Renda (IR)

Os consultores florestais, assim como os proprietários de serrarias visitados, relataram que o custo referente ao Imposto de Renda é de 27,5% sobre o lucro líquido da venda da madeira em tora.

#### 2.1.4.2 Dados secundários

Os dados secundários utilizados nesse estudo, foram dados de Planos Operacionais Anuais executados no estado do Acre, referentes a extensão de estradas (km) e área total de pátios de estocagem (m<sup>2</sup>), que podem ser visualizados nos Apêndices H e I, respectivamente.

Foram usados dados de custos operacionais de PP em uma área de manejo no Acre, do estudo de Santos (2007). Foram obtidos custos provenientes da aplicação de tratamentos silviculturais pós-exploratórios em área de manejo na Amazônia, no estudo de Ferreira (2012). Dados de custo da atividade pré-exploratória de corte de cipós foram obtidos do trabalho de Thaines (2013).

##### - Custos de corte de cipós (pré-exploratório)

O corte dos cipós entrelaçados nas árvores que serão exploradas, assim como nas árvores vizinhas, é recomendado para evitar a queda indevida de árvores e riscos de acidente para a equipe de campo (BALIEIRO et al., 2010). A realização dessa atividade é recomendada pelo menos um ano antes da exploração, de preferência junto com o inventário florestal 100% ou logo após o mesmo (FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL – FFT, 2002).

Devido à dificuldade em se obter dados para essa atividade durante a coleta de dados, considerou-se o custo apresentado por Thaines (2013). Esse autor leva em conta que a equipe de corte de cipós em uma área de exploração de 1.000 hectares, na Floresta Nacional do Tapajós, no Pará, foi composta por quatro trabalhadores, e a remuneração para a empreitada de 1.000 ha foi de R\$ 6.000,00, o que corresponde a R\$ 6,00 ha<sup>-1</sup>.

##### - Custos com tratamentos silviculturais (pós-exploratórios)

Os tratamentos silviculturais pós-exploratórios incluem a liberação de árvores comerciais remanescentes por meio do desbaste, pelo anelamento de árvores competidoras ou pelo corte de cipós; a condução de regeneração natural; os plantios de enriquecimento em clareiras, entre outros (ESPADA et al., 2013). O corte de cipós

deve ser repetido após a exploração nas árvores remanescentes, para facilitar seu desenvolvimento (FFT, 2002).

A aplicação de tratamentos silviculturais em áreas manejadas no Acre é incipiente ou inexistente, fato que impossibilitou a obtenção de dados para atividade. Porém, o nesse estudo considerou cenários que incluem essa atividade. Dessa forma, utilizou-se dados do estudo de Ferreira (2012), que determinou os custos de instalação, monitoramento e manutenção de diferentes sistemas de silvicultura pós-colheita, em uma área manejada no município de Paragominas, Pará. O tratamento selecionado para esse estudo foi o Tratamento 5, formado pelas atividades dos tratamentos 2 e 4, por ser mais completo, incluindo: 1) desbaste de liberação, por anelamento; 2) corte de cipós nas árvores beneficiadas; e 3) plantio em clareiras. Os detalhes dos tratamentos podem ser visualizados no Anexo 1. Os custos de instalação foram de R\$ 96,80 ha<sup>-1</sup>, e os custos de monitoramento e manutenção, de R\$ 37,70 ha<sup>-1</sup>.

Para a correção dos efeitos inflacionários sobre os valores econômicos utilizados nessa pesquisa, os preços e custos considerados foram convertidos de real (R\$) para dólar americano (US\$). Para tal, realizou-se uma consulta ao site do Banco Central do Brasil – BCB, para obtenção da taxa de câmbio do valor oficial de venda do dólar americano. Assim sendo, utilizando como referência o dia 15 (ou o próximo dia útil) de cada mês de 2016, a taxa de câmbio média obtida foi de US\$ 1,00 = R\$ 3,5009.

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Quantificação do custo de produção de madeira em tora, explorada em área manejada e posta no pátio da firma madeireira, no estado do Acre

A quantificação do custo de produção de madeira em tora, no estado do Acre, seguiu procedimento adaptado do método indicado por Silva (2015), sintetizado na seguinte expressão (6):

$$C_{pf} = C_{mp} + C_{cf} + C_{tf} + C_{nf} + C_{Funnrural} + C_{IR} \quad (6)$$

Em que:  $C_{pf}$  é o custo de produção (preço mínimo) da madeira em tora explorada em uma área manejada e posta no pátio da firma madeireira (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{mp}$  refere-se ao custo de produção (preço

mínimo) da madeira em pé em uma área manejada (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{ef}$  refere-se ao custo com as atividades de exploração florestal, em área sob regime de MFS (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{tf}$  é o custo do transporte da madeira em tora, da área manejada para a serraria (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{nf}$  é o custo com a emissão da Nota Fiscal da madeira em tora (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{Funrural}$  é o custo relacionado ao recolhimento do Funrural (US\$ m<sup>-3</sup>); e  $C_{IR}$  é o custo do Imposto de Renda sobre o lucro líquido (US\$ m<sup>-3</sup>).

### 2.2.1.1 Custo de produção da madeira em pé em uma área de manejo florestal, no estado do Acre

O custo de produção da madeira em pé foi calculado conforme indicado por Silva (2003), sendo obtido por meio da expressão (7):

$$C_{mp} = P_{mp} + C_{mf} \quad (7)$$

Em que:  $P_{mp}$  refere-se ao preço médio da madeira em pé (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{mf}$  é o custo de produção do MFS a ser realizado (US\$ m<sup>-3</sup>).

Cabe aqui mencionar que o uso do termo madeira em pé segue conceito apresentado por Silva (2003), o qual diz que, a diferença entre o custo de produção (ou preço mínimo) da madeira em pé oriunda de uma área manejada, em relação ao preço da tora obtida em áreas de desmatamento, é o valor relacionado ao custo de produção do manejo florestal a ser executado na área.

O  $P_{mp}$ , como indicado por Silva (2003) é o preço pago pela madeira em pé ao dono da área florestal, descrito anteriormente. O  $C_{mf}$  envolve os custos das operações do manejo florestal (expressos em R\$ ha<sup>-1</sup>), correspondentes aos itens: 1, 3-7, 9-14 e 17 (Quadro 1), descritos na seção anterior, obtido por meio da expressão (8):

$$C_{mf} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}{\frac{V_m}{(1+i)^{te}}} \quad (8)$$

Em que:  $C_t$  representa o custo total das atividades de MFS no ano  $t$  (US\$ ha<sup>-1</sup>);  $V_m$  refere-se ao volume médio explorado por área de efetiva exploração (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>);  $i$  indica o custo de oportunidade do capital (taxa de juro), expresso em decimal (a.a.);  $t$  representa o ano em que ocorre determinado custo; e  $te$  é o ano em que ocorre a exploração madeireira.

### 2.2.1.1.1 Valor presente líquido (VPL) das atividades do MFS

Verificou-se a viabilidade econômica das atividades do MFS por meio do cálculo do VPL, conforme a seguinte expressão (9), apresentada por Rezende e Oliveira (2011):

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_t (1+i)^{-t} - \sum_{j=0}^n C_t (1+i)^{-t} \quad (9)$$

Em que: VPL é o valor presente líquido das atividades do MFS (US\$ ha<sup>-1</sup>); C<sub>t</sub> é o custo das atividades do MFS no final do ano t (US\$ ha<sup>-1</sup>); R<sub>t</sub> é a receita ao final do ano t (US\$ ha<sup>-1</sup>); n é a duração do projeto, em anos; e t é o ano em que ocorre a receita ou custo.

A receita foi obtida pela multiplicação do preço mínimo da madeira em pé em uma área manejada (7) e o volume médio explorado nas UPAs (14,71 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Segundo Silva e Fontes (2005), o projeto que apresenta VPL maior que zero é economicamente viável.

### 2.2.1.2 Custo das atividades de exploração florestal, em área sob regime de MFS

O C<sub>ef</sub> (item 15 do Quadro 1) é composto pelas atividades relacionadas à exploração florestal, que inclui os custos de infraestrutura de estradas e pátios, corte, arraste, carregamento, baldeio, novo carregamento e infraestrutura de apoio.

Ressalta-se que o custo final da exploração foi obtido pela média ponderada dos custos dos sistemas de exploração com baldeio e sem baldeio. Para suprir a demanda de madeira, uma serraria pode incluir ou não a atividade de baldeio durante a exploração florestal. Considerou-se que uma serraria funciona o ano todo, sendo que o sistema sem baldeio tem uma participação de quatro meses (peso de 0,33), durante um ano de operação da firma madeireira, enquanto que o sistema com baldeio tem uma participação de oito meses (peso de 0,67) na produção. Em outras palavras, durante a exploração no período de seca, de cada três caminhões, dois realizam o baldeio da produção, e um segue direto para a serraria em Rio Branco.

### 2.2.1.3 Custo do transporte da madeira em tora, da área manejada para a serraria

O  $C_{tf}$  (item 16) envolve o custo com o transporte da madeira em tora, da floresta até o pátio da serraria em Rio Branco.

### 2.2.1.4 Custos com Nota Fiscal para produto de origem florestal

O  $C_{nf}$  compreende o custo para emitir a nota fiscal para o transporte do produto “in natura” (madeira em tora) dentro do estado do Acre.

### 2.2.1.5 Custos com impostos do Funrural

O  $C_{Funrural}$  é o custo gerado pelo recolhimento do Funrural, no ato da comercialização da madeira em tora.

### 2.2.1.6 Custos do Imposto de Renda

O  $C_{IR}$  corresponde ao custo do Imposto de Renda sobre o lucro líquido da comercialização da madeira em tora. O lucro líquido foi obtido por meio da seguinte expressão (10):

$$L = R - C \quad (10)$$

Em que:  $L$  é o lucro líquido da comercialização da madeira em tora (US\$ m<sup>-3</sup>);  $R$  é a receita bruta da comercialização da madeira em tora, isto é, o preço médio local da madeira em tora (US\$ m<sup>-3</sup>); e  $C$  é a soma dos custos da produção da madeira em tora (US\$ m<sup>-3</sup>), obtida por meio da expressão (11):

$$C = C_{mp} + C_{ef} + C_{tf} + C_{nf} + C_{Funrural} \quad (11)$$

Em seguida, calculou-se o IR por meio da expressão (12):

$$IR = L \cdot 0,275 \quad (12)$$

Em que:  $IR$  é o imposto de renda sobre o lucro líquido da venda da madeira em tora (US\$ m<sup>-3</sup>).

### 2.2.1.7 Cenários para quantificação do custo de produção de madeira em tora

O custo de produção foi quantificado e analisado considerando três tipos de situações: 1) em função da distância da floresta até a serraria em Rio Branco; 2) da floresta ter ou não a medição de parcelas permanentes, e 3) a partir da aplicação ou não de tratamentos silviculturais pós-exploratórios.

É oportuno mencionar que os cenários com parcelas incluem a instalação, medição e remedição de PP. As situações com tratamentos, por sua vez, além da instalação, medição e remedição de PP, incluem as atividades de instalação, monitoramento e manutenção de tratamentos silviculturais. Aliado a isso, adotou-se um ciclo de corte de 25 anos, como horizonte de planejamento do MFS, que atende a Resolução Conama nº 406/2009. Tais cenários estão sintetizados no Quadro 2, apresentado a seguir.

Quadro 2 – Cenários para quantificação do custo de produção de madeira em tora advinda de MFS, Acre, 2016.

<b>Cenário</b>	<b>Descrição</b>
1	Floresta localizada a 50 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes
2	Floresta localizada a 50 km da serraria em Rio Branco e MFS sem parcelas permanentes
3	Floresta localizada a 50 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes e tratamentos silviculturais
4	Floresta localizada a 100 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes
5	Floresta localizada a 100 km da serraria em Rio Branco e MFS sem parcelas permanentes
6	Floresta localizada a 100 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes e tratamentos silviculturais
7	Floresta localizada a 150 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes
8	Floresta localizada a 150 km da serraria em Rio Branco e MFS sem parcelas permanentes
9	Floresta localizada a 150 km da serraria em Rio Branco e MFS com parcelas permanentes e tratamentos silviculturais

Complementando, tem-se que foram utilizadas diferentes taxas de juros a fim de analisar o comportamento do custo da produção florestal, conforme recomendam Pearse (1990) e Wagner (2012). Por sugestão de Lima Júnior, Rezende e Oliveira (1997) as taxas usadas em projetos florestais variam de 6 a 12% ao ano. Dessa forma, adotou-se taxas de desconto de 6% a.a., 8% a.a., 10% a.a. e 12% a.a., seguindo procedimento de Silva e Santos (2011).

Salienta-se que o preço da terra foi inserido no fluxo de caixa, representando um custo no ano zero e renda ao final do ano 24, conforme adotado por Silva e Santos (2011). Segundo os autores, pressupõe-se que a terra é adquirida no início do ciclo de corte e vendida ao final do ciclo.

Quanto aos tratos silviculturais, para o fluxo de caixa, seguiu-se as seguintes orientações de Ferreira (2012): os custos de instalação ocorrem um ano após a exploração; os custos de manutenção e monitoramento ocorrem anualmente para os primeiros cinco anos, e após, a cada cinco anos, até o final do ciclo de corte.

### 2.2.2 Margem de comercialização da madeira em tora posta em serraria

Calculou-se a margem absoluta (ou bruta) de comercialização da madeira em tora, por meio da expressão (13), indicada por Mendes e Padilha Júnior (2007):

$$M = P_{mt} - C_{pf} \quad (13)$$

Em que:  $M$  é a margem de comercialização da madeira em tora advinda de área manejada no Acre (US\$ m<sup>-3</sup>);  $P_{mt}$  é o preço médio da madeira em tora, explorada em área manejada e posta no pátio da firma madeireira, praticado no mercado local (US\$ m<sup>-3</sup>);  $C_{pf}$  é o custo de produção da madeira em tora, explorada em uma área manejada e posta no pátio da firma madeireira (US\$ m<sup>-3</sup>).

A margem de comercialização foi usada como indicativo de lucro ou prejuízo no processo de produção da madeira em tora, nos diferentes cenários adotados. O preço médio da madeira em tora praticado no mercado local, obtido na coleta de dados, foi de R\$ 256,7 m<sup>-3</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Custo de produção da madeira em pé, Acre, 2016

O preço médio de venda da madeira em pé, praticado nas negociações em PMFS empresariais no estado do Acre, no ano de 2016, foi de US\$ 10,82 m<sup>-3</sup>. Cabe destacar que, no presente estudo, verificou-se que não há diferenciação nos preços para os diferentes grupos de espécies, de maior ou menor valor comercial, uma vez que a negociação ocorre em função do tamanho da UPA. Já, a título de comparação, tem-se que o preço da madeira em pé no Acre em 2008, apresentado por Silva (2015), era diferenciado para três grupos de espécies comerciais: espécies nobres (US\$ 27,12 m<sup>-3</sup>); espécies de madeira dura (US\$ 21,81 m<sup>-3</sup>) e espécies de madeira mole (US\$ 22,76 m<sup>-3</sup>). Por sua vez, o preço médio de mercado da madeira em pé, apresentado por Silva e Santos (2011), em estudo realizado no estado do Acre no ano de 2011, foi de US\$ 25,16 m<sup>-3</sup>. Do exposto, verifica-se que o preço encontrado no presente estudo é considerado baixo em relação aos estudos anteriores.

Notou-se que o volume médio explorado nas florestas manejadas do Acre, de acordo com os dados obtidos nesse estudo (14,71 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), não atingiu a intensidade máxima de corte de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (quando do uso de máquinas para o arraste de toras), prevista na Resolução Conama nº 406/2009 (BRASIL, 2009). O volume explorado é considerado baixo, em comparação à produção observada no estudo de Holmes et al. (2002), realizado em Paragominas, Pará, com volume médio de colheita de 25,36 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Enfatiza-se que o volume explorado afeta, diretamente, os custos do processo de produção da madeira em tora.

Os entrevistados afirmaram que dificilmente o volume comercial colhido nas áreas manejadas no estado atinge o máximo permitido. Um dos fatores principais que interferem no volume colhido em uma área de manejo, refere-se às espécies demandadas no mercado. Como exemplo, tem-se que na fase de elaboração de um Plano Operacional Anual, planeja-se explorar determinada espécie, selecionando-a para corte. Porém, no ano da exploração, essa espécie encontra-se com baixo valor comercial, fazendo com que o tomador de decisão opte por não explorar todos os indivíduos selecionados para corte dessa espécie, ou até mesmo, decida por não explorá-la, diminuindo assim o volume de corte. Além desse fator, as características da floresta interferem consideravelmente no volume extraído. De acordo com

Hosokawa, Moura e Cunha (1998), a produtividade de florestas nativas é influenciada pela capacidade produtiva do solo e distribuição heterogênea das espécies na área.

Segundo Ferreira (2014), as florestas do Acre são caracterizadas pela presença dominante de espécies de bambu do gênero *Guadua*. De acordo com Silveira (2001), a dominância do bambu pode limitar a habilidade de competição de espécies arbóreas com baixa capacidade adaptativa ao ambiente, o que acarreta na alteração da composição florística e redução de quase 40% de espécies na amostra de um hectare. Além disso, o autor comenta que o bambu altera a estrutura da floresta, diminuindo a densidade e a área basal. Ferreira (2014) cita que, durante a exploração madeireira, ocorre a abertura de clareiras no dossel da floresta, proporcionando abundante espaço físico e luminosidade, que são extremamente favoráveis ao desenvolvimento do bambu. O autor enfatiza que é necessário o conhecimento das condições que favorecem o aparecimento do bambu, sua velocidade de crescimento e o tempo que leva para dominar uma determinada área de floresta. Segue argumentando que essas informações são urgentes para o caso das florestas do Acre, pois são nas regiões central e leste do estado, em que se concentram as florestas com bambu, que a exploração madeireira é mais intensa.

Desse modo, entende-se que a produção de madeira nessas florestas pode variar de região para região e de acordo com o tipo de vegetação predominante, em que determinadas áreas podem apresentar maior ocorrência de indivíduos de espécies de maior valor comercial.

Os custos do MFS, em áreas de florestas nativas no estado do Acre, para o ano de 2016, são apresentados na Tabela 2.



Tabela 2 – Composição do custo do MFS para um ciclo de corte de 25 anos, convertido para área de efetivo manejo, Acre, 2016.  
(Continuação)

ANO	ITEM	Valor (US\$ ha <sup>-1</sup> ) / Distância/ Cenário								
		50 km			100 km			150 km		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Com PP	Sem PP	Com PP e tratos pós-exploração	Com PP	Sem PP	Com PP e tratos pós-exploração	Com PP	Sem PP	Com PP e tratos pós-exploração
2	Remedição das parcelas permanentes	0,89	-	0,89	0,89	-	0,89	0,89	-	0,89
	Tratamentos silviculturais (implantação)	-	-	27,65	-	-	27,65	-	-	27,65
	<b>Subtotal</b>	<b>0,89</b>	-	<b>28,54</b>	<b>0,89</b>	-	<b>28,54</b>	<b>0,89</b>	-	<b>28,54</b>
	Administração (17,5%)	0,16	-	5,00	0,16	-	5,00	0,16	-	5,00
	<b>Total</b>	<b>1,05</b>	-	<b>33,54</b>	<b>1,05</b>	-	<b>33,54</b>	<b>1,05</b>	-	<b>33,54</b>
3,4,5,6	Tratamentos silviculturais (monitoramento/manutenção)**	-	-	10,77	-	-	10,77	-	-	10,77
	Administração (17,5%)	-	-	1,88	-	-	1,88	-	-	1,88
	<b>Total</b>	-	-	<b>12,65</b>	-	-	<b>12,65</b>	-	-	<b>12,65</b>
7, 12, 17, 22	Remedição das parcelas permanentes	0,89	-	0,89	0,89	-	0,89	0,89	-	0,89
	Tratamentos silviculturais (monitoramento/manutenção)**	-	-	10,77	-	-	10,77	-	-	10,77
	<b>Subtotal</b>	<b>0,89</b>	-	<b>11,66</b>	<b>0,89</b>	-	<b>11,66</b>	<b>0,89</b>	-	<b>11,66</b>
	Administração (17,5%)	0,16	-	2,04	0,16	-	2,04	0,16	-	2,04
	<b>Total</b>	<b>1,05</b>	-	<b>13,70</b>	<b>1,05</b>	-	<b>13,70</b>	<b>1,05</b>	-	<b>13,70</b>

\* Fonte: Thaines (2013). \*\* Fonte: Ferreira (2012).

O preço da terra florestal localizada a 100 km de Rio Branco, diminui em 17,86% em comparação ao preço da terra distante 50 km de Rio Branco. Já o preço de uma área distante 150 km de Rio Branco, diminui em aproximadamente 40% em relação ao preço da terra localizada a 50 km de Rio Branco. Os custos relacionados ao licenciamento do manejo florestal aumentam à medida em que a área de manejo fica mais distante. Na simulação realizada nesse estudo, o aumento nos custos de licenciamento, alterando-se a distância de 50 km para 150 km entre a floresta e a serraria em Rio Branco, foi de aproximadamente 39%, devido aos custos com o deslocamento.

O preço da terra corresponde, em média, a 70,31% do custo total do ano zero para os cenários com PP e 70,66% para os cenários sem PP. Os menores custos correspondem aos custos com ART, documentação de cartório, e custos com publicação e placa de manejo. É importante citar que, de acordo com os entrevistados, os custos de documentação de cartório, geralmente, são de responsabilidade do proprietário da terra. Nota-se ainda que o custo para remedição das parcelas permanentes diminui cerca de 23% em relação ao custo de implantação e medição das PP do ano zero.

Tendo como base os custos das atividades apresentadas no fluxo de caixa, os custos do MFS a diferentes taxas de juros são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Custo do MFS em áreas florestais no estado do Acre, 2016.

(Continua)

Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Custo do MFS (US\$ ha <sup>-1</sup> )
1	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	277,67
		8	298,97
		10	312,31
		12	320,72
2	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	273,48
		8	295,21
		10	308,88
		12	317,54
3	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	368,52
		8	380,91
		10	386,89
		12	389,11

Tabela 3 – Custo do MFS em áreas florestais no estado do Acre, 2016.

			(Continuação)
Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Custo do MFS (US\$ ha <sup>-1</sup> )
4	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	237,55
		8	254,98
		10	265,87
		12	272,72
5	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	233,37
		8	251,22
		10	262,44
		12	269,55
6	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	328,40
		8	336,91
		10	340,45
		12	341,12
7	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	189,36
		8	202,12
		10	210,07
		12	215,06
8	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	185,17
		8	198,36
		10	206,64
		12	211,89
9	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	280,21
		8	284,06
		10	284,65
		12	283,46

Observando os valores indicados na Tabela 3, constata-se que o custo das atividades do MFS tende a diminuir com o aumento da distância da floresta ao pátio da serraria. Esse decréscimo está relacionado ao preço da terra de floresta, que fica menor à medida em que se distancia do polo madeireiro em Rio Branco. O custo médio do MFS para os cenários com parcelas é de US\$ 254,78 ha<sup>-1</sup>; de US\$ 251,15 ha<sup>-1</sup> para os cenários sem PP e US\$ 322,81 ha<sup>-1</sup> para cenários com PP e tratamentos silviculturais pós-exploratórios.

O custo de produção ou preço mínimo da madeira em pé, em uma área manejada no estado do Acre, para diferentes cenários e taxas de juros, é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição do custo de produção da madeira em pé, para um ciclo de corte de 25 anos, em área manejada no Acre, 2016.

(Continua)

Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Preço médio de mercado da madeira em pé (US\$ m <sup>-3</sup> )	Custo do MFS (US\$ m <sup>-3</sup> )	Custo de produção da madeira em pé (US\$ m <sup>-3</sup> )	Receita (US\$ ha <sup>-1</sup> )
1	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	10,82	20,00	30,82	453,36
		8	10,82	21,94	32,76	481,90
		10	10,82	23,35	34,17	502,64
		12	10,82	24,41	35,23	518,23
2	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	10,82	19,70	30,52	448,95
		8	10,82	21,67	32,49	477,93
		10	10,82	23,09	33,91	498,82
		12	10,82	24,17	34,99	514,70
3	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	10,82	26,55	37,37	549,71
		8	10,82	27,96	38,78	570,45
		10	10,82	28,92	39,74	584,58
		12	10,82	29,62	40,44	594,87
4	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	10,82	17,11	27,93	410,85
		8	10,82	18,71	29,53	434,39
		10	10,82	19,88	30,70	451,60
		12	10,82	20,76	31,58	464,54
5	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	10,82	16,81	27,63	406,44
		8	10,82	18,44	29,26	430,41
		10	10,82	19,62	30,44	447,77
		12	10,82	20,52	31,34	461,01
6	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	10,82	23,66	34,48	507,20
		8	10,82	24,73	35,55	522,94
		10	10,82	25,45	36,27	533,53
		12	10,82	25,96	36,78	541,03
7	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	10,82	13,64	24,46	359,81
		8	10,82	14,83	25,65	377,31
		10	10,82	15,70	26,52	390,11
		12	10,82	16,37	27,19	399,96

Tabela 4 – Composição do custo de produção da madeira em pé, para um ciclo de corte de 25 anos, em área manejada no Acre, 2016.

(Continuação)

Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Preço médio de mercado da madeira em pé (US\$ m <sup>-3</sup> )	Custo do MFS (US\$ m <sup>-3</sup> )	Custo de produção da madeira em pé (US\$ m <sup>-3</sup> )	Receita (US\$ ha <sup>-1</sup> )
8	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	10,82	13,34	24,16	355,39
		8	10,82	14,56	25,38	373,34
		10	10,82	15,45	26,27	386,43
		12	10,82	16,13	26,95	396,43
9	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	10,82	20,19	31,01	456,16
		8	10,82	20,85	31,67	465,87
		10	10,82	21,28	32,10	472,19
		12	10,82	21,58	32,40	476,60

O custo de produção da madeira em pé também diminui com o aumento da distância, devido aos custos das atividades do MFS. O custo médio de produção da madeira em pé, para as diferentes taxas analisadas, em uma área localizada a 50 km do polo madeireiro em Rio Branco, tem um aumento de aproximadamente 0,82% quando da instalação, medição e remedição de PP ao longo do ciclo de corte. Já para áreas distantes 100 km e 150 km, o custo médio de produção da madeira em pé tem um acréscimo de 0,91% e 1,05%, respectivamente, com a adição das atividades de inventário florestal contínuo. Nota-se que, se o detentor do PMFS optar por realizar o IFC na floresta manejada, considerando os resultados obtidos nesse estudo, há baixa alteração no custo final. Esse resultado também foi constatado por Machado (2013), no qual foi analisado o custo do manejo madeireiro no estado do Acre em 2012. A diferença no custo foi de apenas 0,80%, para os cenários sem alocação de parcelas permanentes e com alocação de parcelas.

Verifica-se que a diferença entre o custo médio de produção da madeira em pé, considerando as diferentes taxas de juros, com medição e remedição de PP, e aplicação de tratamentos silviculturais após a extração, a 50 km, 100 km e 150 km de Rio Branco, representou aproximadamente 18,5%, 20,6% e 23,7% de acréscimo no custo final, respectivamente, comparados aos cenários sem PP.

Observa-se que o custo de produção (ou preço mínimo) da madeira em pé se eleva com o aumento da taxa de desconto. Como exemplo, tem-se que o preço

mínimo da madeira em pé para o cenário 1, calculado na taxa de 12% a.a., é 14,3% maior que o valor obtido em uma taxa de 6%. A receita média para as taxas analisadas, para áreas de manejo localizadas a 50 km, 100 km e 150 km de Rio Branco, é de US\$ 516,35 ha<sup>-1</sup>, US\$ 467,64 ha<sup>-1</sup> e US\$ 409,13 ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

O custo médio de produção para cenários com PP é de US\$ 29,71 m<sup>-3</sup>, US\$ 29,45 m<sup>-3</sup> para cenários sem PP e US\$ 35,55 m<sup>-3</sup> para cenários com PP e tratos silviculturais pós-exploração, proporcionando um acréscimo de 174,6%, 172,2% e 228,6%, respectivamente, no preço mínimo da madeira em pé.

O aumento no custo para os cenários com PP e tratos, deve-se a inclusão de diferentes tratos (anelamento, corte de cipós e plantio em clareiras) no fluxo de caixa das atividades de MFS. De acordo com informações obtidas nas entrevistas realizadas nesse estudo, constatou-se que os detentores dos planos de manejo não inserem tratos pós-exploratórios no planejamento das UPAs. Ressalta-se que a legislação atual não exige a aplicação dessas atividades, bem como a instalação de parcelas permanentes, isto é, ambas as atividades são facultativas. Somente para fins de certificação florestal, de modo a atender o Princípio nº 08 (Monitoramento e Avaliação) do *Forest Stewardship Council* (FSC), deve-se realizar o inventário florestal contínuo na área de manejo. Entre os motivos pelos quais os detentores não aplicam tratamentos silviculturais após a exploração, pode-se citar que tais tomadores de decisão acreditam que essa atividade não proporciona benefícios às florestas manejadas, e principalmente, devido aos custos adicionais.

No estado do Pará, as pesquisas relacionadas aos tratos silviculturais nas florestas manejadas encontram-se mais avançadas. Foram desenvolvidos estudos como os de Gomes et al. (2010); Sandel e Carvalhos (2000); Souza et al. (2015) e Taffarel et al. (2014). Entretanto, são poucos trabalhos envolvendo análises econômicas da aplicação de tratos pós-colheita, em florestas nativas na Amazônia, entre os quais pode-se citar: Ferreira (2012), Pinho et al. (2009) e Pires (2014). Apesar dos estudos realizados, Gomes et al. (2010) comentam que as técnicas silviculturais após a exploração de madeira são pouco adotadas, em virtude da escassez de informações sobre o assunto na Amazônia brasileira.

Sugere-se a realização de pesquisas voltadas ao acompanhamento dos benefícios da aplicação de tratos pós-exploração nas florestas manejadas do Acre, assim como o levantamento dos custos envolvidos, a fim de preencher as lacunas de conhecimento existentes quanto tais atividades.

## 3.1.1 Valor presente líquido do MFS

O VPL das atividades do MFS é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Valor presente líquido do MFS no estado do Acre, 2016.

(Continua)

Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	VPL (US\$ ha <sup>-1</sup> )
1	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	150,04
		8	147,23
		10	144,64
		12	141,99
2	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	150,06
		8	147,31
		10	144,59
		12	142,01
3	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	150,08
		8	147,29
		10	144,54
		12	142,02
4	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	150,04
		8	147,23
		10	144,68
		12	142,05
5	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	150,07
		8	147,32
		10	144,63
		12	142,07
6	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	150,09
		8	147,29
		10	144,58
		12	141,95
7	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	150,08
		8	147,24
		10	144,57
		12	142,05
8	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	150,10
		8	147,33
		10	144,66
		12	142,07
9	Área de manejo localizada a 150 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	150,13
		8	147,30
		10	144,61
		12	142,08

Os valores positivos para o VPL indicam que os projetos de manejo são viáveis economicamente. Nota-se que o VPL diminui com o aumento das taxas de juros adotadas. O VPL médio para os cenários com PP é de US\$ 145,99 ha<sup>-1</sup>; US\$ 146,02 ha<sup>-1</sup> para cenários sem PP e US\$ 146,0 ha<sup>-1</sup> para os cenários com PP e tratamentos silviculturais, demonstrando baixa diferença nos valores.

Barreto et al. (1998) afirmam que, apesar da rentabilidade do manejo, existem barreiras para sua aplicação em grande escala na Amazônia. Entre as barreiras, os autores citam a maior rentabilidade da agropecuária no curto prazo em comparação com o manejo. Citam ainda que há a necessidade de uma política florestal, incluindo o controle eficiente da exploração madeireira, incentivos econômicos ao manejo e extensão florestal.

### 3.2 Custos da exploração florestal

Os custos médios das atividades da extração florestal no Acre, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo médio da exploração florestal, Acre, 2016.

Atividades de exploração	Custo (US\$ m <sup>-3</sup> )
Abertura de estradas	1,34
Abertura de pátios	0,46
Corte	2,68
Arraste	7,24
Carregamento	2,45
Baldeio	4,28
Novo Carregamento	2,21
Acampamento de apoio	3,36
Total com baldeio	24,02
Total sem baldeio	17,53
<b>Custo final</b>	<b>21,87</b>

Os resultados demonstram que a atividade de arraste responde por maior parte dos custos da exploração, seguida pelas operações de baldeio, acampamento de apoio e corte das árvores, as quais representam aproximadamente 73% do custo total da exploração com baldeio. Os menores custos são assumidos pelas operações de construção de pátios e estradas (7,5%) e carregamento das toras nos caminhões (10,2%).

No estudo de Barreto et al. (1998), realizado no município de Paragominas, Pará, com um volume de madeira explorado de  $38,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , os custos das atividades de abertura de estradas, abertura de pátios, corte, arraste e carregamento, foram de US\$  $0,22 \text{ m}^{-3}$ , US\$  $0,07 \text{ m}^{-3}$ , US\$  $0,25 \text{ m}^{-3}$ , US\$  $1,31 \text{ m}^{-3}$ , US\$  $2,59 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente. No trabalho de Holmes et al. (2002), analisando os aspectos financeiros da EIR na Fazenda Cauaxi, no Pará, os custos para construção de estradas e pátios, foram de US\$  $0,16 \text{ m}^{-3}$ , para cada atividade. Para as operações de corte, arraste e operações nos pátios, os custos foram de US\$  $0,62 \text{ m}^{-3}$ , US\$  $1,24 \text{ m}^{-3}$  e US\$  $1,28 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente. Nota-se que os custos encontrados no presente estudo para essas atividades são maiores. No entanto, é importante ressaltar que os custos são influenciados pelas características dos planos de manejo, e variam ao longo dos anos, de região para região. Além disso, de acordo com Amaral et al. (1998), o custo do manejo varia de acordo com o tipo de floresta.

A variação no estoque de espécies de madeira comercial e as diferenças nos projetos de colheita afetam as estimativas de produtividade, custos, desperdício e danos (HOLMES et al., 2002). As comparações financeiras da exploração de impacto reduzido dependem das condições da floresta e do terreno, do planejamento das atividades das empresas de exploração, do mercado e de outros fatores (PUTZ et al., 2008). Applegate, Putz e Snook (2004) comentam que a heterogeneidade das áreas, a escala temporal das operações de colheita, o impacto da topografia e as condições operacionais em que a colheita ocorre, influenciam consideravelmente os custos.

### **3.3 Custo de produção e margem de comercialização da madeira em tora, Acre**

A composição do custo de produção de madeira em tora no ano de 2016, advinda de áreas manejadas no Acre e entregue em pátios de serrarias, e a margem absoluta de comercialização, a diferentes distâncias do polo madeireiro em Rio Branco e a diferentes taxas de juros, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição do custo de produção e margem bruta de comercialização da madeira em tora, no estado do Acre, 2016.  
(Continua)

(US\$ m <sup>-3</sup> )											
Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Custo de produção da madeira em pé	Custo da exploração florestal	Custo do transporte da madeira	Custo da nota fiscal	Funrural	Lucro líquido antes do IR	IR	Custo de produção da madeira em tora	Margem bruta
1	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	30,82	21,87	11,66	0,02	1,65	7,30	2,01	68,03	5,30
		8	32,76	21,87	11,66	0,02	1,65	5,36	1,48	69,44	3,89
		10	34,17	21,87	11,66	0,02	1,65	3,95	1,09	70,46	2,87
		12	35,23	21,87	11,66	0,02	1,65	2,89	0,80	71,23	2,10
2	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	30,52	21,87	11,66	0,02	1,65	7,60	2,09	67,81	5,51
		8	32,49	21,87	11,66	0,02	1,65	5,63	1,55	69,24	4,08
		10	33,91	21,87	11,66	0,02	1,65	4,21	1,16	70,27	3,06
		12	34,99	21,87	11,66	0,02	1,65	3,13	0,86	71,05	2,27
3	Área de manejo localizada a 50 km da serraria em Rio Branco, com PP e tratamentos silviculturais	6	37,37	21,87	11,66	0,02	1,65	0,75	0,21	72,78	0,55
		8	38,78	21,87	11,66	0,02	1,65	0,00	0,00	73,98	-0,66
		10	39,74	21,87	11,66	0,02	1,65	0,00	0,00	74,94	-1,62
		12	40,44	21,87	11,66	0,02	1,65	0,00	0,00	75,64	-2,32
4	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, com PP	6	27,93	21,87	20,57	0,02	1,65	1,29	0,36	72,39	0,94
		8	29,53	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	73,63	-0,31
		10	30,70	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	74,80	-1,48
		12	31,58	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	75,68	-2,36
5	Área de manejo localizada a 100 km da serraria em Rio Branco, sem PP	6	27,63	21,87	20,57	0,02	1,65	1,59	0,44	72,17	1,15
		8	29,26	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	73,36	-0,04
		10	30,44	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	74,54	-1,22
		12	31,34	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	75,44	-2,12

Tabela 7 – Composição do custo de produção e margem bruta de comercialização da madeira em tora, no estado do Acre, 2016.  
(Continuação)

(US\$ m <sup>-3</sup> )											
Cenário	Descrição	Taxa (% a.a.)	Custo de produção da madeira em pé	Custo da exploração florestal	Custo do transporte da madeira	Custo da nota fiscal	Funrural	Lucro líquido antes do IR	IR	Custo de produção da madeira em tora	Margem bruta
6	Área de manejo localizada	6	34,48	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	78,58	-5,26
	a 100 km da serraria em	8	35,55	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	79,65	-6,33
	Rio Branco, com PP e	10	36,27	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	80,37	-7,05
	tratamentos silviculturais	12	36,78	21,87	20,57	0,02	1,65	0,00	0,00	80,88	-7,56
7	Área de manejo localizada	6	24,46	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	74,66	-1,33
	a 150 km da serraria em	8	25,65	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	75,85	-2,52
	Rio Branco, com PP	10	26,52	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	76,72	-3,39
		12	27,19	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	77,39	-4,06
8	Área de manejo localizada	6	24,16	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	74,36	-1,03
	a 150 km da serraria em	8	25,38	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	75,58	-2,25
	Rio Branco, sem PP	10	26,27	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	76,47	-3,14
		12	26,95	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	77,15	-3,82
9	Área de manejo localizada	6	31,01	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	81,21	-7,88
	a 150 km da serraria em	8	31,67	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	81,87	-8,54
	Rio Branco, com PP e	10	32,10	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	82,30	-8,97
	tratamentos silviculturais	12	32,40	21,87	26,66	0,02	1,65	0,00	0,00	82,60	-9,27

O custo de produção tende a aumentar à medida que as áreas manejadas ficam mais distantes da cidade de Rio Branco. Esse fato deve-se à variação no custo do transporte, que se eleva em aproximadamente 129%, quando se aumenta a distância de 50 para 150 km de Rio Branco. O custo de produção de madeira em tora, para cenários com PP, sem PP e com PP e tratamentos pós-exploratórios, eleva-se em média cerca de 10%, variando a distância de 50 para 150 km. Dessa forma, mesmo com a diminuição do custo de produção da madeira em pé com o aumento da distância, o custo de produção de madeira em tora torna-se mais oneroso a maiores distâncias, devido ao custo com o transporte.

O custo médio de produção da madeira em tora, para os cenários com parcelas permanentes, foi de US\$ 73,36 m<sup>-3</sup>. O custo médio de produção da madeira em pé, o custo das atividades exploratórias e o custo médio do transporte da madeira até o pátio da serraria, representam cerca de 40,5%, 29,8% e 26,8% do custo médio final, respectivamente. Os custos com nota fiscal e de impostos (Funrural e Imposto de Renda) tem a menor participação no custo de produção de madeira em tora (2,9%).

Já o custo médio de produção para os cenários sem PP, a diferentes taxas de juros, foi de US\$ 73,12 m<sup>-3</sup>. As atividades do custo médio de produção da madeira em pé representam aproximadamente 40,3% do custo médio de produção da madeira em tora. As atividades exploratórias, o transporte da madeira até a serraria e os custos com NF e impostos, representam, respectivamente, 29,9 %, 26,8 % e 3,0% do custo médio de produção para os cenários sem parcelas permanentes.

Para os cenários com parcelas permanentes e tratamentos silviculturais, o custo médio de produção foi de US\$ 78,73 m<sup>-3</sup>, sendo que o custo médio de produção da madeira em pé responde por 45,2% do custo final, enquanto que a exploração florestal representa 27,8%. O custo médio do transporte e os custos com NF e impostos, por sua vez, correspondem, respectivamente, a 24,9% e 2,1% do custo médio de produção da madeira em tora.

O preço médio da madeira em tora, posta em serraria, praticado no mercado local, é de US\$ 73,32 m<sup>-3</sup>, e o custo médio de produção, para os diferentes cenários e taxas, é de US\$ 75,07 m<sup>-3</sup>, evidenciando uma margem média de comercialização negativa. Em termos específicos, a margem foi positiva para todas as taxas dos cenários 1 e 2, e para a taxa de 6% dos cenários 3, 4 e 5, indicando lucro na produção de madeira em tora. Já, para o cenário 6, a margem foi negativa em todas as taxas adotadas, devido a inclusão dos tratamentos silviculturais. Por último, nos cenários 7,

8 e 9, os resultados foram negativos, independente da taxa de juro adotada, e de terem ou não a implantação de parcelas permanentes ou, ainda, da execução ou não de tratos pós-exploratórios.

## 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados gerados sobre o custo de produção de madeira em tora no estado do Acre, advinda de área manejada, pode-se inferir que:

O custo das operações do MFS e o custo de produção da madeira em pé diminuem com o aumento da distância, uma vez que o preço da terra florestal decresce a maiores distâncias do polo madeireiro em Rio Branco.

O custo de produção da madeira em pé tem pouco acréscimo, caso o detentor do plano de manejo realize o inventário florestal contínuo na floresta manejada.

A atividade de arraste responde por maior parte dos custos da exploração, seguida pelas operações de baldeio, acampamento de apoio e corte das árvores.

O custo de produção da madeira em tora, entregue em serraria, se eleva à medida em que as áreas de manejo ficam mais distantes de Rio Branco. Tal fato ocorre, uma vez que a diminuição no preço da terra não compensa o aumento no custo do transporte.

Para uma área de manejo localizada a 50 km do polo madeireiro em Rio Branco, com ou sem PP, a atividade é viável em termos econômicos. Com o acréscimo de tratamentos pós-exploratórios, a produção de madeira em tora a 50 km é viável apenas a uma taxa de desconto de 6%.

Na situação em que a área de manejo fica mais distante, a 100 km, a margem de comercialização se mantém positiva a uma taxa de 6%, apenas para cenários com e sem parcelas permanentes.

Para maiores distâncias (150 km), há prejuízo no processo de produção, com margem de comercialização negativa, com maiores prejuízos para cenários que incluem PP juntamente com tratamentos pós-exploratórios.

## REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II**: documento síntese. 2. ed. Rio Branco: SEMA, 2010. 356 p.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II**: documento síntese. Rio Branco: SEMA, 2006. 354 p.

ALVARES, C. L. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

AMARAL, E. F. et al. Circunstâncias Estaduais. In: COSTA, F. S. et al. (Ed.) **Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do estado do Acre**: ano-base 2010. Rio Branco: Embrapa Acre, 2012. 144 p.

AMARAL, P. et al. **Floresta para sempre**: um manual para a produção de madeira na Amazônia. Belém: Imazon, 1998. 130 p.

APPLEGATE, G.; PUTZ, F. E.; SNOOK, L. K. **Who pays for and who benefits from improved timber harvesting practices in the tropics?** Lessons learned and information gaps. Bogor: Center for International Forestry Research, 2004. 35 p.

ASSUNÇÃO, J. et al. Property-level assessment of change in forest clearing patterns: the need for tailoring policy in the Amazon. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 66, p. 18-27, 2017.

AZEVEDO-RAMOS, C. Desenvolvimento sustentável sob a ótica da floresta. In: AZEVEDO-RAMOS, C. **Amazônia e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer Stiftung, 2010. 98 p. (Cadernos Adenauer X, n. 4).

BALIEIRO, M. R. et al. **As concessões de florestas públicas na Amazônia Brasileira**: um manual para pequenos e médios produtores. 2. ed. Piracicaba; Belém: Imaflora/ IFT. 2010. 204p.

BARRETO, P. et al. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 9-26, 1998.

BOLTZ, F. et al. Financial returns under uncertainty for conventional and reduced-impact logging in permanent production forests of the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 387-398, 2001.

BRANDT, J. S.; NOLTE, C.; AGRAWAL, A. Deforestation and timber production in Congo after implementation of sustainable forest management policy. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 52, p. 15-22, 2016.

BRASIL. Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 dez. 2006a. Seção 1, p. 01-03. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/12/2006&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=132>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 12 de fevereiro de 2015. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 fev. 2015. Seção 1, p. 67.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/02/2015&jornal=1&pagina=67>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 30, de 31 de dezembro de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 jan. 2003.

BRASIL. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006b. Seção 1, p. 155-159.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/12/2006&jornal=1&pagina=155&totalArquivos=232>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Norma de execução nº 1, de 24 abril de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 abr. 2007. Seção 1, p. 405. Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/04/2007&jornal=1&pagina=405&totalArquivos=428>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 fev. 2009. Seção 1, p. 100.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/02/2009&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=160>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE – CEPAL/  
INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA/ DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT – GIZ. **Avaliação das políticas de desenvolvimento sustentável do Estado do Acre (1999-2012)**. Santiago: IPEA/ CEPAL/ GIZ, 98 p. 2014.

DE GRAAF, N. R.; FILIUS, A. M.; SANTOS, A. R. H. Financial analysis of sustained forest management for timber: perspectives for application of the CELOS management system in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 177, p. 287-299, 2003.

ESPADA, A. L. V. et al. **Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia**. Belém: IFT, 2013. 31 p. (Instituto Floresta Tropical. Informativo Técnico, 1).

FEARNSIDE, P. M. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 53-70, 1997.

FERREIRA, E. J. L. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 66, n. 3, p. 46-51, 2014.

FERREIRA, M. V. S. **Avaliação econômica do manejo florestal em floresta de terra firme na Amazônia brasileira com aplicação de silvicultura pós-colheita**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Global forest resources assessment 2015: How are the world's forests changing?** 2. ed. Roma: FAO, 2016. 44 p.

FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL – FFT. **Manual de procedimentos técnicos para condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido (versão 4.0)**. Belém: FFT, 2002. 86 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GOMES, J. M. et al. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 1, p. 171-178, 2010.

GUILHERME, E. **Aves do Acre**. Rio Branco: Edufac, 2016. 897 p. Disponível em: <[https://issuu.com/edufac/docs/livro\\_aves\\_do\\_acre\\_miolo\\_05\\_08\\_2016](https://issuu.com/edufac/docs/livro_aves_do_acre_miolo_05_08_2016)>. Acesso em: 03 fev. 2017.

HAMAOUJI JR., G. S. et al. Land-use change drives abundance and community structure alterations of thaumarchaeal ammonia oxidizers in tropical rainforest soils in Rondônia, Brazil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 107, p. 48-56, 2016.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 24, n.3-4, p. 275-288, 1994.

HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, n. 1-3, 28 p. 93-110, 2002.

HOLMES, T. P.; BOLTZ, F.; CARTER, D. R. Financial indicators of reduced impact logging performance in Brazil: case study comparisons. p. 152-162. In: ENTERS, T. et al. (Eds.). **Applying reduced impact logging to advance sustainable forest management**. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. 311 p. (FAO. RAP Publication, 14).

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 1998. 162 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2016**. IBGE, 13 set. 2016. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2016/estimativa\\_dou\\_2016\\_20160913.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2016/estimativa_dou_2016_20160913.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2017.

- KEENAN, R. J. et al. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 352, p. 9-20, 2015.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. Belém: Imazon. 2005. 4 p. (Imazon. Série O Estado da Amazônia, 02).
- LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 45-66, 1997.
- MACDICKEN, K. G. et al. Global progress toward sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 352, p. 47-56, 2015.
- MACHADO, M. P. O. **Custo do manejo florestal madeireiro na Amazônia**: um estudo de caso no Estado do Acre, 2012. 2013. 76 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2013.
- MAY, T. **Pesquisa social**: questões, métodos e processos. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- MENDES, J. T. G.; PADILHA JÚNIOR, J. B. **Agronegócio**: uma abordagem econômica. Nova Jersey: Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2007.
- MORALES-HIDALGO, D.; OSWALT, S. N.; SOMANATHAN, E. Status and trends in global primary forest, protected areas, and areas designated for conservation of biodiversity from the Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 352, n. 7, p. 68-77, 2015.
- NEVES, R. F. (Org.). **Coletânea de normas ambientais do Estado do Acre**. 2. ed. Rio Branco: Procuradoria Geral do Estado/ Procuradoria Especializada do Meio Ambiente, 2009. 217 p.
- OLIVEIRA, L. C. et al. **Diretrizes simplificadas para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia brasileira**. Manaus: GT Monitoramento de Florestas, 2004. 23 p.
- PEARSE, P. H. **Introduction to forestry economics**. Vancouver: University of British Columbia Press, 1990. 226 p.
- PINHO, G. S. C. et al. Análise de custos e rendimentos de diferentes métodos de corte de cipós para produção de madeira na Floresta Nacional de Tapajós. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 555-560, 2009.
- PIRES, I. P. **Crescimento, mortalidade e viabilidade técnica e financeira do desbaste de liberação de copas em uma floresta ombrófila úmida, no leste do Pará**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

PUTZ, F. E. et al. Reduced-impact logging: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 7, p. 1427-1433, 2008.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011, 386 p.

SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades: relatório síntese**. Belém: CIFOR, 2006. 72 p.

SANDEL, M. P.; CARVALHOS, J. O. P. Anelagem de árvores como tratamento silvicultural em florestas naturais da Amazônia brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 33, p. 9-32, 2000.

SANTOS, R. A. **Custo do manejo florestal madeireiro, estudo de caso: Floresta Estadual do Acre**. 2007. 109 f. Monografia (Bacharelado em Economia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2007.

SASAKI, N. et al. Sustainable management of tropical forests can reduce carbon emissions and stabilize timber production. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 4, n. 50, p. 1-13, 2016.

SILVA, J. M. N. et al. **Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 68 p.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 178 p.

SILVA, Z. A. G. P. G. Concessão florestal: governo e iniciativa privada interagindo para implementar o manejo florestal sustentável na Amazônia. In: SEMINÁRIO ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE: REGULAÇÃO ESTATAL E AUTO-REGULAÇÃO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 3., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2003.

SILVA, Z. A. G. P. G. Raio econômico como um indicativo para a definição de concessões florestais: um estudo de caso no estado do Acre. In: MATOS et al. (Ed.). **II Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal**: concurso de monografias sobre o tema: estudos de economia e mercado florestal: coletânea de monografias premiadas. Brasília: ESAF, 2015. p. 205-244.

SILVA, Z. A. G. P. G.; SANTOS, R. A. Custo do manejo florestal madeireiro em floresta pública: estudo de caso no Acre, 2011. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 3, p. 79-96, 2011.

SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia**: padrões e processos em múltiplas escalas. 2001. 109 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SOUZA, D. V. et al. Crescimento de espécies arbóreas em uma floresta natural de terra firme após a colheita de madeira e tratamentos silviculturais, no município de Paragominas, Pará, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 873-883, 2015.

STRAND, J. et al. Using the Delphi method to value protection of the Amazon rainforest. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 131, p. 475-484, 2017.

TAFFAREL, M. et al. Efeito da silvicultura pós-colheita na população de *Lecythis lurida* (Miers) Mori em uma floresta de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 889-898, 2014.

THAINES, F. **Coeficientes técnicos para o manejo florestal comunitário com fins madeireiros no bioma Amazônia**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2013. 135 p.

TIMOFEICZYK JUNIOR, R. et al. Estrutura de custos do manejo de baixo impacto em florestas tropicais – um estudo de caso. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 89-103, 2005.

VERWEIJ, P. A. et al. **Keeping the Amazon forests standing: a matter of values**. Zeist: WWF-Netherlands, 2009. 68 p.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 79).

WAGNER, J. E. **Forestry economics: a managerial approach**. New York: Routledge – Taylor & Francis Group, 2012.

## CAPÍTULO II – OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO ANUAL NO MANEJO DE FLORESTAS NATIVAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

### RESUMO

Um dos problemas do manejo florestal consiste na regulação da produção. O presente estudo teve como objetivo apresentar alternativas para a otimização da subdivisão e formação de unidades de produção anual (UPAs), em áreas de manejo florestal sustentável (MFS) na Amazônia, promovendo a regulação da produção por volume. A área de estudo está localizada no município de Bujari, Acre, com uma área de manejo de 12.774,4 ha, em que foram selecionadas duas UPAs, que foram exploradas em 2014 e 2015. A formulação dos modelos de otimização teve como base o Problema de p-medianas capacitado (PPMC). Foram utilizados dados de *input* de inventário florestal censitário das UPAs. A proposta 1 visa otimizar a subdivisão de uma UPA, por meio do agrupamento de pátios de estocagem, de modo que se obtenha uma produção regular durante dois anos de exploração, considerando o prazo para explorar a área. Para essa proposta, selecionou-se somente a UPA 2014 e as árvores da categoria explorável. A proposta é executada em duas etapas: 1) alocação otimizada de pátios, com a abertura de pátios adotando-se restrições de capacidade máxima do pátio (544 m<sup>3</sup>) e distância máxima de arraste (285 m); e 2) agrupamento ótimo de pátios de estocagem, de modo a subdividir a UPA. A proposta 2 consiste na otimização da formação de UPAs a nível de árvores, de modo a se agrupar as árvores acima do diâmetro mínimo de corte (DMC), minimizando a distância entre elas. Para essa proposta, foram selecionadas as 2 UPAs em estudo. Em ambas as propostas foram executados dois cenários de regulação do volume:  $\pm 10\%$  e  $\pm 20\%$ . A proposta 1 foi executada por método exato (*branch-and-cut*) e a 2 por meio de método heurístico. Foram alocados 64 pátios na UPA 2014, com um volume médio de 396,8 m<sup>3</sup>. Em relação aos dois cenários de produção, no cenário 1 a produção variou em  $\pm 9,6\%$ . No cenário 2, a produção variou em  $\pm 17,4\%$ . Para o cenário 1 da proposta 2, o volume total acima do DMC apresentou uma variação muito baixa (0,14%). Após a formação das UPAs e posterior aplicação dos critérios da legislação para manutenção de árvores por espécie, e de intensidade máxima de corte, a produção explorável planejada para a UPA 1 totalizou 30.861,03 m<sup>3</sup>. Para a UPA 2, o volume total explorável foi de 29.716,91 m<sup>3</sup>. A produção total passível de exploração

teve uma variação de aproximadamente  $\pm 1,9\%$ , sendo um resultado satisfatório, em relação a regulação. As propostas apresentadas são aplicáveis à realidade na Amazônia e podem ser utilizadas para regular a produção de madeira em áreas de MFS nessa região.

**Palavras-chave:** Pátios de estocagem, Problema de p-medianas, Regulação da produção.

## **CHAPTER II – OPTIMIZATION OF FORMATION OF ANNUAL PRODUCTION UNITS IN THE MANAGEMENT OF NATIVE FORESTS IN THE BRAZILIAN AMAZON**

### **ABSTRACT**

One of the problems of forest management is the regulation of production. The present study aimed to present alternatives for the optimization of the subdivision and formation of annual production units (APUs), in areas of sustainable forest management (SFM) in the Amazon, promoting the regulation of production by volume. The study area is located in the municipality of Bujari, Acre, with a management area of 12,774.4 ha, in which two APUs were selected, which were explored in 2014 and 2015. The formulation of the optimization models was based on the capacitated p-median problem (CPMP). We use input data from census inventory of APUs. Proposal 1 aims to optimize the subdivision of a APU by grouping storage yards so that regular production is achieved over two years of exploration, considering the time to explore the area. For this proposal, only APU 2014 and trees of the exploitable category were selected. The proposal is executed in two stages: 1) optimized allocation of patios, with the opening of patios adopting restrictions of maximum capacity of the yard (544 m<sup>3</sup>) and maximum distance of drag (285 m); and 2) optimum grouping of the storage yards, in order to subdivide the APU. Proposal 2 consists of optimizing the formation of APUs at the tree level, in order to group the trees above the minimum cutting diameter (MCD), minimizing the distance between them. For this proposal, the 2 APUs under study were selected. In both proposals, two volume regulation scenarios were performed:  $\pm 10\%$  and  $\pm 20\%$ . Proposition 1 was executed by branch-and-cut method and 2 by heuristic method. A total of 64 courtyards were allocated to APU 2014, with a mean volume of 396.8 m<sup>3</sup>. In relation to the two production scenarios, in scenario 1 production varied by  $\pm 9.6\%$ . In scenario 2, production varied by  $\pm 17.4\%$ . For scenario 1 of proposal 2, the total volume above the DMC presented a very low variation (0.14%). After the formation of APUs and subsequent application of the criteria of the legislation for tree maintenance by species, and maximum cut intensity, the exploitable production planned for APU 1 totaled 30,861.03 m<sup>3</sup>. For APU 2, the total explorable volume was 29,716.91 m<sup>3</sup>. Total production that could be exploited had a variation of approximately  $\pm 1.9\%$ , a satisfactory result in relation to regulation. The proposals presented are

applicable to the reality in the Amazon and can be used to regulate the production of wood in areas of SFM in this region.

**Keywords:** Storage yards, P-median problem, Production regulation.

## 1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica fornece serviços ecossistêmicos fundamentais em escala mundial (FEELEY, 2016). Atualmente, as florestas nativas na Amazônia brasileira podem ser exploradas para a produção de madeira e outros produtos, por meio de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), adotando-se critérios técnicos de elaboração e execução exigidos pela legislação vigente, como: Brasil (2006a); Brasil (2006b); Brasil (2007); Brasil (2009); Brasil (2015).

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) adota técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR), que visam principalmente a redução dos danos ambientais e melhoraria na eficiência das atividades de colheita (PEÑA-CLAROS et al. 2008; SCHULZE et al., 2008). A primeira etapa do MFS refere-se ao macroplanejamento, que envolve a delimitação das Unidades de Produção Anuais (UPAs), definidas a partir da divisão da unidade de manejo em áreas a serem exploradas anualmente (BALIEIRO et al., 2010). Essa definição inicial, que irá nortear as etapas seguintes do processo, deve levar em consideração diferentes critérios, como: aqueles definidos pela legislação, como manutenção de árvores por espécie e intensidade máxima de corte, apresentados em Brasil (2006b), Brasil (2009) e Brasil (2015); demanda de produção de determinada indústria; aspectos econômicos; características da floresta; disponibilidade de recursos; dentre outros. Considerando que uma área de manejo deve ser dividida previamente, de modo a ser colhida anualmente, Carvalho et al. (2015) ressaltam que um dos problemas do manejo florestal consiste na regulação da produção. Leuschner (1984), cita que regulação diz respeito à obtenção anual ou periódica de matéria-prima, em volume e qualidade semelhantes.

Na regulação em florestas nativas, é comum dividir a área de produção em compartimentos de exploração a serem colhidos em um determinado horizonte de planejamento ou ciclo de corte. Contudo, de acordo com Hosokawa, Moura e Cunha (1998), o volume de madeira nessas florestas varia, principalmente, em função da capacidade produtiva do solo e da distribuição irregular das espécies.

Dessa forma, a divisão de uma área de manejo em compartimentos de igual tamanho não corresponderá, necessariamente, à uma distribuição regular de volume, renda e espécies. Tal fato, em virtude da oscilação dessas variáveis, consiste em uma problemática no planejamento da colheita em uma área de MFS. Nesse sentido, segundo Souza e Soares (2013), a formação das UPAs é um problema que pode ser

otimizado, adotando-se técnicas de Programação Matemática (PM). Alguns estudos empregaram essas técnicas para resolução de problemas em florestas nativas na Amazônia, e como exemplos, pode-se citar: Braz (2001); Braz, Carnieri e Arce (2004); Fernandes et al. (2013); Martinhago (2012); Silva (2014a); Silva (2014b) e Silva (2015).

Além da PM, é fundamental o uso de geotecnologias no planejamento da colheita nessas áreas. A título de exemplo, pode-se citar uma importante inovação tecnológica para o manejo florestal na Amazônia: o Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora), apresentado por Figueiredo, Braz e D'Oliveira (2007), que possibilita o georreferenciamento dos aspectos ambientais e árvores de interesse na área de manejo (FIGUEIREDO; LIMA, 2008).

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo apresentar propostas de modelos matemáticos aplicados à otimização da subdivisão e formação de UPAs em áreas de MFS, promovendo a regulação da produção florestal por volume.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo está inserida em uma Área de Manejo Florestal (AMF), localizada no município de Bujari, estado do Acre (Figura 3). A AMF possui 12.774,4 ha e situa-se nas coordenadas geográficas 9°29'37,59" S e 68°08'43,01" O. O acesso se dá por meio da Rodovia Federal BR-364, a uma distância de 75 km da capital Rio Branco.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é do tipo tropical de monções (Am), caracterizado por elevados índices de precipitação pluviométrica, e por apresentar um período de seca, com precipitação mensal menor que 60 mm (ALVARES et al., 2014). A precipitação média anual permanece em torno de 2.000 mm (INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL – IAC, 1993) e a temperatura média anual em torno de 24,5° C. As formações vegetais ocorrentes na região são a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta com Bambu e Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (ACRE, 2010). De acordo com o mapa pedológico apresentado no Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Acre (ACRE, 2010), o tipo de solo predominante na região de inserção da propriedade é classificado como argissolo vermelho-amarelo. A área está inserida em uma região denominada de Depressão Amazônica (ACRE, 2010), com cotas altimétricas variando de 144 a 198m.

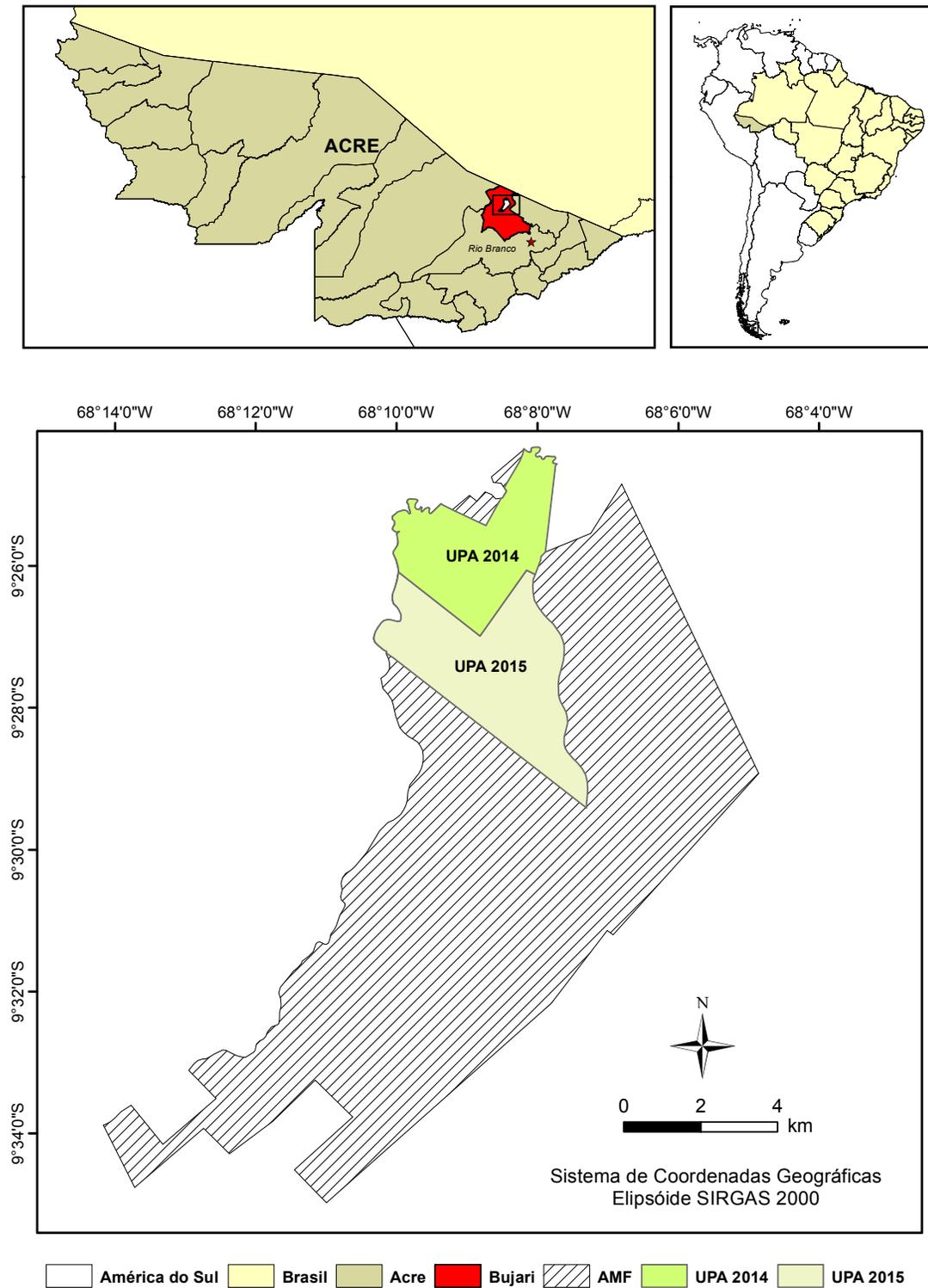
### 2.2 Seleção de Unidades de Produção Anual da AMF

Foram selecionadas duas UPAs da AMF: UPA 2014 e UPA 2015. A seguir, são apresentadas informações das UPAs, extraídas de seus Planos Operacionais Anuais (Tabela 8).

Tabela 8 – Informações das UPAs da AMF em estudo.

UPA	Área total (ha)	APPs (ha)	Área de efetiva exploração (ha)
UPA 2014	1.056,76	207,55	849,21
UPA 2015	1.455,10	277,98	1.177,12

Figura 3 – Localização e delimitação da AMF, Bujari, estado do Acre.



As UPAs não foram subdivididas em unidades de trabalho (UTs), e foi utilizado o Modeflora para o planejamento da exploração. O PMFS da área é categorizado como Pleno, isto é, aquele que prevê a utilização de máquinas para o arraste de toras (BRASIL, 2006b).

### **2.3 Base de dados do inventário florestal 100%**

Para a construção e solução dos modelos de otimização, que tem como objetivo principal a regulação da produção nas UPAs, foram necessários dados de *input* de inventário florestal censitário ou inventário 100% de cada UPA.

Foram inventariados os indivíduos com diâmetro à 1,3 m do solo (DAP) maior ou igual a 30 cm. As variáveis levantadas de cada árvore foram: circunferência à 1,3 m do solo (CAP); altura comercial (m); identificação botânica (nomes comum e científico); qualidade do fuste (1- bom; 2- regular; 3- ruim); coordenadas de localização e altitude.

As árvores identificadas no censo foram classificadas nas seguintes categorias: 1) árvores raras ou proibidas de corte; 2) árvores de corte futuro; 3) árvores de segundo ciclo; 4) árvores localizadas em áreas de preservação permanente (APPs); 5) porta-sementes; e 6) árvores exploráveis.

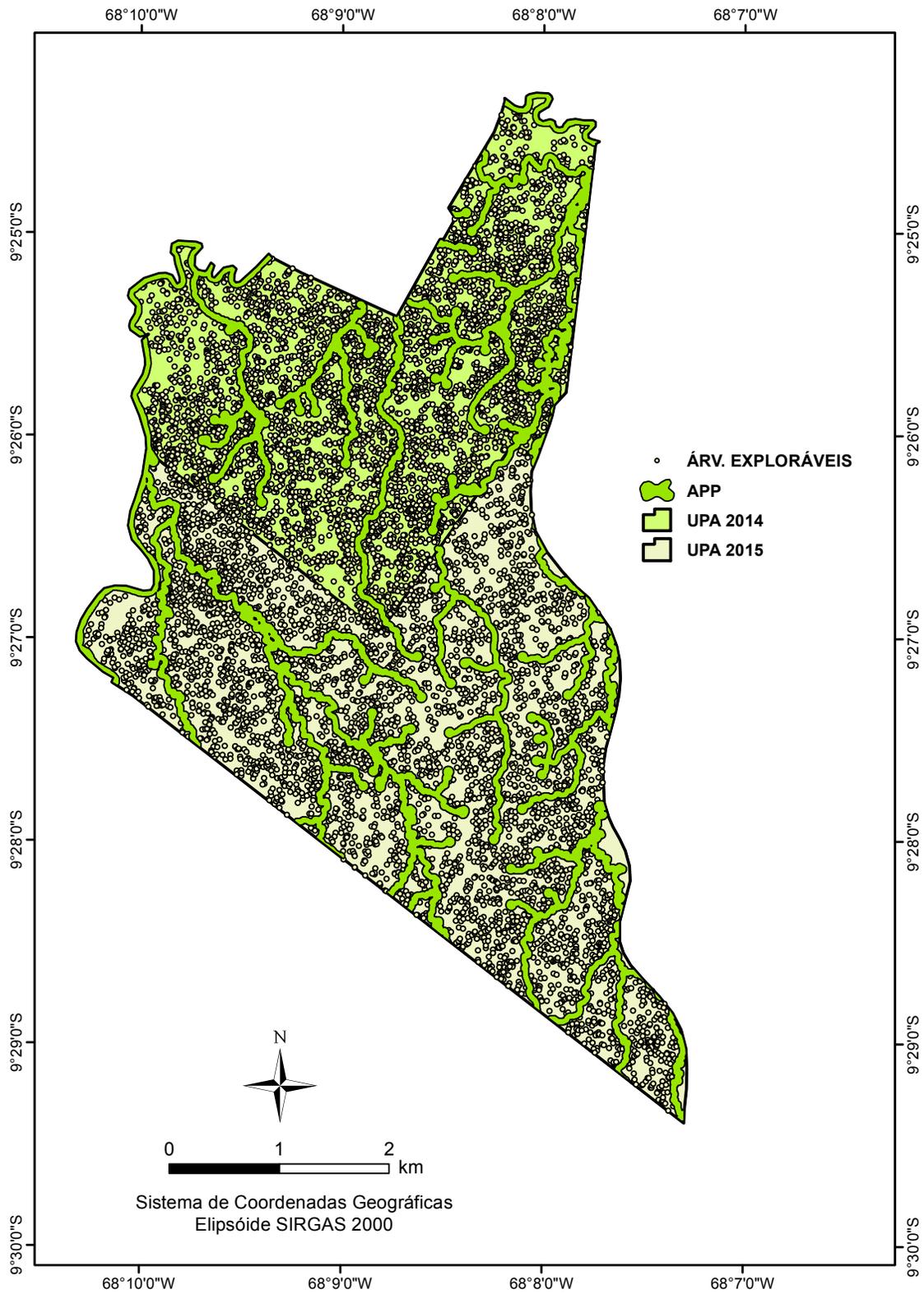
As árvores raras são pertencentes àquelas espécies que apresentam baixa densidade, isto é, abundância de indivíduos acima do diâmetro mínimo de corte (DMC) igual ou inferior a 3 árvores por 100 hectares de área efetiva exploração da UPA (BRASIL, 2009); ou, no caso de espécies presentes na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção e classificadas na categoria Vulnerável, são raras se a abundância de indivíduos acima do DMC for igual ou inferior a 4 árvores por 100 hectares de área efetiva exploração da UPA (BRASIL, 2015).

As espécies proibidas de corte, isto é, não passíveis de exploração para uso madeireiro, são a castanheira (*Betholetia excelsa*) e a seringueira (*Hevea spp.*) (BRASIL, 2006a). O mogno (*Swietenia macrophylla*) também foi incluído nessa categoria, pois sua exploração depende de critérios específicos, apresentados em Brasil (2003). Árvores de corte futuro são os indivíduos abaixo do DMC (50 cm); árvores de segundo ciclo são pertencentes a espécies específicas, as quais o tomador de decisão responsável optou por explorá-las em um próximo ciclo.

As árvores porta-sementes são os indivíduos mantidos de cada espécie, de modo a facilitar a regeneração da espécie após a colheita. A Resolução CONAMA nº 406/2009 (BRASIL, 2009) exige que sejam mantidos pelo menos 10% do número de indivíduos de cada espécie, que atendam aos critérios de seleção para corte, na área de efetiva exploração da UPA. Além disso, deve-se respeitar o limite mínimo de manutenção de 3 árvores por espécie por 100 ha. Para as espécies vulneráveis, a IN MMA 01/2015 (BRASIL, 2015), exige a manutenção de, pelo menos, 15% do número de árvores por espécie, que atendam aos critérios de seleção para corte, na área de efetiva exploração da UPA, respeitando o limite mínimo de manutenção de 4 árvores por espécie por 100 ha.

Na UPA 2014, foram categorizados 4.237 indivíduos como exploráveis, correspondendo a um volume total de 25.437,28 m<sup>3</sup>. Na UPA 2015 foram classificadas 4.217 árvores como exploráveis, totalizando 30.716,79 m<sup>3</sup> de volume comercial explorável. A Figura 4 mostra a distribuição das árvores exploráveis nas UPAs.

Figura 4 – UPAs selecionadas na AMF, Bujari, Acre.



## **2.4 Propostas de modelos de otimização para subdivisão e formação de UPAs em áreas de manejo florestal sustentável**

### 2.4.1 Proposta 1: Otimização da subdivisão de UPA por meio do agrupamento de pátios de estocagem

O primeiro modelo foi idealizado considerando uma situação em que seja necessário a exploração de determinada UPA durante um horizonte de planejamento de dois anos, respeitando o prazo de validade da Licença de Operação (LO) e a Autorização para Exploração (AUTEX). Essa proposta é válida nos casos em que o proprietário ou a indústria detentora do plano de manejo, por questões de planejamento da produção, opte por não explorar o volume total da UPA em determinado ano. Essa é uma situação real que pode ocorrer na execução de um POA, em que uma única UPA pode ser explorada em até dois anos consecutivos. Dessa forma, o modelo proposto visa otimizar a subdivisão de uma UPA, de modo que se obtenha uma produção regular nos dois anos de exploração. Para esse modelo, selecionou-se somente a UPA 2014 e as árvores da categoria explorável. Essa proposta também levou em consideração a alocação otimizada de pátios de estocagem.

A proposta é executada em duas etapas ou dois modelos de otimização: 1) Alocação otimizada de pátios, com a abertura de pátios adotando-se restrições de capacidade máxima do pátio e distância máxima de arraste; e 2) Agrupamento ótimo dos pátios de estocagem, de modo a subdividir a UPA. Dessa forma, seguiu-se os seguintes passos metodológicos para a proposta:

- 1) Identificação de áreas aptas para alocação de pátios de estocagem;
- 2) Alocação de pátios de estocagem; e
- 3) Agrupamento de pátios para subdivisão da UPA.

#### 2.4.1.1 Identificação das áreas aptas para alocação de pátios

A determinação de locais aptos à instalação de pátios, teve como base a metodologia do Modeflora, proposta por Figueiredo, Braz e D'Oliveira (2007), e os estudos de Martinhago (2012), Silva (2014b) e Silva (2015).

O planejamento de pátios considerou os seguintes critérios, os quais foram definidos no Plano Operacional Anual da UPA: os pátios devem ser alocados a uma distância de pelo menos 50 metros de APPs; devem ser localizados em terreno firme e não devem ser localizados em terrenos com declividade maior que 10%.

As áreas aptas foram identificadas com auxílio de SIG, sendo o processamento realizado no *software ArcGis® 10.3.1* (ESRI, 2015). Foi necessário gerar os seguintes mapas para a identificação das áreas aptas:

- Declividade;
- APPs;
- Zonas restritivas; e
- Indivíduos remanescentes de grande porte (DAP $\geq$  50 cm).

A base de dados espacial utilizada foi: a) Imagem SRTM, com resolução espacial de 30 m; b); arquivo *shapefile* da área da UPA 2014; b) arquivo *shapefile* das APPs; e c) arquivo *shapefile* do censo florestal da UPA.

#### a) Declividade

Para a geração do mapa de declividade, utilizou-se a imagem *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEM/ SRTM), com resolução espacial de 30 m, obtida gratuitamente do *United States Geological Survey* (USGS, 2017), a partir do site <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

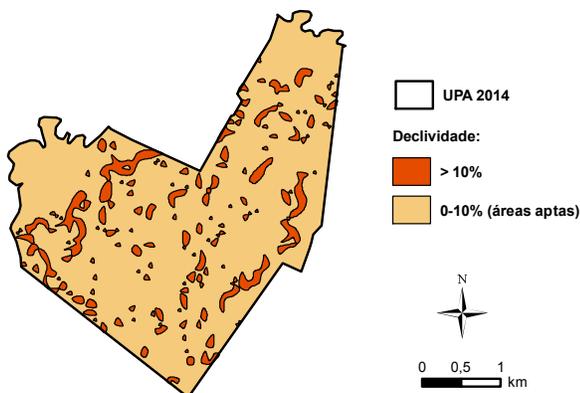
A imagem SRTM foi recortada por meio da ferramenta *Extract by mask*, utilizando um quadrante da área do entorno da UPA 2014. Em seguida, na série de ferramentas *Hidrology*, foi aplicada a opção *Fill*, a fim de preencher as inconformidades do *raster*. O mapa de declividade (%) foi gerado por meio da ferramenta *Slope*, sendo posteriormente reclassificado (função *Reclassify*) nas seguintes classes (Tabela 9):

Tabela 9 – Reclassificação da declividade.

Classe	Descrição	Declividade
0	Área apta	< 10%
1	Área restrita	$\geq$ 10%

A imagem classificada em formato *raster* foi convertida para o formato *shapefile* (vetorial), por meio da ferramenta (*Raster to polygon*) e, em seguida, realizou-se o recorte do mapa de declividade na delimitação da UPA, sendo gerado o mapa de declividade (Figura 5).

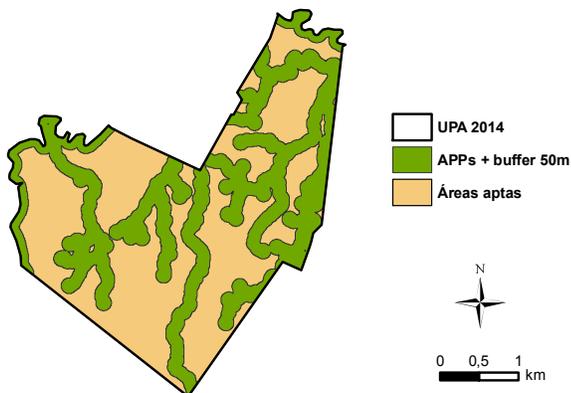
Figura 5 – Mapa de declividade.



## b) APPs

Aplicou-se um *buffer* de 50 metros a partir das APPs, em formato *shapefile*. Em seguida, foi realizado um recorte (*Clip*) no arquivo gerado, utilizando como máscara a delimitação da UPA. Os arquivos vetoriais de APPs e área da UPA foram unidos (*union*), gerando o mapa final (Figura 6).

Figura 6 – Mapa de APPs e *buffer* de 50 m.



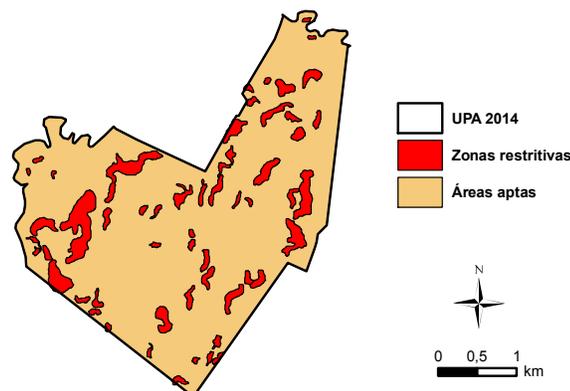
### c) Zonas restritivas

A identificação de zonas restritivas na área a ser manejada é de grande importância para o planejamento da exploração. São consideradas impróprias para construção de pátios e estradas, pois são áreas de forte declividade ou de baixa drenagem (FIGUEIREDO et al., 2007).

Seguiu-se procedimentos apresentados por Figueiredo et al. (2007): considerando uma declividade de 10% e um intervalo de 3 m entre cotas de curvas de nível, uma zona será considerada restritiva para abertura de pátios e estradas se as linhas de curvas de nível estiverem numa distância igual ou menor que 30m umas das outras. Dessa forma, como a distância horizontal (D.H.) entre curvas é de 30m, o *buffer* a ser aplicado nas curvas para localizar as zonas restritivas, deverá ser de 15m. As zonas restritivas referem-se às áreas de intersecção entre os *buffers* das curvas de nível.

As curvas de nível foram geradas tendo como base a imagem SRTM. Na série de ferramentas *Surface*, aplicou-se a opção *Contour*, adotando-se três metros como diferença de cotas das curvas de nível. Para a identificação das zonas restritivas, foi aplicado um *buffer* de 15m e, em seguida, a função *Intersect*. Por fim, realizou-se um refinamento das zonas, com a edição do arquivo *shapefile*, gerando o mapa de zonas restritivas (Figura 7).

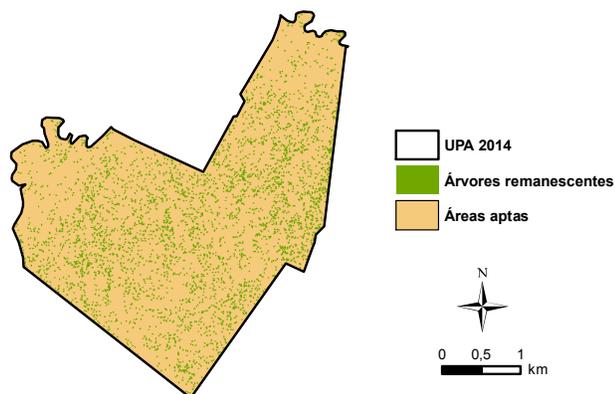
Figura 7 – Mapa de zonas restritivas.



#### d) Árvores remanescentes

A fim de evitar a alocação de pátios em locais com ocorrência de árvores remanescentes de grande porte, foram selecionadas todas as árvores não exploráveis com DAP acima de 50 cm, no arquivo *shapefile* do censo florestal da UPA, obtendo-se o arquivo *shapefile* dos indivíduos remanescentes de grande porte, totalizando 4.557 árvores. Aplicou-se um *buffer* de 10 m em cada árvore e, em seguida, a função *Dissolve*. O arquivo foi recortado na área de delimitação da UPA e, por fim, unido com o *shapefile* da área da UPA, sendo gerado o mapa final de árvores remanescentes (Figura 8).

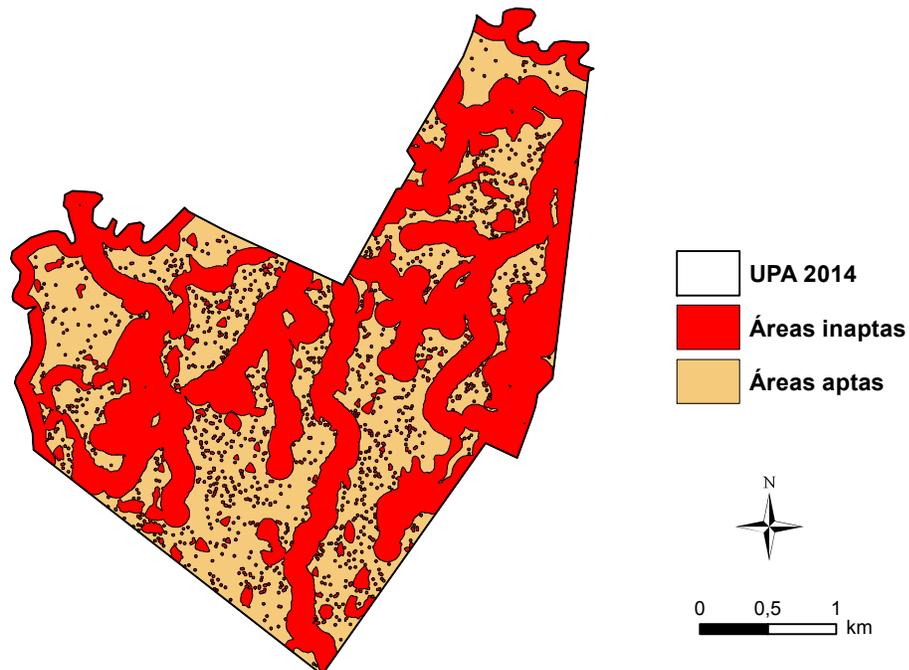
Figura 8 – Mapa de árvores remanescentes de grande porte.



##### 2.4.1.1.1 Áreas aptas

O mapa de declividade foi unido com o mapa de zonas restritivas e, em seguida, aplicou-se a função *Dissolve*. O mapa gerado foi unido com o mapa de árvores remanescentes e, posteriormente, aplicou-se a função *Dissolve*. Por fim, o mapa obtido foi unido com o mapa de APPs, sendo gerado o mapa final de áreas aptas para alocação de pátios (Figura 9).

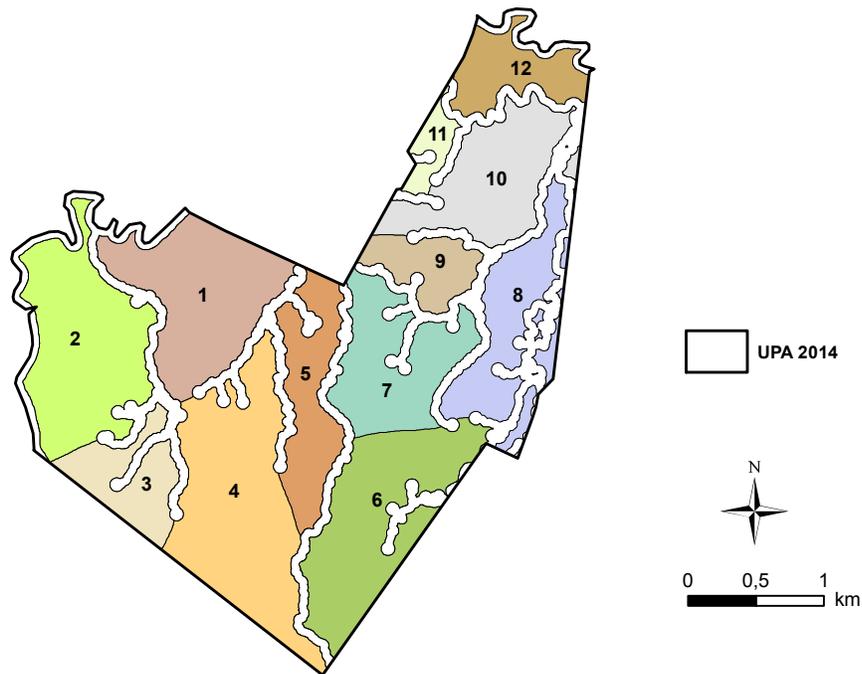
Figura 9 – Áreas aptas para alocação de pátios.



#### 2.4.1.1.2 Subdivisão da área

A fim de diminuir o esforço computacional e possibilitar a solução do modelo por meio de método exato de solução, a UPA foi dividida em 12 subáreas, tendo como orientação as APPs (Figura 10).

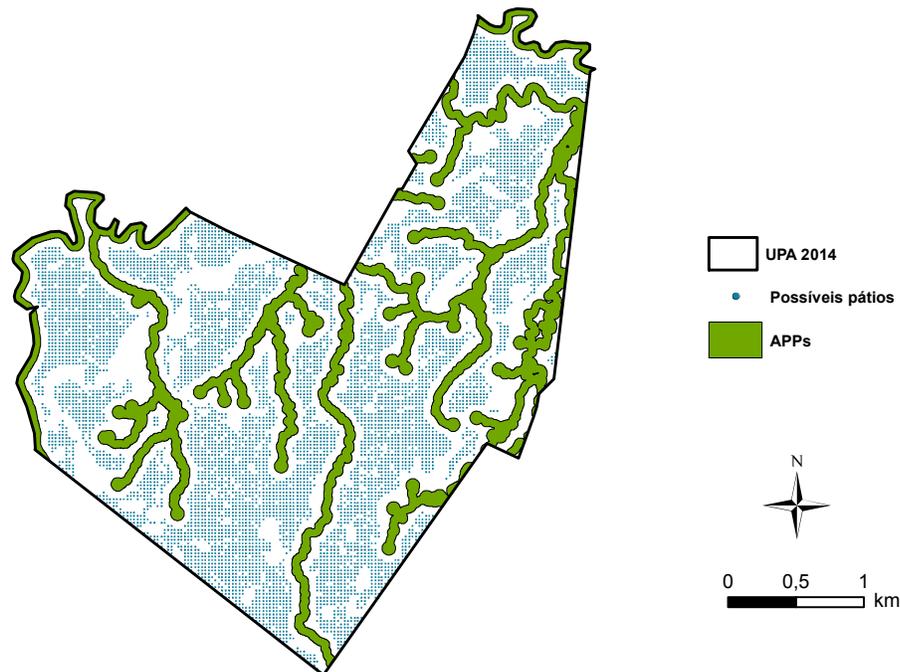
Figura 10 – Divisão da UPA em subáreas.



#### 2.4.1.1.3 Alocação de pontos de possíveis pátios

Foi gerada uma malha de grids, somente nas áreas aptas, como sendo os possíveis pontos para alocação de pátios. Para tal, utilizou-se a extensão *Hawths Tools*, opção *Sampling Tools* e, em seguida, a opção *Creat Vector Grid*. Definiu-se grids com dimensão de 25 x 25 metros. O arquivo de pontos foi recortado, utilizando como máscara o mapa de áreas aptas para a alocação de pátios. Foram contabilizadas 7.124 opções de locais para instalação dos pátios (Figura 11).

Figura 11 – Possíveis pontos para instalação de pátios.



#### 2.4.1.2 Modelo matemático para otimização da subdivisão de UPA

##### 2.4.1.2.1 Etapa 1

A formulação do modelo de otimização teve como base o problema de p-medianas capacitado (PPMC), descrito como um problema de Programação Inteira Binária (LORENA; SENNE, 2003).

O problema consiste, inicialmente, na alocação de pátios, de modo que cada pátio atenda a determinadas árvores, isto é, sejam ligados aos indivíduos exploráveis, respeitando a capacidade máxima de estocagem dos pátios, a distância máxima de arraste e minimizando a distância total da ligação árvore-pátio. A minimização da distância justifica-se pelo objetivo de minimizar a distância total de arraste das árvores exploradas até os pátios, o que está relacionada à minimização dos custos com essa atividade. Os dados de *input* necessários para o modelo foram: 1) identificação das árvores exploráveis; 2) identificação de possíveis pontos de instalação de pátios; 3) volume de cada árvore; e 4) matriz de distância euclidiana entre cada pátio e as árvores exploráveis.

A matriz de distância euclidiana foi calculada por meio do *software R* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2016). A formulação matemática do problema é descrita a seguir:

Função objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad (14)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$\sum_{j=0}^n Y_j = P \quad (16)$$

$$x_{ij} \leq Y_j, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (17)$$

$$\sum_{i=0}^n v_i x_{ij} \leq \text{vol max patio}, \forall j = 1, \dots, n \quad (18)$$

$$d_{ij} x_{ij} \leq \text{dist max patio}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (19)$$

$$x_{ij}, Y_j \in \{0, 1\}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (20)$$

Em que:  $Z$  é valor obtido do somatório das distâncias das árvores  $i$  para os pátios  $j$ ;  $i$  é a  $i$ -ésima árvore explorável;  $j$  é o  $j$ -ésimo pátio;  $x_{ij}$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se a árvore  $i$  é ligada ao pátio  $j$ , caso contrário, assume o valor 0;  $Y_j$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se o pátio  $j$  foi aberto, caso contrário, assume o valor 0;  $d_{ij}$  é a distância euclidiana da árvore  $i$  para os pátios  $j$ ;  $P$  é o número total de pátios a serem instalados;  $v_i$  é o volume da  $i$ -ésima árvore.

### Função objetivo

A função objetivo (14) busca minimizar a soma das distâncias euclidianas entre os pátios e as árvores ligadas a cada pátio.

## Restrições

a) Restrição de rota única (15): Garante que cada árvore  $i$  seja ligada apenas à um pátio  $j$ , ou seja, cada árvore irá pertencer exclusivamente a um único pátio.

b) Restrição de número de pátios (16): Estabelece o número de pátios a serem instalados na área. No modelo de p-medianas, o número de instalações deve ser definido previamente. Dessa forma, o número de pátios a serem alocados em cada subárea, foi obtido por meio da seguinte equação (21):

$$P = \frac{\text{Vol.Tot.Exp.}}{\text{Vol.Máx.Pátio}} \quad (21)$$

Em que: Vol.Tot.Exp. é o volume total das árvores exploráveis em cada subárea; Vol.Máx.Pátio é o volume máximo a ser estocado em cada pátio.

O número mínimo de pátios a ser instalado em cada subárea é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Número de pátios a serem alocados em cada subárea.

Subárea	Número de possíveis pátios	P
1	876	5
2	942	6
3	256	4
4	1480	8
5	442	4
6	982	7
7	635	5
8	322	5
9	193	2
10	570	4
11	68	2
12	358	3

c) Restrição de ligação árvore-pátio (17): garante a ligação única, ou seja, impõe que cada árvore  $i$  seja ligada a um único pátio  $j$ , se este foi aberto.

d) Restrição de capacidade máxima dos pátios (18): estabelece o limite máximo de volume destinado a cada pátio. Adotou-se um volume máximo de 544 m<sup>3</sup>.

A legislação não impõe um limite máximo de volume a ser estocado em cada pátio. Dessa forma, nesse estudo, a determinação do volume máximo considerou o volume planejado da categoria explorável, na área de efetiva exploração da UPA (29,96 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), e uma distância de arraste de 215 m.

Considerando um raio de 215 m, a área ocupada será de 145.220,12 m<sup>2</sup>, ou 14,52 ha. Se em 1 hectare é previsto uma colheita de 29,96 m<sup>3</sup>, o volume a ser colhido numa área de 14,52 ha será em torno de 435 m<sup>3</sup>. Adotou-se uma flexibilização de 25%, obtendo o valor de 543,85 m<sup>3</sup>, aproximadamente 544 m<sup>3</sup> de volume máximo a ser estocado em cada pátio.

e) Restrição de distância máxima de arraste (19): estabelece a distância máxima de arraste entre pátios e árvores exploráveis. Definiu-se uma distância máxima de 285 m.

A determinação do valor da distância máxima teve como base o estudo de Batista (2016), que encontrou melhores resultados para rentabilidade em um projeto de manejo florestal, quando se restringiu a distância máxima de arraste em até 215 metros. No presente estudo, flexibilizou-se esse valor em 32,5%, obtendo uma distância de aproximadamente 285 m.

f) Restrição binária (20): garante que as variáveis de decisão assumam valores 0 ou 1.

#### 2.4.1.2.2 Etapa 2

Após a definição de quais pátios devem ser abertos em cada subárea, a etapa seguinte consistiu no agrupamento ótimo dos pátios de estocagem, de modo a subdividir a UPA. O problema em questão consiste em como subdividir a UPA, de modo que se obtenha uma produção regular a ser colhida em dois anos consecutivos. A segunda etapa teve como base o PPMC, para o agrupamento dos pátios, a fim de subdividir a UPA e regular a produção. Os dados de *input* necessários para o modelo foram: 1) pátios de estocagem abertos; 2) possíveis locais de instalação de centros

(medianas), que se referem aos próprios pátios abertos na etapa anterior; 3) volume total de cada pátio; e 4) matriz de distância euclidiana.

A formulação matemática do problema é descrita a seguir:

Função objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad (21)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{j=0}^n Y_j = P \quad (23)$$

$$x_{ij} \leq Y_j, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (24)$$

$$\sum_{i=0}^n v_i x_{ij} \leq \frac{V}{P} \cdot (1 + i_v), \forall j = 1, \dots, n \quad (25)$$

$$\sum_{i=0}^n v_i x_{ij} \geq \frac{V}{P} \cdot (1 - i_v) \cdot Y_j, \forall j = 1, \dots, n \quad (26)$$

$$x_{ij}, Y_j \in \{0,1\}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (27)$$

Em que:  $\hat{i}$  é o  $i$ -ésimo pátio;  $\hat{j}$  é o  $j$ -ésimo pátio central de um subcompartmento (subdivisão) da UPA;  $d_{ij}$  é a distância euclidiana do pátio  $\hat{i}$  para o pátio central  $\hat{j}$  de um subcompartmento da UPA;  $P$  é o número total de subdivisões da UPA;  $x_{ij}$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se o pátio  $\hat{i}$  é ligado ao pátio central  $\hat{j}$  de um subcompartmento da UPA, caso contrário, assume o valor 0;  $Y_j$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se o pátio central  $\hat{j}$  de um subcompartmento da UPA foi aberto, caso contrário, assume o valor 0;  $v_i$  é o volume do  $i$ -ésimo pátio;  $V$  é o volume total dos pátios abertos na UPA;  $i_v$  é a taxa de variação permitida para volume.

No modelo anterior, o índice  $i$ , que se referia à cada árvore explorável, passa a ser pátio. Além disso, o índice  $j$  também é designado aos pátios, porém cada pátio passa a ser um possível ponto central de uma das subdivisões da UPA. Dessa forma, ao mesmo tempo em que os pátios são clientes, passam a ser instalações para formação dos agrupamentos.

## Função objetivo

A função objetivo (21) busca minimizar o somatório das distâncias euclidianas entre cada pátio  $i$  e o pátio central  $j$  de cada subcompartimento da UPA.

## Restrições

a) Restrição de rota única (22): Garante que cada pátio  $i$  seja ligado à apenas um pátio central  $j$  de um dos subcompartimentos, ou seja, cada pátio irá pertencer exclusivamente a um único subcompartimento.

b) Restrição de número de pátios (23): Estabelece o número de subdivisões ( $P$ ) a serem formadas na UPA, que foram de 2 subcompartimentos.

c) Restrição de ligação pátio-pátio central (24): Garante a ligação única, ou seja, impõe que cada pátio  $i$  seja ligado a um único pátio central  $j$  de um subcompartimento da UPA, se este foi aberto.

d) Restrições de regulação da produção (25 e 26): Regulam o volume explorável de cada subcompartimento, em função da taxa de variação permitida. Essa restrição garante o principal objetivo desse problema, pois permite a obtenção de compartimentos com produção semelhante.

e) Restrição binária (27): garante que as variáveis de decisão assumam valores 0 ou 1.

## Cenários de produção

Foram executados dois cenários de variação da produção de cada subdivisão:

- Cenário 1: volume variando em  $\pm 10\%$ ; e
- Cenário 2: volume variando em  $\pm 20\%$ .

### 2.4.1.2.3 Solução dos modelos

O processamento dos modelos de PLI foi realizado em um computador AMD® FX™-8350 *Eight Core Processor* CPU, 4.0GHz, com 32 GB de memória RAM. Os modelos foram codificados na linguagem *Optimization Programming Language* (OPL), sendo resolvidos no *software* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio*, versão 12.6, que utiliza o algoritmo *branch-and-cut*.

### 2.4.2 Proposta 2: Otimização da formação de UPAs a nível de árvores

A segunda proposta visa otimizar a formação das unidades de produção anual, de modo a se agrupar as árvores acima do DMC e regular a produção florestal. O modelo matemático teve como base o PPMC. Considerou-se os dados do censo florestal das UPAs 2014 e 2015, para formar novas UPAs, de forma otimizada.

A minimização da distância justifica-se pelo objetivo do agrupamento das árvores, minimizando a distância entre elas. Os dados de *input* necessários para o modelo foram: 1) identificação das árvores acima do DMC, excluindo-se as árvores das seguintes categorias: proibidas de corte; segundo ciclo; e árvores localizadas em APPs. O número total de árvores de *input* para o modelo foi de 15.966; 2) possíveis pontos centrais das UPAs, que referem-se às mesmas árvores selecionadas acima; 3) volume de cada árvore; e 4) coordenadas de localização de cada árvore, em UTM (m). A formulação matemática do problema é descrita a seguir:

Função objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ij} \quad (28)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \forall i = 1, \dots, n \quad (29)$$

$$\sum_{j=0}^n Y_j = P \quad (30)$$

$$x_{ij} \leq Y_j, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$\sum_{i=0}^n v_i x_{ij} \leq \frac{V}{P} \cdot (1 + i_v), \forall j = 1, \dots, n \quad (32)$$

$$\sum_{i=0}^n v_i x_{ij} \geq \frac{V}{P} \cdot (1 - i_v) \cdot Y_j, \forall j = 1, \dots, n \quad (33)$$

$$x_{ij}, Y_j \in \{0,1\}, \forall i, j = 1, \dots, n \quad (34)$$

Em que:  $\hat{i}$  é a  $i$ -ésima árvore;  $\hat{j}$  é a  $j$ -ésima árvore central de uma das UPAs a serem formadas;  $d_{ij}$  é a distância euclidiana da árvore  $\hat{i}$  para a árvore central  $\hat{j}$  de uma UPA;  $P$  é o número total de UPAs a serem formadas;  $x_{ij}$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se a árvore  $\hat{i}$  é ligada à árvore central  $\hat{j}$  de uma das UPAs, caso contrário, assume o valor 0;  $Y_j$  é uma variável binária, que assume o valor 1 se a árvore central  $\hat{j}$  de uma UPA foi aberta, caso contrário, assume o valor 0;  $v_i$  é o volume da  $i$ -ésima árvore;  $V$  é o volume total das árvores selecionadas;  $i_v$  é a taxa de variação permitida para volume.

### Função objetivo

A função objetivo (28) busca minimizar o somatório das distâncias euclidianas entre cada árvore  $\hat{i}$  e a árvore central  $\hat{j}$  de cada UPA.

### Restrições

a) Restrição de rota única (29): Garante que cada árvore  $\hat{i}$  seja ligada apenas à uma árvore central  $\hat{j}$  de cada UPA, ou seja, cada árvore irá pertencer exclusivamente a uma única UPA.

b) Restrição de número de UPAs (30): Estabelece o número de UPAs ( $P$ ) a serem formadas.

c) Restrição de ligação árvore-árvore central (31): Garante a ligação única, ou seja, impõe que cada árvore  $\hat{i}$  seja ligada a uma única árvore central  $\hat{j}$ , se essa instalação (mediana) foi aberta.

d) Restrições de regulação da produção (32 e 33): Regulam o volume total acima do DMC de cada UPA, em função da taxa de variação permitida. Essa restrição garante

o principal objetivo desse problema, pois permite a formação de UPAs com produção semelhante.

e) Restrição binária (34): garante que as variáveis de decisão assumam valores 0 ou 1.

### **Cenários de produção**

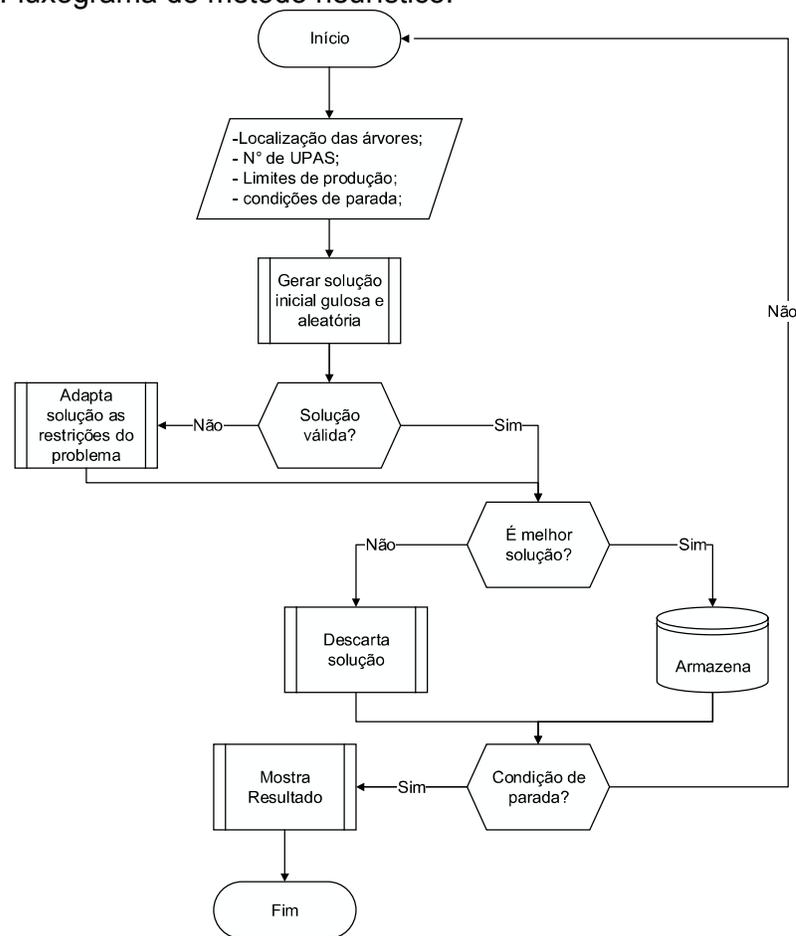
Foram definidos dois cenários para formação das UPAs, em função da regulação do volume:

- Cenário 1: volume variando em  $\pm 10\%$ ; e
- Cenário 2: volume variando em  $\pm 20\%$ .

#### **2.4.2.1 Solução do modelo proposto**

Por se tratar de um modelo de grande porte, o segundo modelo foi solucionado por meio de método aproximativo (heurístico), utilizando um algoritmo de estratégia gulosa. O fluxograma do método é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma do método heurístico.



Sua implementação é dividida em duas fases e executadas de forma consecutiva. Inicialmente a heurística calcula as distâncias euclidianas entre todas as árvores. Em seguida, respeitando a quantidade de UPAs a serem formadas, seleciona-se aleatoriamente as coordenadas nas quais seriam alocados os pontos centrais de cada UPA. Após, formam-se as UPAs pelo agrupamento das árvores exploráveis com menor distância entre elas e os respectivos pontos centrais selecionados, isto é, as árvores centro de cada UPA. Os indivíduos são agrupados de forma gulosa àquela respectiva UPA, ou seja, de forma a obter os melhores resultados imediatos possíveis, cuja distância encontrada da árvore até o ponto central da UPA seja a menor possível.

A segunda fase de execução da heurística é responsável pela verificação da viabilidade da solução. A solução inicialmente encontrada é considerada viável se satisfizer a todas as restrições impostas pelo modelo matemático e inviável caso viole pelo menos uma das restrições. Dessa forma, se a solução for viável, verifica-se em

seguida, dentre todas as outras soluções geradas pela heurística em execuções anteriores, se esta foi a melhor solução encontrada para o problema. Caso afirmativo, a solução é armazenada. Caso contrário, ela é descartada. A melhor solução é a que minimiza a função objetivo do modelo matemático, ou seja, aquela tenha a menor distância média entre cada árvore e a árvore centro. Se for uma solução inviável, iterativamente são efetuadas trocas nos agrupamentos de forma a permitir que a solução se adapte às restrições do modelo. Essas adaptações se referem a um rearranjo na formação das UPAs, embora todas elas permaneçam com os mesmos pontos centrais. Ao final, ao produzir uma solução viável, esta é comparada com as demais já geradas verificando se foi o melhor resultado encontrado. Em caso afirmativo, a solução é armazenada. Caso contrário, a solução é simplesmente descartada.

A condição de parada do método heurístico refere-se ao número de vezes que este deve ser executado, gerando uma solução viável em cada iteração. Após atingir a condição de parada, a heurística proposta apresenta como saída a melhor solução encontrada para o problema. O critério de parada adotado foi de 10.000 iterações, para cada cenário de produção.

Cada cenário foi executado 60 vezes. Foram calculadas as estatísticas descritivas (média, mínimo, máximo e coeficiente de variação) das soluções de cada cenário, a fim de analisar a variação dos valores da função objetivo do método aproximado. Selecionou-se a solução de menor variação da produção, para posterior delimitação de UPAs.

#### 2.4.2.2 Delimitação das UPAs

Tendo sido realizado o agrupamento das árvores, delimitou-se as áreas das UPAs, e posterior confecção de mapas, por meio do *software ArcGis® 10.3.1* (ESRI, 2015).

#### 2.4.2.3 Critérios de manutenção de árvores por espécie

Após o agrupamento das árvores acima do DMC e formação das UPAs, foi necessário aplicar critérios estabelecidos pela legislação voltada ao MFS na Amazônia, para manutenção de árvores de cada espécie (raras e porta-sementes).

Foram aplicados critérios da IN/MMA nº 01/2015 (BRASIL, 2015), para todas as espécies, que estabelecem:

- Manutenção de todas as árvores das espécies cuja abundância seja igual ou inferior a 4 árvores por 100 hectares de área efetiva exploração da UPA;

- Manutenção de pelo menos 15% do número de árvores por espécie, na área de efetiva exploração da UPA, respeitando-se o mínimo de 4 árvores por espécie por 100 ha.

#### 2.4.2.4 Critérios de intensidade máxima de corte

Após atender os critérios de manutenção de espécies raras e árvores porta-sementes, foram selecionadas outras árvores para a categoria de porta-sementes, a fim de diminuir o volume explorável, respeitando-se a intensidade máxima de corte exigida na Resolução do Conama nº 406/2009 (BRASIL, 2009).

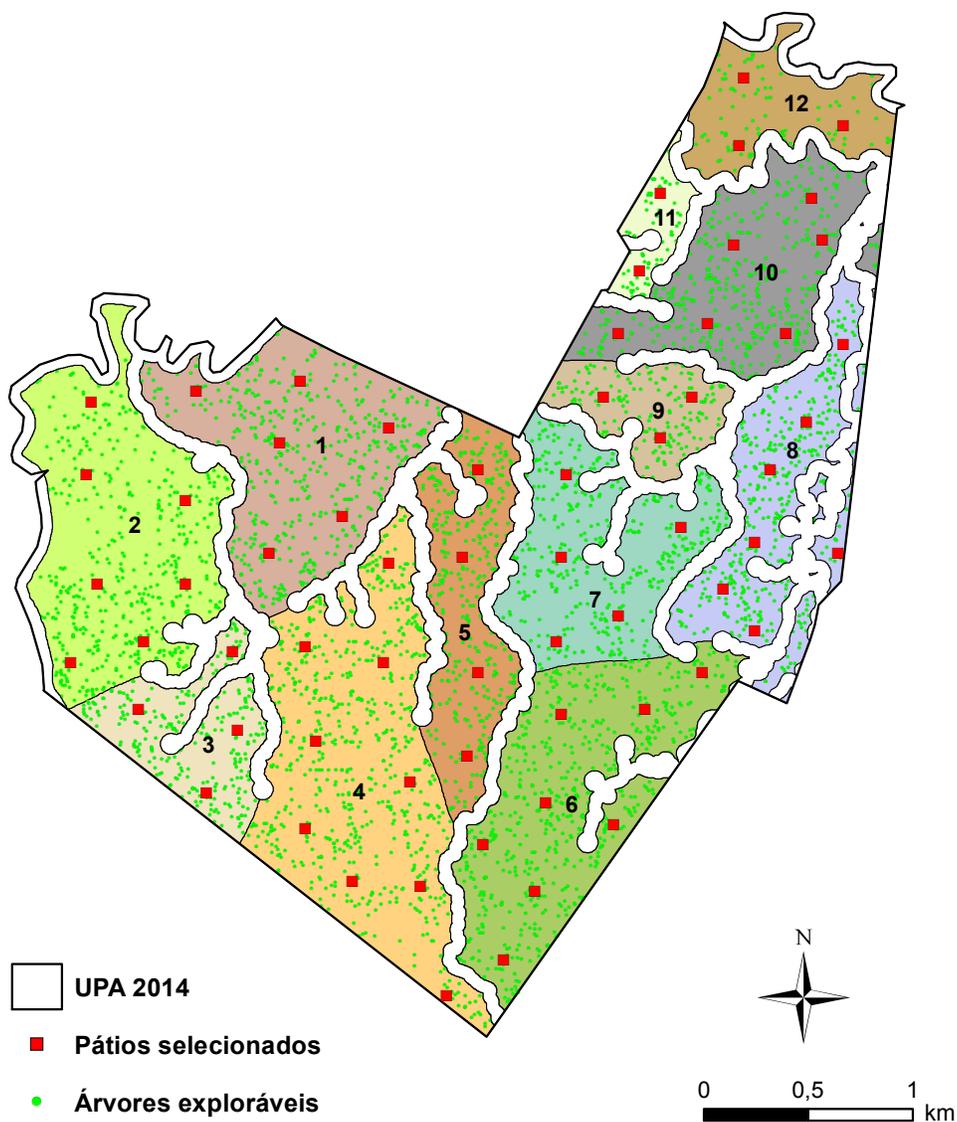
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propostas de otimização de subdivisão e formação de UPAs em áreas de MFS

##### 3.1.1 Proposta 1: Otimização da subdivisão de UPA por meio do agrupamento de pátios de estocagem

Os locais abertos para instalação de pátios de estocagem, em cada subárea da UPA 2014, são apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Instalações (pátios) abertas por meio do modelo de p-medianas.



Dentre os 7.124 possíveis locais para a alocação de pátios, foram abertos 64 pátios, visando atender os clientes (árvores), de modo que não excedesse a capacidade máxima de cada pátio e a distância máxima de arraste.

De acordo com informações contidas no POA da UPA 2014, o volume a ser estocado nos pátios varia em função do tipo de sistema de transporte das toras. No sistema tradicional, um pátio recebe em média 350 metros cúbicos de madeira em tora. No sistema paralelo, o volume estocado excede esse valor, pois o transporte é executado paralelamente ao arraste das toras, não estocando-se no pátio todas as árvores exploradas ao mesmo tempo. O volume dos pátios planejados e executados no POA da UPA, variou de 151,83 m<sup>3</sup> a 861,22 m<sup>3</sup>. Nesse estudo, inseriu-se uma restrição de capacidade máxima de volume em cada pátio. Essa restrição é interessante para o planejamento da exploração pois contribui para a diminuição dos danos ambientais decorrentes do arraste das toras. Considerando que um determinado pátio irá receber uma grande quantidade de volume de toras, o arraste nas trilhas será mais intensificado, devido ao aumento de viagens do *skidder* durante o arraste das toras ao pátio. Dessa forma, a inserção dessa restrição é importante, tanto para a distribuição equilibrada da produção nos pátios abertos, quanto para a otimização da exploração de impacto reduzido.

Em relação a restrição máxima de arraste adotada (285 m), esta foi inferior às utilizadas nos estudos de Silva (2015), Martinhago (2012), e Silva (2014b), que foram 343,20 m, 350 m, e 400 m, respectivamente. O arraste é uma das atividades que acarreta em maiores custos durante a exploração em uma área de manejo florestal na Amazônia, como apresentado no estudo de Holmes et al. (2012). O objetivo desse trabalho não se concentrou na otimização do arraste, porém, adotou uma restrição que possibilita a diminuição da distância total de arraste, o que irá influenciar diretamente nos custos da extração. Em estudos posteriores, é importante que seja realizado o planejamento das trilhas de arraste, a fim de comparar com o do POA executado. De acordo com Thaines (2013), o arraste é responsável por gerar o maior impacto no manejo florestal, nos aspectos ambiental e financeiro.

O número de pátios previstos no Plano Operacional Anual da UPA foi de 54 pátios, evidenciando um aumento no número de pátios alocados pelo modelo de otimização. Esse aumento deve-se às restrições impostas ao modelo, de capacidade máxima de cada pátio e, principalmente, restrição de distância máxima de arraste. Considera-se essa restrição como a mais limitante na resolução do modelo,

inviabilizando a solução pelo método exato, para algumas subáreas (Tabela 11). A limitação está relacionada ao fato de que, em uma floresta nativa, as árvores estão distribuídas de maneira heterogênea. Dessa forma, ao adotar uma distância máxima de 285 m, a busca por uma solução que atenda à essa restrição é dificultada, pois o agrupamento de árvores-pátio é diretamente afetado pela distribuição dessas árvores, uma vez que a localização de determinada árvore pode ultrapassar a distância máxima permitida, em relação ao pátio mais próximo.

Como alternativa, aumentou-se o número de pátios a serem abertos (P) em algumas subáreas, de modo a viabilizar a solução do modelo (Tabela 11). O aumento de P facilita o agrupamento, aumentando-se as opções de ligação das árvores-pátios. Sabe-se que a abertura de um pátio aumenta os custos com essa atividade. Entretanto, esse custo pode ser compensado, pois a diminuição da distância de arraste acarreta em menores custos com essa atividade, considerada como uma das mais onerosas da extração florestal, como citado anteriormente.

É importante citar que, na execução da solução da subárea 2, encontrou-se um problema na resolução da instância, que inviabilizou a solução, mesmo aumentando-se o número de pátios. O problema consistia na localização de 7 árvores, que se encontravam fora do limite máximo de distância ao ponto apto mais próximo para abertura de pátio. Assim, como foi adotada uma distância de 285 m, e essas árvores encontravam-se a uma distância que ultrapassava esse valor, decidiu-se por retirar esses indivíduos dos dados de *input* do modelo, de modo que o modelo pudesse atender a essa restrição.

Tabela 11 – Resultados da viabilidade da solução, por meio do método exato, em relação a alteração no número de pátios a serem abertos (P).

(Continua)

Subárea	P	Solução
1	5	Inviável
	6	Viável
2	6	Inviável
	7	Viável
3	4	Viável
4	8	Inviável
	9	Viável
5	4	Viável

Tabela 11 – Resultados da viabilidade da solução, por meio do método exato, em relação a alteração no número de pátios a serem abertos (P).

(Continuação)

Subárea	P	Solução
6	7	Inviável
	8	Viável
7	4	Inviável
	5	Viável
8	5	Inviável
	6	Inviável
	7	Viável
9	2	Inviável
	3	Viável
10	4	Inviável
	5	Inviável
	6	Viável
11	2	Viável
12	3	Viável

O processamento do modelo de PLI, por meio do método exato (algoritmo *branch-and-cut*), variou em função da complexidade do problema em cada subárea (Tabela 12). As subáreas 4, 6 e 2 apresentaram maior número de variáveis de decisão, assim como maior número de restrições. Em contrapartida, a subárea 1 apresentou maior tempo de solução, seguida das subáreas 10 e 4. Os modelos que apresentaram menor número de variáveis e número de restrições, foram os das subáreas 11 e 12, assim como menores tempo de solução e valor da função objetivo. A complexidade computacional foi menor nessas subáreas, devido apresentarem um número menor de árvores (Tabela 13).

Tabela 12 – Resultados do processamento da modelagem matemática.

(Continua)

Subárea	P	Nº de variáveis	Nº de restrições	T (s)	F.O. (m)
1	6	404.712	809.010	544,04	73.138
2	7	436.147	871.813	48,24	66.167
3	4	68.865	137.741	9,04	38.385
4	9	996.041	1.991.273	246,1	106.618
5	4	142.767	285.413	19,99	49.916

Tabela 12 – Resultados do processamento da modelagem matemática.

(Continuação)					
Subárea	P	Nº de variáveis	Nº de restrições	T (s)	F.O. (m)
6	8	561.705	1.122.998	75,88	81.522
7	5	233.681	467.093	24,16	55.857
8	7	129.767	259.613	17,31	53.164
9	3	33.004	65.984	5,2	20.348
10	6	213.751	427.305	249,93	55.024
11	2	4.829	9.659	0,82	7.087
12	3	32.579	64.889	3,65	11.403

Em que: P: Número de pátios; T: tempo de solução; F.O.: valor da função objetivo.

O número de árvores e o volume destinado a cada pátio, decorrente do agrupamento das árvores-pátios, são apresentados na Tabela 13. A subárea 4 apresentou maior número de pátios abertos, bem como maior número de árvores e volume total. O volume dos pátios variou de 117,48 m<sup>3</sup> a 543,87 m<sup>3</sup>, com um volume médio de 396,8 m<sup>3</sup>. O volume total das subáreas variou de 393,9 a 3.751,6 m<sup>3</sup>. Salienta-se que essa variação é decorrente do tamanho de cada subárea, distribuição e número de árvores exploráveis.

Tabela 13 – Resultados dos pátios abertos em cada subárea, número de árvores ligadas a cada pátio e volume total de cada pátio.

(Continua)			
Subárea	Pátios	Número de árvores	Volume (m <sup>3</sup> )
1	P113	65	379,0415
	P165	48	294,5601
	P400	93	543,149
	P448	92	541,785
	P705	69	368,7049
	P800	94	512,6373
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>461</b>	<b>2.639,8778</b>
2	P46	49	300,5697
	P293	59	426,9393
	P436	66	402,2060
	P689	74	523,5465
	P693	61	387,7835
	P864	74	427,7897
	P894	79	467,0366
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>462</b>	<b>2.935,8713</b>

Tabela 13 – Resultados dos pátios abertos em cada subárea, número de árvores ligadas a cada pátio e volume total de cada pátio.

(Continuação)

Subárea	Pátios	Número de árvores	Volume (m <sup>3</sup> )
3	P6	35	216,2041
	P48	94	541,2993
	P106	60	310,7597
	P213	79	469,7345
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>268</b>	<b>1.537,9976</b>
4	P9	58	339,1844
	P111	92	511,359
	P182	101	508,4332
	P469	86	543,8721
	P682	95	489,8189
	P920	93	489,1085
	P1186	59	313,3648
	P1219	59	379,6392
P1461	29	176,8603	
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>672</b>	<b>3.751,6404</b>
5	P42	83	534,1523
	P125	97	536,1810
	P248	84	543,7160
	P399	58	352,0700
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>322</b>	<b>1.966,1193</b>
6	P67	38	272,8606
	P246	84	532,0976
	P256	93	534,7167
	P489	83	543,7458
	P551	66	461,1092
	P604	64	460,5715
	P795	79	501,6959
	P939	64	440,517
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>571</b>	<b>3.747,3143</b>
7	P39	86	523,4044
	P150	87	496,432
	P248	79	480,2343
	P469	78	405,1716
	P550	37	211,7919
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>367</b>	<b>2.117,0342</b>

Tabela 13 – Resultados dos pátios abertos em cada subárea, número de árvores ligadas a cada pátio e volume total de cada pátio.

(Continuação)

Subárea	Pátios	Número de árvores	Volume (m <sup>3</sup> )
<b>8</b>	P14	41	358,2989
	P107	78	489,2073
	P183	80	443,8162
	P216	60	383,2527
	P223	16	117,4754
	P248	72	396,3149
	P322	55	343,1169
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>402</b>	<b>2.531,4823</b>
<b>9</b>	P95	60	326,3829
	P110	53	333,1799
	P185	57	351,0524
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>170</b>	<b>1.010,6152</b>
<b>10</b>	P32	46	325,6072
	P164	37	237,7729
	P171	82	472,1447
	P432	85	469,031
	P470	38	178,8609
	P494	86	517,7587
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>374</b>	<b>2.201,1754</b>
<b>11</b>	P16	33	176,8337
	P61	37	217,0681
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>70</b>	<b>393,9018</b>
<b>12</b>	P47	33	191,0479
	P272	21	146,4977
	P339	36	227,756
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>90</b>	<b>565,3016</b>

As subdivisões otimizadas da UPA 2014 por meio do agrupamento dos pátios, para os dois cenários de produção, são apresentadas nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

A modelagem da segunda etapa resultou em uma menor complexidade computacional em comparação à primeira etapa, devido às variáveis de decisão se referirem aos pátios de estocagem, possibilitando a resolução em menor tempo (Tabela 14). O segundo cenário apresentou menor tempo de solução devido a maior flexibilização de variação do volume.

É importante ressaltar que, a variação de volume nos pátios, em decorrência da heterogeneidade da produção ao longo da área, diminui as opções para formação dos grupos. A redução de opções no agrupamento poderia ter sido uma limitação à resolução do modelo, inviabilizando a solução para o atendimento das restrições de regulação.

Tabela 14 – Resultados do processamento da etapa 2.

CENÁRIO	P	Nº de variáveis	Nº de restrições	T (s)	F.O. (m)
1	2	4.161	4.289	1,25	60.924
2	2	4.161	4.289	0,93	60.161

Em que: **P**: Número de subdivisões; **T**: tempo de solução; **F.O.**: valor da função objetivo.

Nas Figuras 14 e 15, pode-se notar os agrupamentos formados a partir do modelo de p-medianas. O problema de p-medianas é um dos problemas de alocação de instalações mais conhecidos (DOMÍNGUEZ; MUÑOZ, 2008), em que, ao mesmo tempo que permite a instalação de unidades, para atender determinados clientes, possibilita a formação de *clusters*, minimizando alguma variável de interesse, como por exemplo, a distância entre instalação-cliente.

Em relação aos dois cenários de produção, houve pequena variação no agrupamento dos compartimentos (subdivisões) da UPA. A diferença foi de apenas 2 pátios (P33 e P35), agrupados na UPA 2014-1 para o primeiro cenário, que, quando aumentada a flexibilização do volume, foram alocados na UPA 2014-2 para o segundo cenário.

Nesse modelo de planejamento, adotando-se métodos de pesquisa operacional, especificamente modelos de PLI, a exploração da produção de uma UPA, em um período de dois anos, torna-se otimizada. O proprietário, dono de serraria ou o tomador de decisão responsável, dispõe de uma proposta que pode ser adaptada para diferentes cenários. O gerenciador pode adotar outros valores para as restrições de capacidade máxima do pátio e distância máxima de arraste, de acordo com seus objetivos. Essa proposta é útil, pois nem sempre é possível a exploração de toda a UPA no ano planejado. Como exemplos, pode-se citar casos em que não há mercado disponível para a produção total em determinado ano, ou quando a serraria não dispõe de capital suficiente para explorar a área total.

Além disso, a proposta realiza a alocação dos pátios de maneira ótima, proporcionando a redução de impactos ambientais indesejáveis. De acordo com

Figueiredo et al. (2007), os pátios de estocagem devem estar distribuídos de maneira otimizada, facilitando o arraste, evitando maiores danos a floresta, bem como custos desnecessários. Os autores mencionam ainda que o local deve ser plano e fora das zonas restritivas, com poucas árvores de grande porte, a fim de evitar a modificação drástica da estrutura da floresta, bem drenado e quando possível originário de clareira natural.

Figura 14 – Subdivisão da UPA 2014 para o cenário 1.

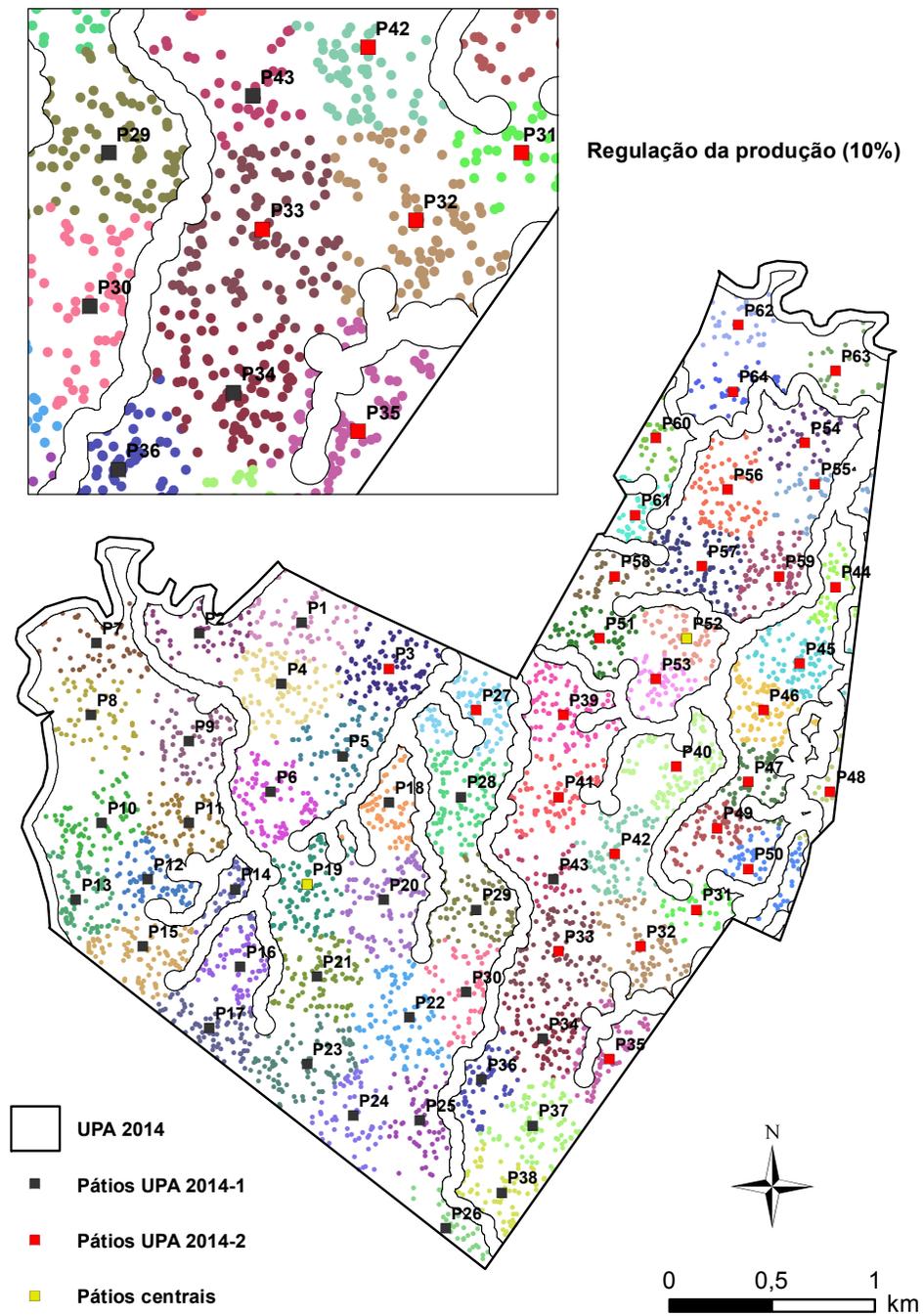
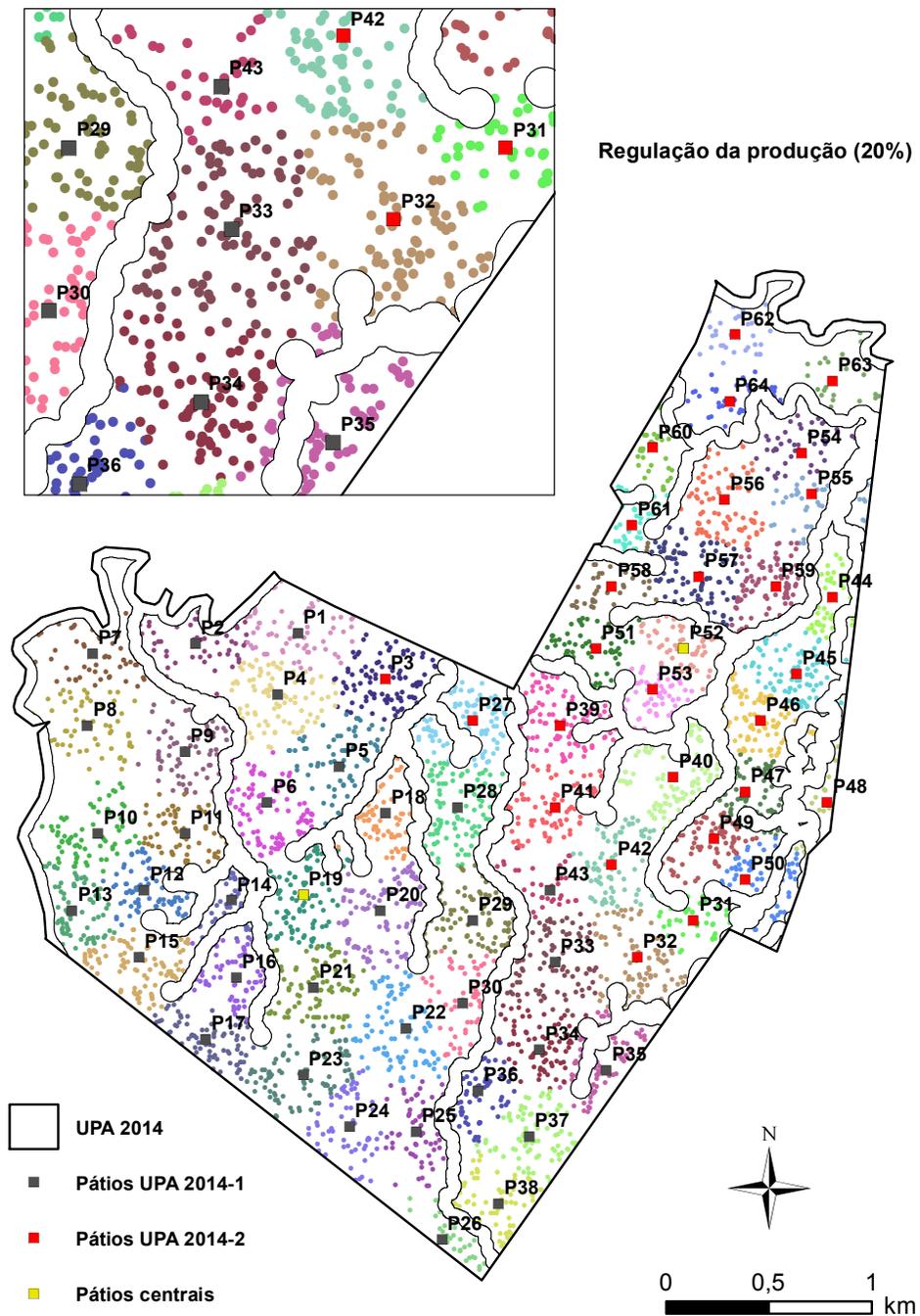


Figura 15 – Subdivisão da UPA 2014 para o cenário 2.



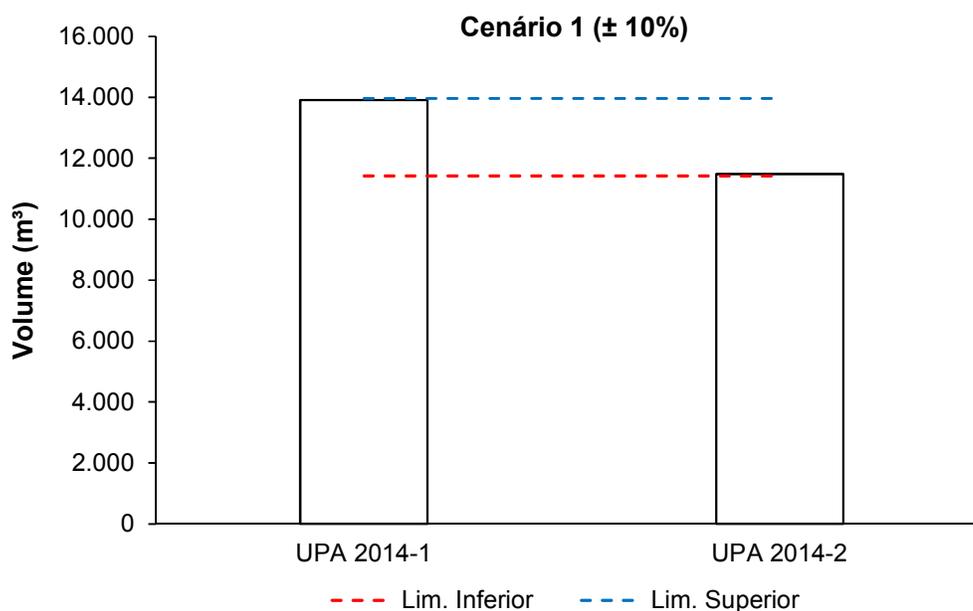
A produção em cada compartimento da UPA otimizada, para o cenário de regulação em mais ou menos 10%, é apresentada na Tabela 15. A produção foi regulada variando em mais (limite máximo) ou menos (limite mínimo) 9,6%.

Tabela 15 – Produção de cada compartimento da UPA no cenário 1.

	UPA 2014 (POA)	UPA 2014-1	UPA 2014-2
Nº de pátios	64	33	31
Número de indivíduos	4.237	2.336	1.893
Volume (m <sup>3</sup> )	25.398,33	13.912,53	11.485,80

Na Figura 16, observa-se que a produção ficou próxima dos limites permitidos. Como citado anteriormente, o agrupamento é limitado devido a diminuição de opções para formação dos grupos. Entretanto, obteve-se solução viável para uma regulação em  $\pm 10\%$ , formando compartimentos de produção regular.

Figura 16 – Produção de cada subcompartimento (cenário 1).



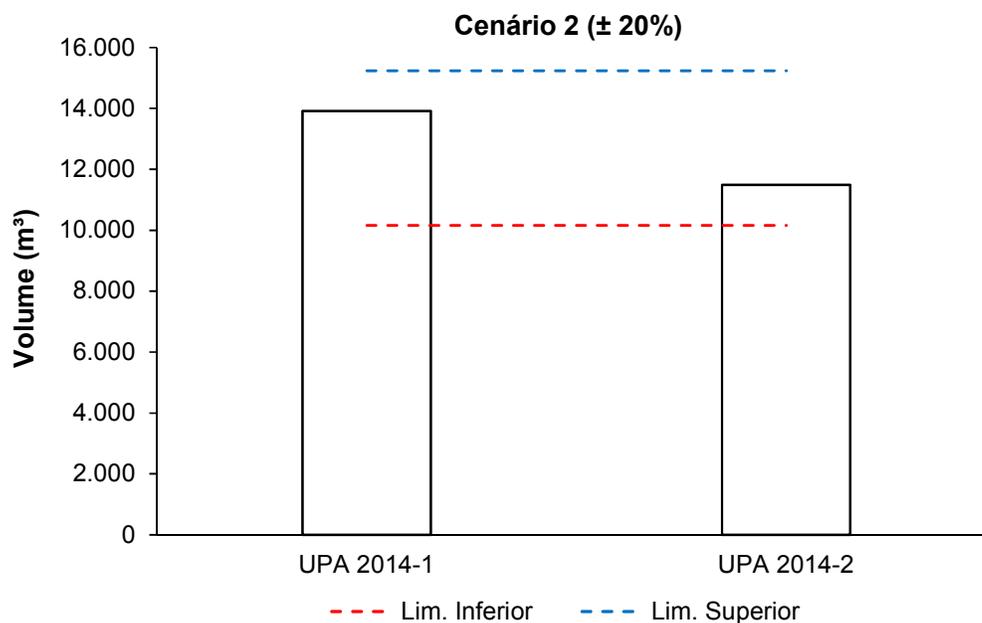
Na Tabela 16 é apresentada a produção em cada compartimento para o cenário de regulação em mais ou menos 20%. Nota-se que a produção variou em mais ou menos 17,4%.

Tabela 16 – Produção de cada compartimento da UPA no cenário 2.

	UPA 2014 (POA)	UPA 2014-1	UPA 2014-2
Nº de pátios	64	35	29
Número de indivíduos	4.237	2495	1734
Volume (m <sup>3</sup> )	25.398,33	14.908,35	10.489,98

Na Figura 17, observa-se que a produção teve uma maior flexibilização em relação aos limites mínimo e máximo. Considera-se que o resultado foi eficiente, pois não chegou a atingir a variação de 20%. Entretanto, com relação à colheita da madeira, não é interessante que a produção varie cerca de 18%, pois afeta diretamente a demanda e processo de produção da indústria. Porém, o objetivo da execução desse cenário foi evidenciar que o modelo proposto é válido e pode ser executado para diferentes cenários de produção.

Figura 17 – Produção de cada subcompartimento (cenário 2).



### 3.1.2 Proposta 2: Otimização da formação de UPAs a nível de árvores

A segunda proposta é voltada à formação de UPAs, diferente da primeira, que visa a otimização de uma única UPA. Não foram encontrados trabalhos na literatura que aplicaram o modelo de p-medianas para a formação otimizada de Unidades de Produção Anual. Trata-se de uma abordagem prática, que forma UPAs pelo agrupamento das árvores comerciais acima do DMC, regulando a produção ao longo do horizonte de planejamento.

As estatísticas descritivas dos valores médios das soluções das 60 execuções do método heurístico, para o cenário 1, são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo dos valores das soluções do método heurístico, para o cenário 1.

Cenário 1	F.O. <sub>m</sub> (m)			
	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
	1.450,88	1.458,49	1.480,23	0,38

F.O.<sub>m</sub> – Valor da função objetivo, correspondente à distância média total, em metros, entre cada árvore, e o ponto central da UPA a qual está ligada.

O coeficiente de variação dos valores da função objetivo, das 60 execuções, demonstra baixa variação em torno da média dos valores da F.O. A baixa variação indica que o método encontrou soluções em um ótimo local.

As estatísticas descritivas para os valores de tempo de execução do método são apresentadas na Tabela 18. Os resultados para o tempo de execução apresentaram baixa variação.

Tabela 18 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo do tempo de solução as execuções da heurística, para o cenário 1.

Cenário 1	T (s)			
	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
	12,0	12,15	16,0	6,03

T (s) – Tempo de execução do método aproximado, em segundos.

Dentre as soluções das 60 execuções, a solução de número 26 foi a que obteve menor variação da produção para o cenário 1, sendo selecionada para o planejamento da produção das Unidades de Produção Anual. Os resultados das UPAs formadas são apresentados na Tabela 19. As árvores centrais, ou medianas, referem-se às instalações abertas de modo a atender a produção de cada UPA formada. Nota-se que as UPAs apresentam áreas totais e áreas de efetiva exploração de tamanho semelhantes, bem como número de árvores semelhante.

Tabela 19 – Ponto central, áreas total e de efetiva exploração, e número de indivíduos dos agrupamentos da melhor solução do método aproximado, para o cenário 1.

UPA	Árvore central	Área total (ha)	Área efetiva (ha)	Número de árvores	Volume total acima do DMC (m <sup>3</sup> )
UPA 1	A_4564	1.276,13	1.028,78	7.995	40.981,00
UPA 2	A_10750	1.236,36	990,64	7.971	40.868,76

Observa-se, na Figura 18, que o volume total apresentou uma variação muito baixa, de mais (limite máximo) ou menos (limite mínimo) 0,14%. Entretanto, nessa formação, as árvores agrupadas não se referem às árvores aptas de corte. O agrupamento otimizado das UPAs pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 18 – Produção acima do DMC para as UPAs formadas (cenário 1).

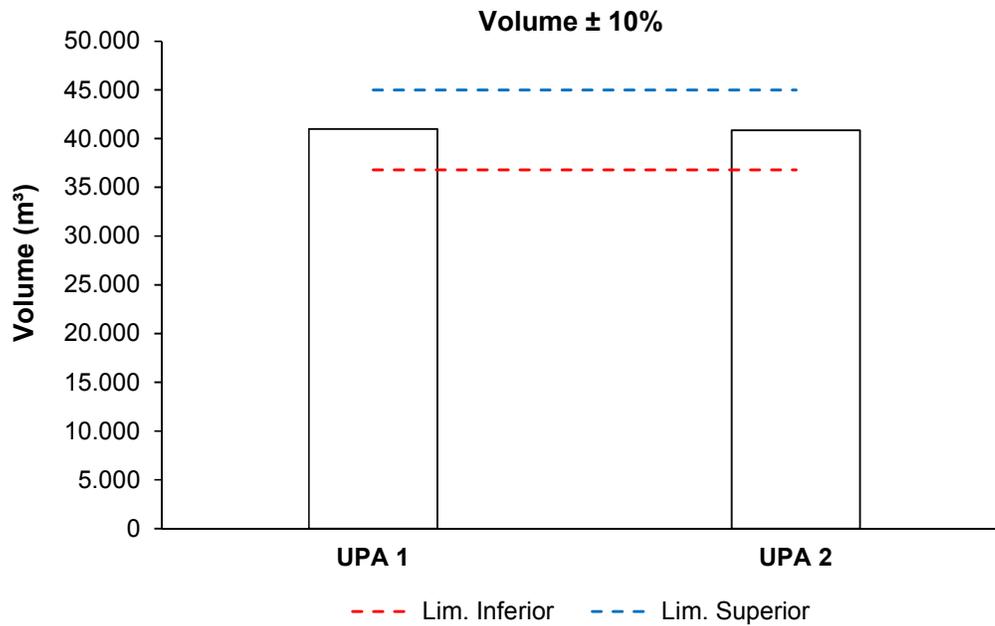
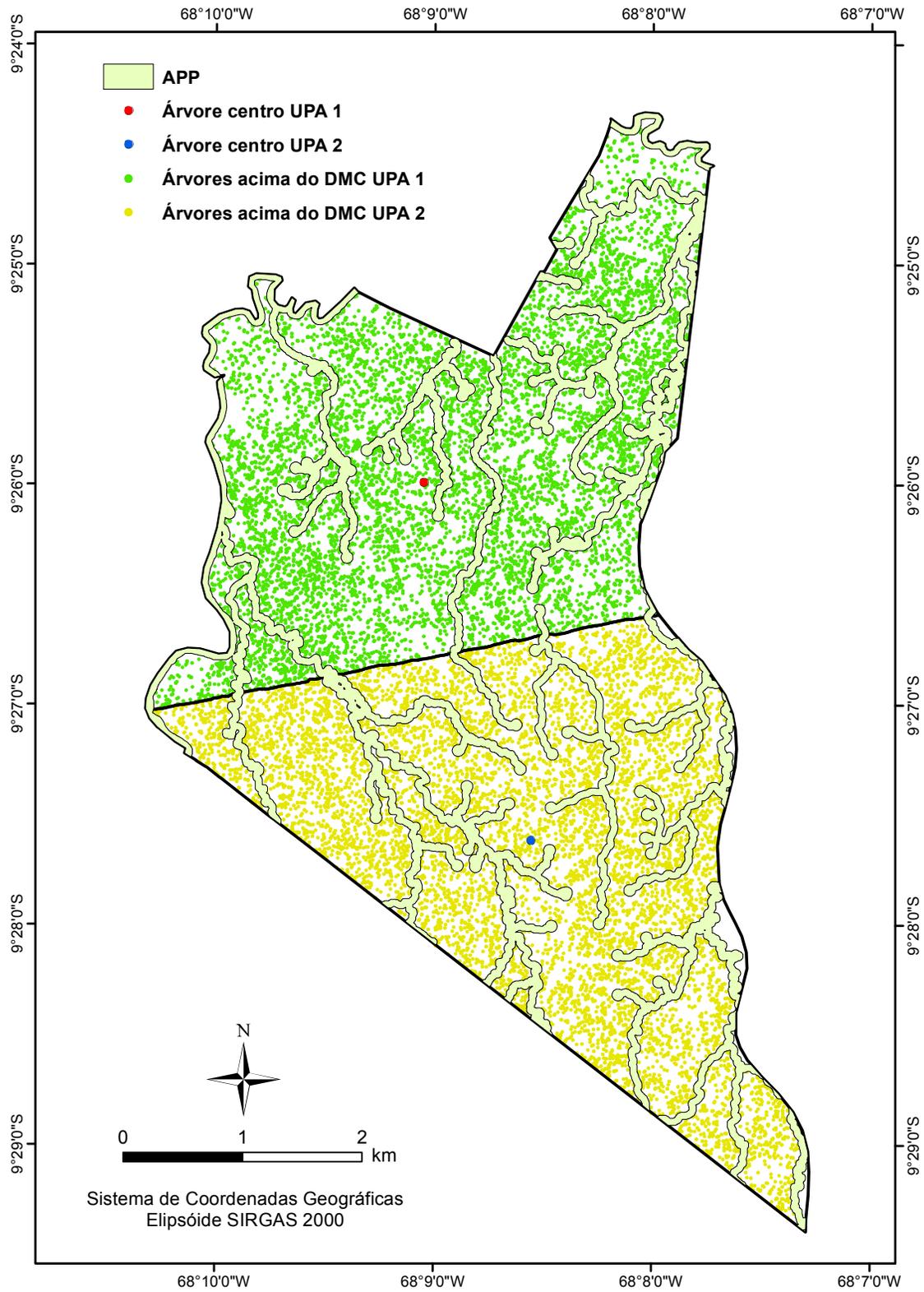


Figura 19 – Formação otimizada de UPAs (cenário 1).



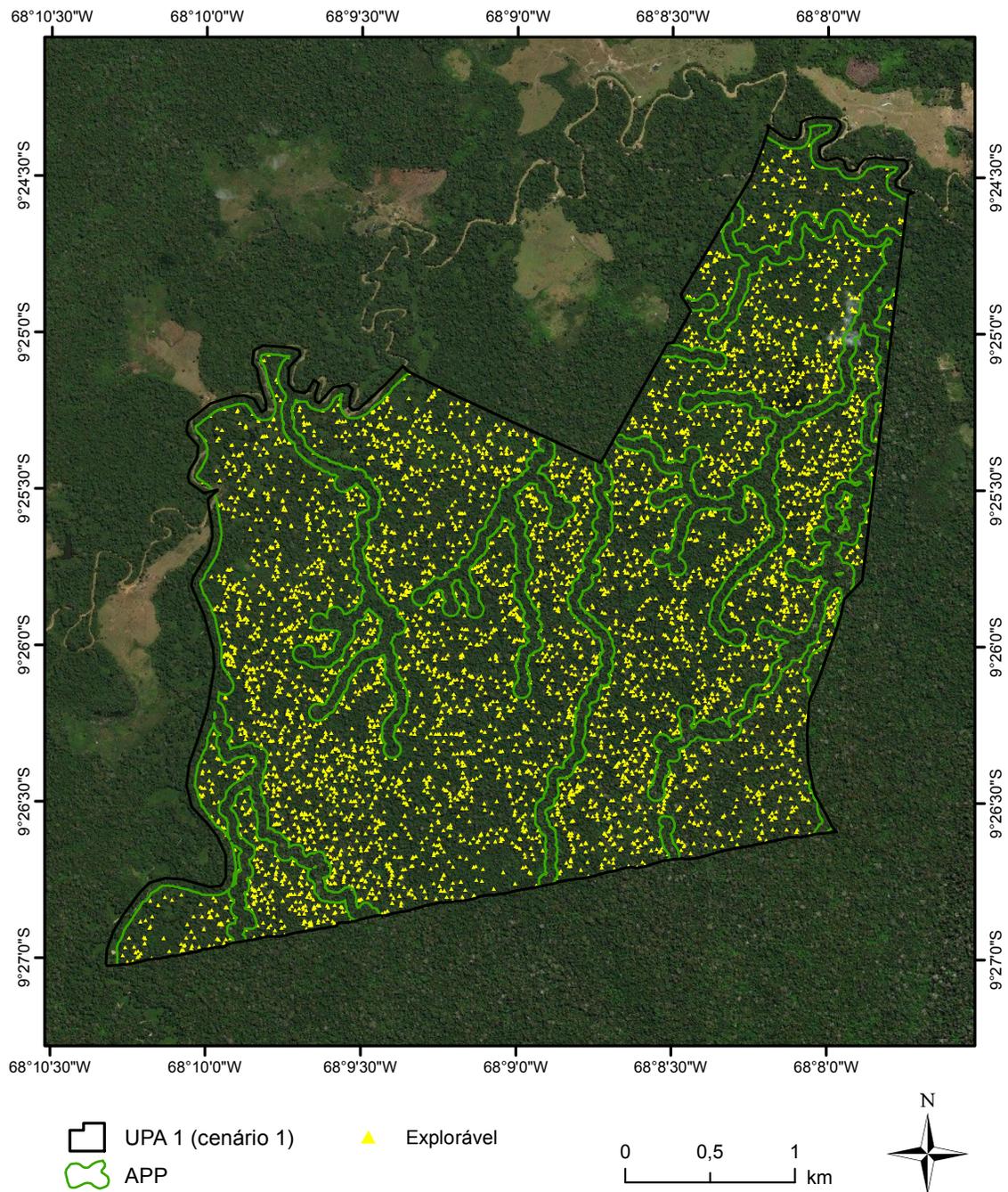
Após a formação das UPAs e posterior aplicação dos critérios da legislação do MFS para manutenção de árvores por espécie e intensidade máxima de corte, houve uma diminuição de 3.020 árvores para a UPA 1 (Tabela 20), em relação ao agrupamento formado. A produção explorável planejada para a UPA 1 totalizou 30.861,03 m<sup>3</sup>.

Tabela 20 – Produção planejada para a UPA 1, cenário 1: Espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.

Nome Científico	Nome Vulgar	N	Volume total	Volume/ha (área efetiva)
<i>Agonandra brasiliensis</i>	Pau marfim	10	108,6006	0,1056
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira / Cumaru de cheiro	64	466,4613	0,4534
<i>Ampelocera ruizii</i>	Cinzeiro (cafezinho)	80	374,5997	0,3641
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Garapa	577	3846,46	3,7389
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Amarelão	47	229,0751	0,2227
<i>Astronium lecointei</i>	Aroeira ou Maracatiara	56	298,454	0,2901
<i>Brosimum alicastrum subsp. bolivarense</i>	Manitê	202	1105,861	1,0749
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Mulateiro	22	203,6057	0,1979
<i>Cassia fastuosa</i>	Bajão	47	256,8844	0,2497
<i>Castilla ulei</i>	Caucho (amarelo)	310	1220,144	1,1860
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro (vermelho, rosa)	126	687,3258	0,6681
<i>Ceiba pentandra</i>	Samaúma (branca)	100	1251,085	1,2161
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba / Oiticica	129	567,0474	0,5512
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba (preta)	76	781,4742	0,7596
<i>Couratari macrosperma</i>	Tuari	157	1059,379	1,0297
<i>Dialium guianense</i>	Tamarindo	280	1063,999	1,0342
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim pedra	96	693,792	0,6744
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú ferro	247	2167,069	2,1064
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha de macaco	96	647,4518	0,6293
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamata branco	200	1064,999	1,0352
<i>Eschweilera odorata</i>	Castanharana	584	3570,038	3,4702
<i>Hura crepitans</i>	Pinho do Norte (Assacú)	163	1712,753	1,6648
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	128	791,0517	0,7689
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutaí	13	84,4956	0,0821
<i>Jacaranda copaia</i>	Caxeta / Marupá	110	507,9285	0,4937
<i>Manilkara bidentata subsp. surinamensis</i>	Maçaranduba (vermelha)	135	899,2983	0,8741
<i>Micropholis venulosa</i>	Curupixá	44	265,8279	0,2584
<i>Otoba parvifolia</i>	Ucuúba vermelha	146	606,0162	0,5891
<i>Parkia nitida</i>	Angico	101	565,9984	0,5502
<i>Phyllocarpus riedelii</i>	Guaribeiro	101	632,8356	0,6151
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Bolão	46	258,4039	0,2512
<i>Pouteria reticulata subsp. reticulata</i>	Abiurana (vermelha)	209	1220,42	1,1863
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Pau sangue (casca fina)	11	79,26896	0,0771
<i>Qualea grandiflora</i>	Catuaba	116	858,7504	0,8347
<i>Terminalia oblonga</i>	Imbirindiba amarela	85	495,5899	0,4817
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-vermelho	61	218,586	0,2125
<b>TOTAL</b>		<b>4975</b>	<b>30.861,03</b>	<b>30,00</b>

O mapa da distribuição das árvores passíveis de serem exploradas da UPA 1, é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Árvores da categoria explorável da UPA 1 (cenário 1).



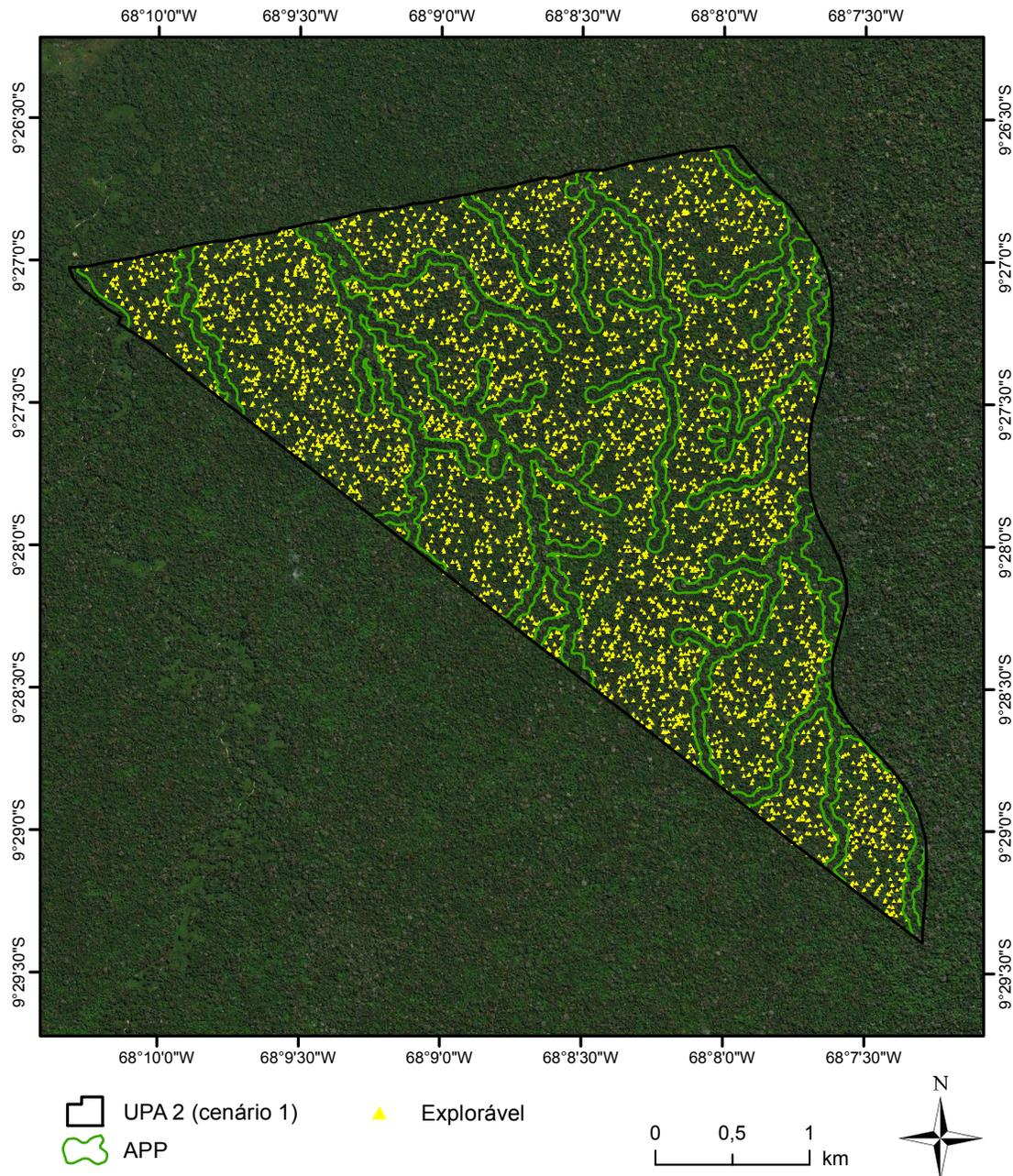
Na segunda UPA, após atender os critérios exigidos na legislação, de manutenção de árvores por espécie e de intensidade máxima de corte, houve uma diminuição de 3.624 árvores (Tabela 21), em relação ao agrupamento inicial formado. A produção total explorável, planejada para a UPA 2 (cenário 1), foi de 29.716,91 m<sup>3</sup>.

Tabela 21 – Produção planejada para a UPA 2, cenário 1: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.

Nome Científico	Nome Vulgar	N	Volume total	Volume/ha (área efetiva)
<i>Agonandra brasiliensis</i>	Pau marfim	44	256,1904	0,2586
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira / Cumaru de cheiro	165	1061,3344	1,0714
<i>Ampelocera ruizii</i>	Cinzeiro (cafezinho)	92	441,9592	0,4461
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Garapa	354	2431,7542	2,4548
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Amarelão	27	147,3402	0,1487
<i>Astronium lecointei</i>	Aroeira ou Maracatiara	52	327,9052	0,3310
<i>Brosimum alicastrum subsp. bolivarense</i>	Manité	312	1836,7291	1,8541
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitiba	34	379,5820	0,3832
<i>Cassia fastuosa</i>	Bajão	35	183,6057	0,1853
<i>Castilla ulei Warburg.</i>	Caucho (amarelo)	206	919,6862	0,9284
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro (vermelho, rosa)	108	624,5276	0,6304
<i>Ceiba pentandra</i>	Samaúma (branca)	198	2139,4936	2,1597
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba / Oiticica	91	398,6566	0,4024
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba (preta)	99	946,4990	0,9555
<i>Couratari macrosperma</i>	Tuari	71	499,5235	0,5042
<i>Dialium guianense</i>	Tamarindo	68	312,2279	0,3152
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú ferro	321	2476,9386	2,5004
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha de macaco	18	121,5102	0,1227
<i>Eschweilera odorata</i>	Castanharana	435	2742,0122	2,7679
<i>Ficus polyantha</i>	Figueira	44	310,4522	0,3134
<i>Hura crepitans</i>	Pinho do Norte (Assacú)	561	5264,0265	5,3138
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutaí	90	523,0626	0,5280
<i>Hymenolobium excelsum</i>	Angelim	56	298,7447	0,3016
<i>Jacaranda copaia</i>	Caxeta / Marupá	48	266,7212	0,2692
<i>Manilkara bidentata subsp. surinamensis</i>	Maçaranduba (vermelha)	54	293,9459	0,2967
<i>Micropholis venulosa</i>	Curupixá	162	918,0743	0,9268
<i>Myroxylon balsamum</i>	Balsamo	24	120,7770	0,1219
<i>Otoba parvifolia</i>	Ucuúba vermelha	34	143,6898	0,1450
<i>Parkia nitida</i>	Angico	150	946,6186	0,9556
<i>Phyllocarpus riedelii</i>	Guaribeiro	193	1206,6177	1,2180
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Bolão	32	166,7177	0,1683
<i>Protium hebetatum</i>	Breu	34	123,0018	0,1242
<i>Qualea tesmannii</i>	Catuaba (branca)	72	444,7092	0,4489
<i>Terminalia oblonga</i>	Imbirindiba amarela	63	442,2779	0,4465
<b>TOTAL</b>		<b>4.347</b>	<b>29.716,913</b>	<b>30,00</b>

O mapa da distribuição das árvores passíveis de serem exploradas da UPA 2, é apresentado na Figura 21.

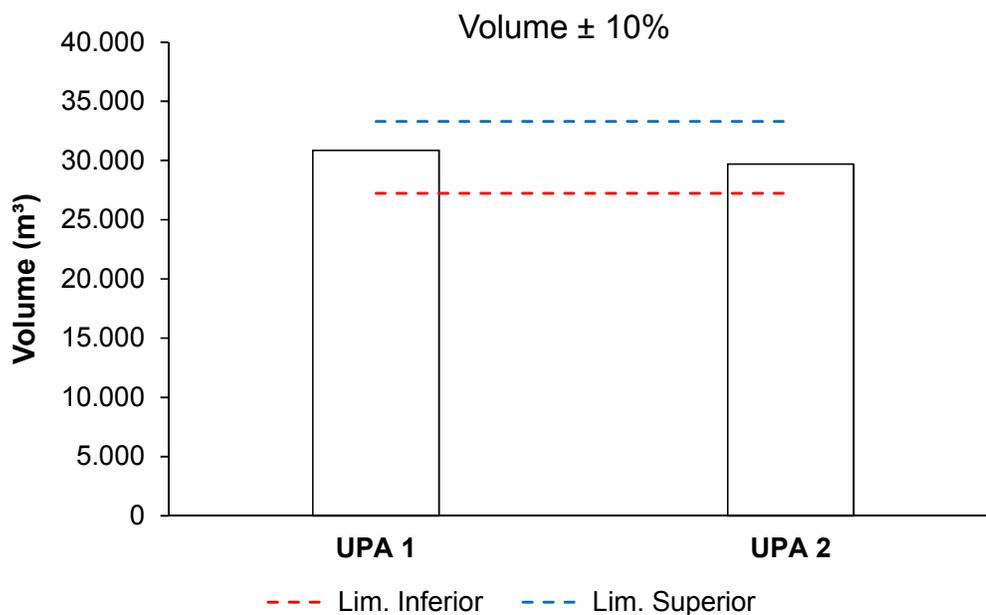
Figura 21 – Árvores da categoria explorável da UPA 2 (cenário 1).



A produção total passível de exploração, teve uma variação de aproximadamente  $\pm 1,9\%$ , sendo um resultado satisfatório, em relação a regulação do volume. Esse resultado mostra que a proposta foi eficiente e pode ser adotada na formação de UPAs nas áreas de manejo. A regulação final para o cenário de variação em  $\pm 10\%$ , é apresentada da Figura 22. Mesmo após a aplicação de critérios de

manutenção de indivíduos, o volume permaneceu dentro do limite de variação, com baixa variação, não chegando a 2%.

Figura 22 – Regulação da produção (cenário 1).



As estatísticas descritivas dos valores médios da função objetivo do cenário 2 das 60 execuções do método heurístico, são apresentadas na Tabela 22. Na execução do segundo cenário, as soluções do algoritmo permaneceram com baixa variação em torno da média. O valor médio das soluções para o segundo cenário, foi menor que o do cenário 1.

Tabela 22 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo dos valores das soluções da heurística, para o cenário 2.

Cenário 2	F.O. <sub>m</sub> (m)			
	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
	1.446,37	1.453,20	1.476,71	0,39

F.O.<sub>m</sub> – Valor da função objetivo, correspondente à distância média total, em metros, entre cada árvore, e o ponto central a qual está ligada.

As estatísticas descritivas para os valores de tempo de execução do método, são apresentadas na Tabela 23. O coeficiente de variação do tempo de solução é considerado baixo, porém, foi maior que o do cenário 1.

Tabela 23 – Resultados dos valores de coeficientes de variação, mínimo, média e máximo do tempo de solução as execuções da heurística, para o cenário 2.

Cenário 2	T (s)			
	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
	12,0	12,18	16,0	6,14

T (s) – Tempo de execução do método aproximado, em segundos.

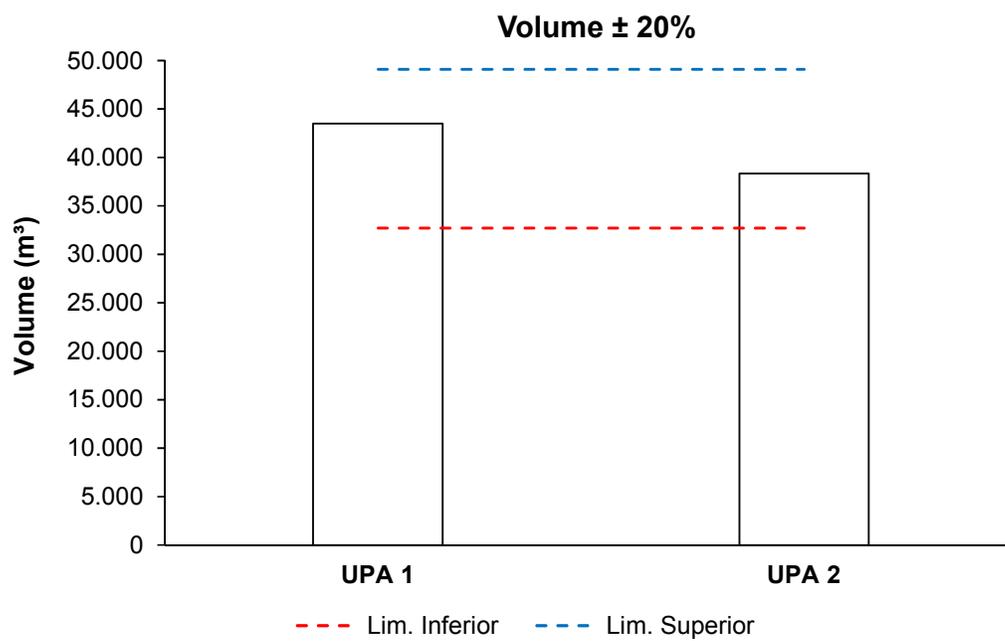
Dentre as soluções das 60 execuções, a solução de número 21 foi a que obteve menor variação da produção para o cenário 2, sendo selecionada para o planejamento da produção. Os resultados das UPAs formadas no segundo cenário são apresentados na Tabela 24. O tamanho das UPAs variou mais do que as formadas no cenário 1, assim como o número de árvores e volume. A UPA 1 no cenário 2 teve um aumento em sua área de quase 70 hectares, em relação à formada no primeiro cenário.

Tabela 24 – Ponto central, áreas total e de efetiva exploração, e número de indivíduos dos agrupamentos da melhor solução do método aproximado, para o cenário 2.

UPA	Árvore central	Área total (ha)	Área efetiva (ha)	Número de árvores	Volume total apto de corte (m <sup>3</sup> )
UPA 1	A_4513	1.345,95	1.087,84	8.524	43.512,70
UPA 2	A_10861	1.166,53	931,56	7.442	38.337,05

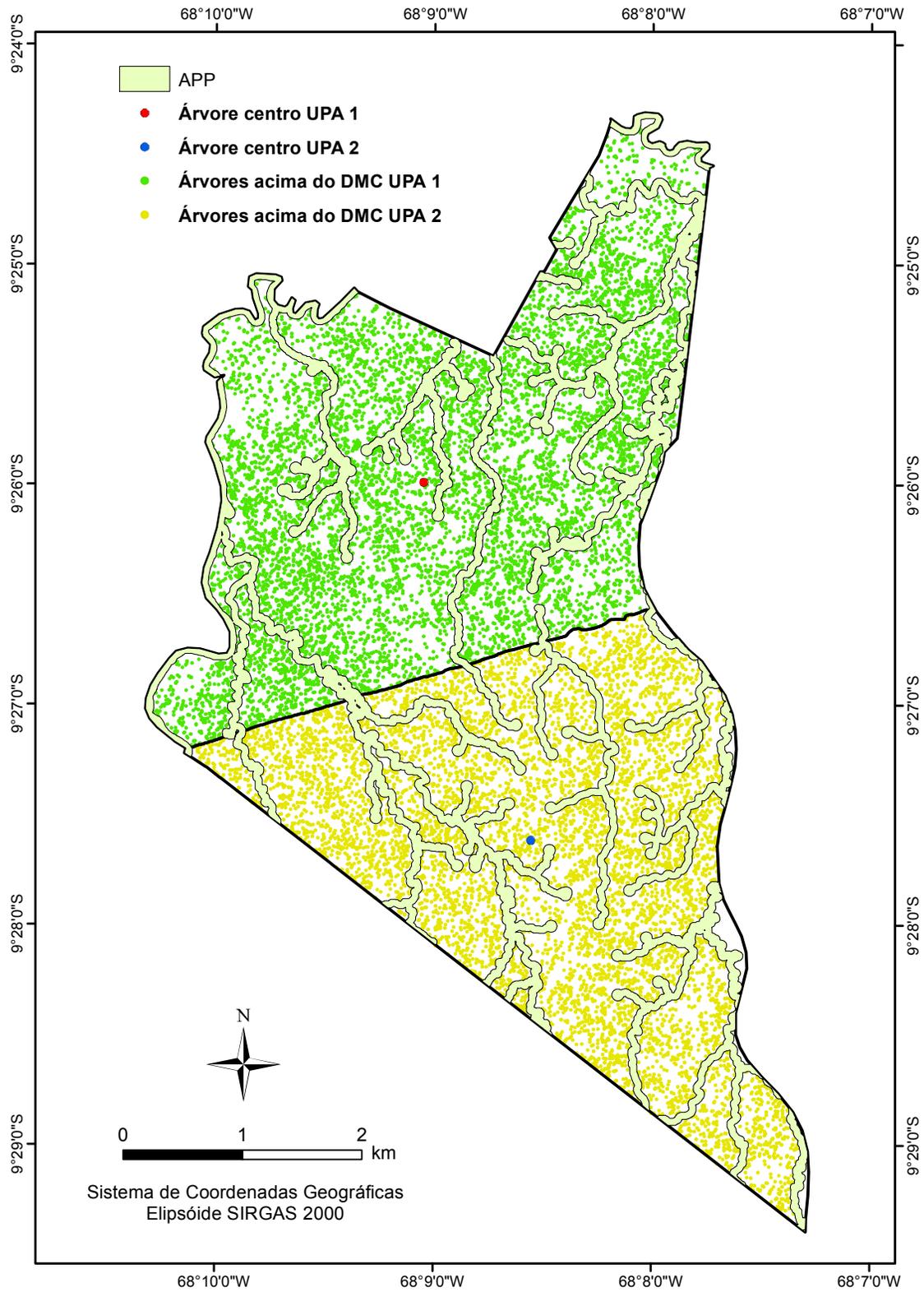
O volume total variou em mais ou menos 6,32%, considerada uma baixa variação em relação ao máximo permitido (20%). Observa-se, na Figura 23, a variação dentro dos limites permitidos.

Figura 23 – Produção acima do DMC das UPAs formadas (cenário 2).



O agrupamento otimizado e as UPAs formadas para o segundo cenário são apresentados na Figura 24.

Figura 24 – Formação otimizada de UPAs (cenário 2).



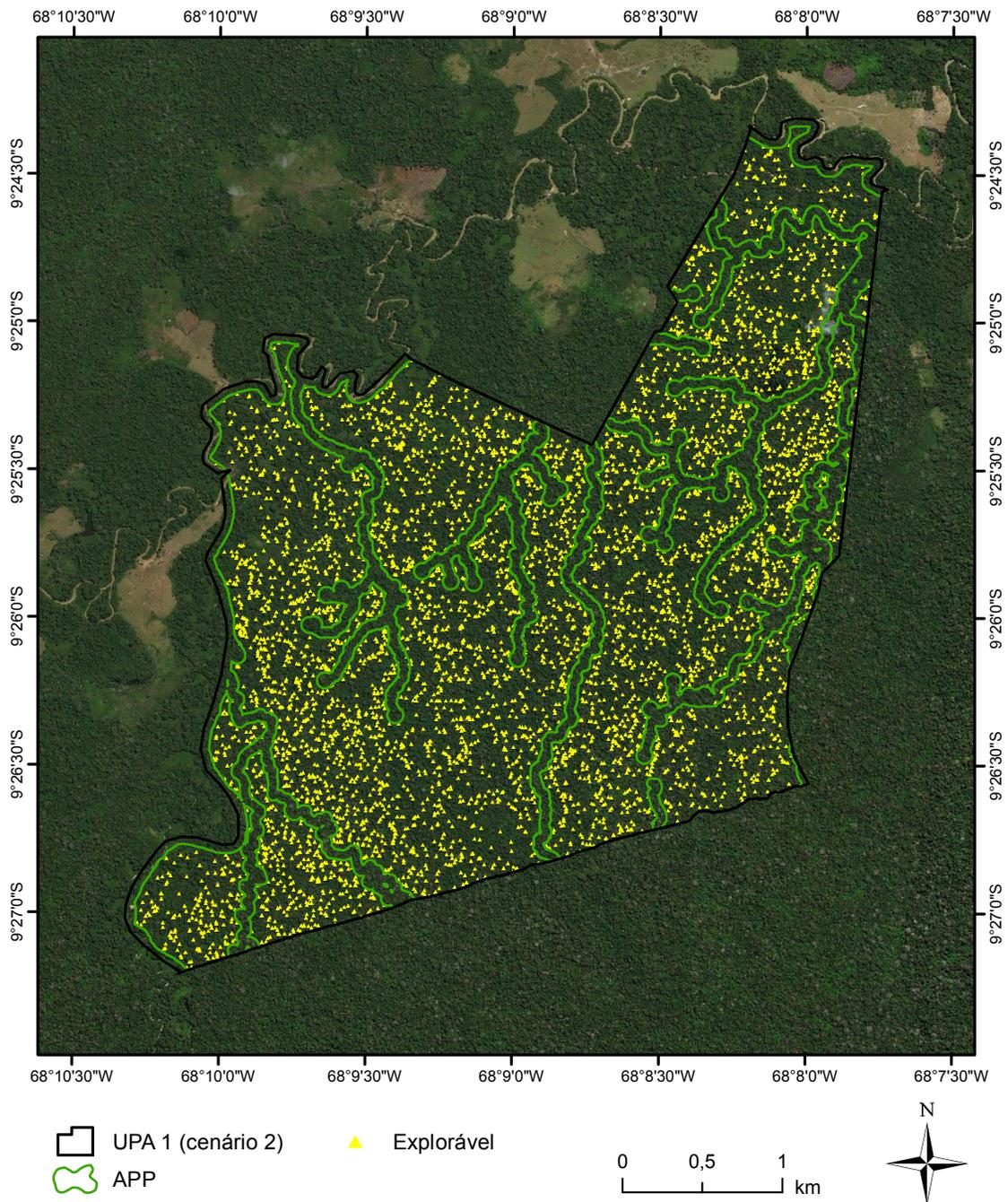
No segundo cenário, após a aplicação dos critérios da legislação do manejo florestal, houve uma diminuição de 3.271 árvores na primeira UPA (Tabela 25) em relação ao agrupamento formado. A produção total explorável, planejada para a UPA 1 foi de 32.633,58 m<sup>3</sup>.

Tabela 25 – Produção planejada para a UPA 1, cenário 2: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.

Nome Científico	Nome Vulgar	N	Volume total	Volume/ha (área efetiva)
<i>Agonandra brasiliensis</i>	Pau marfim	13	130,0322	0,1195
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira / Cumaru de cheiro	71	509,5915	0,4684
<i>Ampelocera ruizii</i>	Cinzeiro (cafezinho)	83	388,0088	0,3567
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Garapa	629	4179,6646	3,8422
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Amarelão	51	251,5850	0,2313
<i>Astronium lecointei</i>	Aroeira / Maracatiara	60	322,0270	0,2960
<i>Brosimum alicastrum subsp. bolivarense</i>	Manitê	223	1229,9884	1,1307
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Mulateiro	20	189,9561	0,1746
<i>Cassia fastuosa</i>	Bajão	54	284,5946	0,2616
<i>Castilla ulei</i>	Caucho (amarelo)	323	1278,8346	1,1756
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro (vermelho, rosa)	135	739,5314	0,6798
<i>Ceiba pentandra</i>	Samaúma (branca)	112	1380,7069	1,2692
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba / Oiticica	136	596,1574	0,5480
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba (preta)	84	856,8448	0,7877
<i>Couratari macrosperma</i>	Tauari	168	1128,2395	1,0371
<i>Dialium guianense</i>	Tamarindo	285	1093,6908	1,0054
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim pedra	95	689,5902	0,6339
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú ferro	263	2295,4931	2,1101
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha de macaco	100	669,0504	0,6150
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matamatá branco	198	1057,1790	0,9718
<i>Eschweilera odorata</i>	Castanharana	604	3701,3172	3,4024
<i>Hura crepitans</i>	Pinho do Norte (Assacú)	174	1800,8905	1,6555
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	128	793,6336	0,7295
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutaí	27	153,9787	0,1415
<i>Jacaranda copaia</i>	Caxeta / Marupá	108	502,4068	0,4618
<i>Manilkara bidentata subsp. surinamensis</i>	Maçaranduba (vermelha)	137	907,3477	0,8341
<i>Micropholis venulosa</i>	Curupixá	63	357,6935	0,3288
<i>Otoba parvifolia</i>	Ucuúba vermelha	144	599,8077	0,5514
<i>Parkia nitida</i>	Angico	118	652,2097	0,5995
<i>Phyllocarpus riedelii</i>	Guaribeiro	115	720,9869	0,6628
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Bolão	46	259,1735	0,2382
<i>Pouteria reticulata subsp. reticulata</i>	Abiurana (vermelha)	210	1230,4937	1,1311
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Pau sangue (casca fina)	9	68,6971	0,0631
<i>Qualea grandiflora</i>	Catuaba	117	864,1104	0,7943
<i>Qualea tesmannii</i>	Catuaba (branca)	2	21,0833	0,0194
<i>Terminalia oblonga</i>	Imbirindiba amarela	87	509,6839	0,4685
<i>Tetragastris altissima</i>	Breu-vermelho	61	219,2968	0,2016
<b>TOTAL</b>		<b>5.253</b>	<b>32633,58</b>	<b>30,00</b>

O mapa da distribuição das árvores passíveis de serem exploradas da UPA 1 (cenário 2) é apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Árvores da categoria explorável da UPA 1 (cenário 2).



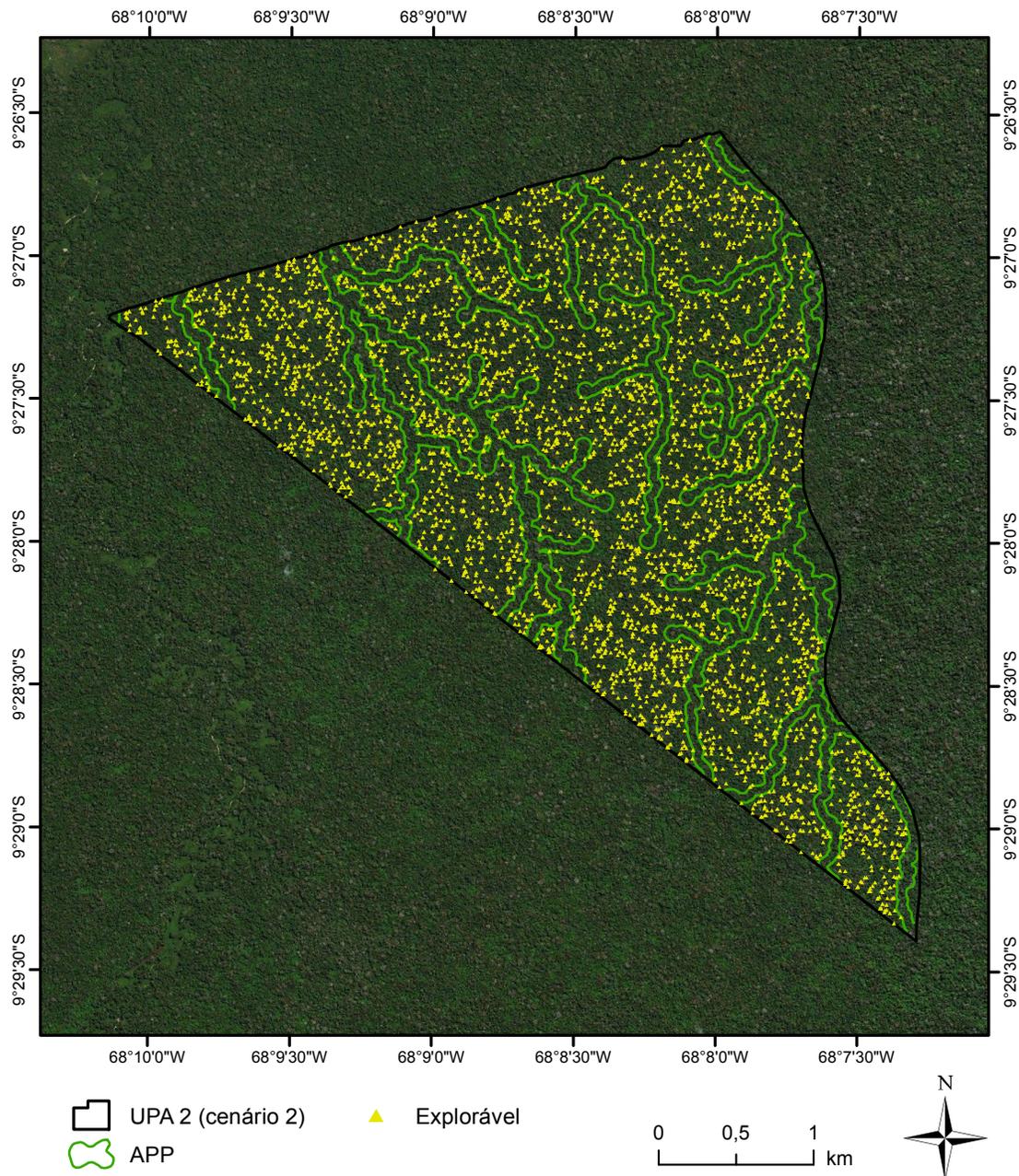
Na segunda UPA (cenário 2), houve uma diminuição de 3.374 árvores (Tabela 26), em relação ao agrupamento formado. A produção total explorável, planejada para a UPA 2, foi de 27.944,57 m<sup>3</sup>.

Tabela 26 – Produção planejada para a UPA 2, cenário 2: espécies, número de árvores e volume passíveis de serem exploradas.

Nome Científico	Nome Vulgar	N	Volume total	Volume/ha (área efetiva)
<i>Agonandra brasiliensis</i>	Pau marfim	43	252,6218	0,2712
<i>Amburana acreana</i>	Cerejeira / Cumaru de cheiro	158	1020,497	1,0955
<i>Ampelocera ruizii</i>	Cinzeiro (cafezinho)	89	429,2873	0,4608
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Garapa	304	2105,987	2,2607
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Amarelão	21	116,2164	0,1248
<i>Astronium lecointei</i>	Aroeira ou Maracatiara	50	312,9901	0,3360
<i>Brosimum alicastrum subsp. bolivarense</i>	Manitê	291	1713,127	1,8390
<i>Cariniana micrantha</i>	Jequitibá	33	361,6392	0,3882
<i>Cassia fastuosa</i>	Bajão	28	155,8177	0,1673
<i>Castilla ulei</i>	Caucho (amarelo)	194	865,4858	0,9291
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro (vermelho, rosa)	101	579,4339	0,6220
<i>Ceiba pentandra</i>	Samaúma (branca)	186	2008,749	2,1563
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariuba / Oiticica	87	379,5787	0,4075
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba (preta)	91	870,9932	0,9350
<i>Couratari macrosperma</i>	Tauari	61	434,5445	0,4665
<i>Dialium guianense</i>	Tamarindo	59	274,8634	0,2951
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú ferro	305	2347,091	2,5195
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha de macaco	14	98,15348	0,1054
<i>Eschweilera odorata</i>	Castanharana	404	2563,076	2,7514
<i>Ficus polyantha</i>	Figueira	46	319,6734	0,3432
<i>Hura crepitans</i>	Pinho do Norte (Assacú)	549	5172,799	5,5528
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutaí	80	473,2035	0,5080
<i>Hymenolobium excelsum</i>	Angelim	56	298,7447	0,3207
<i>Jacaranda copaia</i>	Caxeta / Marupá	45	255,3197	0,2741
<i>Manilkara bidentata subsp. surinamensis</i>	Maçaranduba (vermelha)	53	288,1731	0,3093
<i>Micropholis venulosa</i>	Curupixá	153	863,8512	0,9273
<i>Myroxylon balsamum</i>	Bálsamo	23	116,5922	0,1252
<i>Otoba parvifolia</i>	Ucuúba vermelha	33	139,7742	0,1500
<i>Parkia nitida</i>	Angico	137	873,6766	0,9379
<i>Phyllocarpus riedelii</i>	Guaribeiro	181	1126,947	1,2097
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Bolão	32	166,7177	0,1790
<i>Protium hebetatum</i>	Breu	33	119,7663	0,1286
<i>Qualea tesmannii</i>	Catuaba (branca)	67	410,4572	0,4406
<i>Terminalia oblonga</i>	Imbirindiba amarela	61	428,7228	0,4602
<b>TOTAL</b>		<b>4.068</b>	<b>27.944,57</b>	<b>30,00</b>

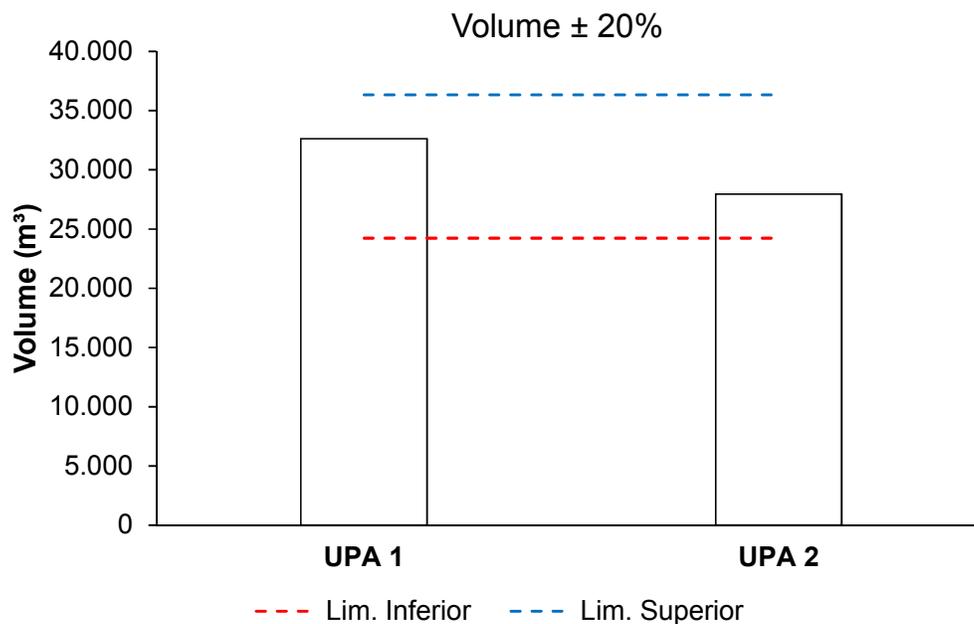
O mapa da distribuição das árvores passíveis de serem exploradas da UPA 2 é apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Árvores da categoria explorável da UPA 2 (cenário 2).



A produção total passível de exploração teve uma variação final de aproximadamente 8%, considerada baixa. Para o segundo cenário, os resultados foram satisfatórios, pois, mesmo permitindo uma variação de até 20%, o volume final variou menos que 10%. A regulação das UPAs pode ser visualizada na Figura 27.

Figura 27 – Regulação da produção (cenário 2).



A formação de UPAs em uma área de MFS, na prática, é geralmente definida em áreas de formato regular e de tamanho semelhante, ou por meio de outros critérios, de forma empírica, não adotando-se métodos científicos que auxiliam a tomada de decisão. A produção obtida pode não ser satisfatória, podendo oscilar em função das áreas anuais apresentarem produções diferentes. Dessa forma, não se tem garantia de que por essa divisão, a produção anual seja regular.

O modelo proposto adota técnicas de modelagem matemática, que são utilizadas para resolução de problemas em diversas áreas do conhecimento. Desse modo, pode-se esperar uma produção que não apresente grande variação ao longo dos anos. Modelos de otimização têm considerável potencial para serem inseridos nas práticas de planejamento da exploração do MFS, tendo sido aplicados em florestas nativas visando a alocação ótima de pátios de estocagem, redução de custos e impactos na floresta (SILVA, 2015; MARTINHAGO, 2012) e para regulação da renda no manejo florestal comunitário (SILVA, 2014a). Entretanto, essas técnicas são pouco difundidas na Amazônia, carecendo de estudos voltados especificamente à aplicação de modelos de otimização em áreas de manejo.

Além das restrições de regulação de volume, podem ser inseridas, no modelo proposto, outras restrições de interesse do manejador, como:

- Regulação de renda: Deve-se utilizar como *inputs* no modelo dados da renda da madeira de cada árvore, como renda da madeira em pé ou em tora, obtida pela multiplicação do volume da árvore e preço do metro cúbico da madeira.

### 3.1.2.1 Trabalhos futuros e recomendações

A modelagem matemática consiste na simplificação da realidade (DYKSTRA, 1984), o que exige considerável experiência, isto é, deve-se conhecer bem o problema antes de modelá-lo. Sabe-se que outras variáveis de interesse podem ser inseridas no modelo. Entretanto, é ideal o acompanhamento durante o planejamento e execução de um ou mais PMFS/POA, a fim de se conhecer bem a realidade e as restrições das atividades. Novos estudos devem estar voltados à otimização das atividades de exploração, considerando, por exemplo, a quantidade de recursos disponíveis para a exploração anual. Além disso, pode-se aplicar a modelagem para minimizar custos de determinadas atividades, ou maximizar o rendimento de operação. Entretanto, como citado anteriormente, a experiência e o conhecimento de como o processo ocorre na prática são primordiais, a fim de se modelar o problema da forma mais realística possível.

O modelo de otimização atingiu o objetivo de regulação da produção por volume, para a formação de duas Unidades de Produção Anual. Porém, cabe mencionar algumas recomendações para a segunda proposta apresentada nesse estudo. Destaca-se que, se necessário a regulação de um número maior de UPAs, deve-se atualizar o volume de cada indivíduo, em função do crescimento das árvores ao longo do horizonte de planejamento. A obtenção de dados de crescimento para cada espécie é essencial, pois cada espécie apresenta um padrão peculiar de crescimento. Sabe-se, porém, que um dos grandes gargalos no manejo florestal na Amazônia está no entendimento do crescimento dessas espécies, devido à escassez de estudos e, como apresentado no estudo de Hubbell et al. (2008), essas florestas apresentam um elevado número de espécies arbóreas. Portanto, recomenda-se a realização de estudos voltados a obtenção de dados de crescimento para cada espécie, ou grupos de espécies, para que a otimização da produção seja mais próxima da realidade.

Outra ponto a se levar em consideração consiste no fato de que, nessa abordagem, antes de formar as UPAs, são necessários dados de inventário florestal

100% de toda a área que se deseja dividir, visto que esses dados são *inputs* do modelo. Na prática, os manejadores realizam o censo florestal somente em uma única UPA, a qual teve sua área definida previamente. Dessa forma, ao se utilizar a proposta apresentada, é necessário um planejamento para realizar o inventário 100% em uma área de tamanho suficiente para o atendimento da demanda do tomador de decisão, e para mais de um ano de exploração. Em seguida, deve-se executar o modelo para regular a produção das UPAs e prosseguir com o planejamento da exploração florestal. Antes do término das atividades planejadas para o horizonte de planejamento, realiza-se um novo inventário e posterior processo de definição de UPAs apresentado nesse estudo.

## **4 CONCLUSÕES**

As propostas de modelos de otimização apresentadas são aplicáveis à realidade na Amazônia, e podem ser utilizadas para regular a produção de madeira em áreas de manejo florestal sustentável na Amazônia.

As UPAs formadas foram reguladas de forma satisfatória, apresentando pouca variação no volume de um ano para outro.

Técnicas de PO representam uma ferramenta com potencial para a solução de problemas de planejamento em áreas de MFS na Amazônia.

## REFERÊNCIAS

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II**: documento síntese. 2 ed. Rio Branco: SEMA, 2010. 356 p.

ALVARES, C. L. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BALIEIRO, M. R. et al. **As concessões de florestas públicas na Amazônia Brasileira**: um manual para pequenos e médios produtores. 2. ed. Piracicaba; Belém: Imaflora/ IFT. 2010. 204p.

BATISTA, A. F. O uso de ferramentas de otimização para concessões florestais na Amazônia: uma abordagem econômica. **III Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal**: concurso de monografias sobre o tema: estudos de economia e mercado florestal: coletânea de monografias premiadas. Brasília: ESAF, 2016.

BRASIL. Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 01 dez. 2006a. Seção 1, p. 01-03. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/12/2006&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=132>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 12 de fevereiro de 2015. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 fev. 2015. Seção 1, p. 67. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/02/2015&jornal=1&pagina=67>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006b. Seção 1, p. 155-159. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/12/2006&jornal=1&pagina=155&totalArquivos=232>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Instrução normativa nº 7, de 22 de agosto de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 ago. 2003b. Seção 1, p. 47-51. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=47&data=26/08/2003>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

BRASIL. Norma de execução nº 1, de 24 abril de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 abr. 2007. Seção 1, p. 405. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/04/2007&jornal=1&pagina=405&totalArquivos=428>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

BRASIL. Resolução Conama nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 fev. 2009. Seção 1, p. 100.

Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=06/02/2009&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=160>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

BRAZ, E. M. **Um modelo em programação linear para garantia do rendimento sustentado em pequena propriedade na floresta tropical**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

BRAZ, E. M.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E. Um modelo otimizador para organização dos compartimentos de exploração em floresta tropical. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 77-83, 2004.

CARVALHO, K. H. A. et al. Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 143-151, 2015.

DOMÍNGUEZ, E.; MUÑOZ, J. A neural model for the p-median problem. **Computers & Operations Research**, Oxford, v. 35, n. 2, p. 404-416, 2008.

DYKSTRA, D. P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. 318 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. ArcGIS Professional GIS for the desktop, versão 10.3.1, 2015.

FEELEY, K. J. Commentary: Estimating the global conservation status of more than 15.000 Amazonian tree species. **Frontiers in Ecology and Evolution**, Lausanne, v. 4, n. 59, p. 1-2, 2016.

FERNANDES, A. P. D. et al. Alternativas de planejamento para a exploração florestal. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 339-350, 2013.

FIGUEIREDO, E. O. et al. Processamento primário dos dados e elaboração do mapa de exploração. In: FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. (Ed.). **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. p. 119-148.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. (Ed.). **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 184 p.

FIGUEIREDO, E. O.; LIMA, Q. S. **Coefficientes técnicos para o inventário e manejo florestal com emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora)**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2008. 19 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 169).

HOLMES, T. P. et al. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 93-110, 2002.

- HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 1998. 162 p.
- HUBBELL, S. P. et al. How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? **PNAS**, Washington, DC, v. 105, p. 11498-11504, 2008.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL – IAC. **Plano aeroviário do estado do Acre**. IAC, 200 p. 1993.
- INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES – IBM. **IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.2**. New York: International Business Machines, 2015. Disponível em: <<http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg21959971>>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- LEUSCHNER, W. A. **Introduction to forest resources management**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 298 p.
- LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F. Local search heuristics for capacitated p-median problems. **Networks and Spatial Economics**, New York, v. 3, p. 407-419, 2003.
- MARTINHAGO, A. Z. **Otimização para alocação de pátios de estocagem para exploração de impacto reduzido na Amazônia Brasileira**. 2012. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- PEÑA-CLAROS, M. et al. Beyond reduced-impact logging: silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 7, p. 1458-1467, 2008.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**, version 3.2.4 (*software*). Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 jul. 2016.
- SCHULZE, M. et al. How rare is too rare to harvest? Management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 7, p. 1443-1457, 2008.
- SILVA, D. A. S. **Regulação em florestas inequidêneas sob regime de manejo florestal comunitário**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014a.
- SILVA, E. F. **Alocação de pátios de estocagem em planos de manejo na Amazônia por meio de programação matemática**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.
- SILVA, P. H. **Desenvolvimento de modelo para alocação ótima de pátios de estocagem de madeira**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014b.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Floresta nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa, MG: UFV, 2013.

THAINES, F. **Coeficientes técnicos para o manejo florestal comunitário com fins madeiros no bioma Amazônia**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2013. 135 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 15 mar. 2017.

## APÊNDICES

**Apêndice A** – Formulário aplicado a consultores florestais, donos de serrarias e dono de firma que executa as atividades de exploração florestal, para coleta de dados para a quantificação do custo de produção de madeira em tora, posta em serraria, no estado do Acre, no ano de 2016.

### FORMULÁRIO

<b>PLANO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL (PMFS)</b>	
1. Área total média dos POAs (ha)	
2. Volume anual de madeira em tora (m <sup>3</sup> /ano)	
3. Volume médio explorado nas UPAs (m <sup>3</sup> /ha)	
4. Preço para explorar a área de floresta (R\$/ha)	
5. Preço cobrado pela elaboração do PMFS/POA (R\$/ha)	
6. Custos com impostos (R\$)	
7. Custos com documentação de cartório (R\$)	
8. Custos com CREA/ART (R\$)	
9. Preço médio cobrado pela execução do inventário florestal (R\$/ha)	
10. Preço cobrado pela implantação e medição de parcelas permanentes (R\$/ha)	
11. Preço cobrado pela remedição de parcelas permanentes (R\$/ha)	
12. Custos com tratamentos silviculturais (R\$/ha)	
13. Preço cobrado pela elaboração de relatório pós-exploratório (R\$/ha)	
14. Custos com publicação e placa de manejo (R\$)	
<b>EXPLORAÇÃO FLORESTAL</b>	
15. Custo com construção de 1 quilômetro de estrada (R\$/km)	
16. Quantia média de km de estradas nos POAs (km/ha)	
17. Custo Abate (R\$/m <sup>3</sup> )	
18. Custo Arraste (R\$/m <sup>3</sup> )	
19. Custo Estradas e pátios (R\$/m <sup>3</sup> )	
20. Custo Carregamento (R\$/m <sup>3</sup> )	
21. Custo Baldeio (R\$/m <sup>3</sup> )	
22. Novo Carregamento (R\$/m <sup>3</sup> )	
23. Acampamento de apoio (R\$/m <sup>3</sup> )	
<b>TRANSPORTE FLORESTAL</b>	
24. Custo transporte 50km (R\$/m <sup>3</sup> )	
25. Custo transporte 100km (R\$/m <sup>3</sup> )	
26. Custo transporte 150km (R\$/m <sup>3</sup> )	
<b>PREÇO DA TERRA</b>	
27. Preço da terra a uma distância de 50 km de Rio Branco (R\$/ha)	
28. Preço da terra a uma distância de 100 km de Rio Branco (R\$/ha)	
29. Preço da terra a uma distância de 150 km de Rio Branco (R\$/ha)	

**Apêndice B** – Dados básicos de valores físicos de planos de manejo no Acre, 2016.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>Fexp. 1</b>	<b>Média</b>
1. Área total média por POA (ha)	2.500	1.000	1.500	225	550	1.000	1.000	500	1.000	<b>1.030,56</b>
2. Volume anual médio de madeira em tora (m³/ano)	10.000	-	17.500	-	-	-	12.000	6.000	16.500	<b>12.400</b>
3. Volume médio explorado nas UPAs (m³/ha)	13,5	17,5	15,67	12,0	15,5	-	14,12	-	-	<b>14,71</b>

**Apêndice C** – Dados básicos de valores econômicos de planos de manejo no Acre, 2016.

(Continua)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>Fexp. 1</b>	<b>Média</b>
1.1 Preço da terra (50 km de Rio Branco) (R\$/ha)	-	-	700,0	-	-	-	-	-	-	700,0
1.2 Preço da terra (100 km de Rio Branco) (R\$/ha)	-	-	550,0	-	-	-	-	-	-	550,0
1.3 Preço da terra (150 km de Rio Branco) (R\$/ha)	-	-	425,0	-	-	-	-	-	-	425,0
2. Preço para explorar a terra (contrato) (R\$/ha)	600,0	-	600,0	500,0	-	500,0	600,0	500,0	600,0	557,14
3. Elaboração de PMFS/ POA (R\$/ha)	80,0	-	80,0	90,0	100,0	-	-	-	-	87,5
4. Impostos (R\$/ha)	12,92	-	12,92	14,54	16,15	-	-	-	-	14,13



**Apêndice C** – Dados básicos de valores econômicos de planos de manejo no Acre, 2016.

(Continuação)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>Fexp. 1</b>	<b>Média</b>
16.1 Abate (R\$/m³)	-	-	7,5	-	-	10,0	-	10,0	10,0	9,38
16.2 Arraste (R\$/m³)	20,0	-	27,5	25	30,0	25,0	-	25,0	25,0	25,36
16.3 Estradas e pátios (R\$/m³)			10			10		9	10	9,75
16.4 Carregamento (R\$/m³)	-	-	9,0	8,5	-	10,0	5,0	9,0	10,0	8,58
16.5 Baldeio (R\$/m³)	-	-	15,0	-	-	-	-	-	-	15,00
16.6 Novo Carregamento (R\$/m³)	-	-	7,0	8,5	-	-	-	-	-	7,75
16.7 Acampamento de apoio (R\$/m³)	-	-	-	-	-	-	-	13,5	10,0	11,75
17.1 Transporte 50km (R\$/m³)	45	-	40,0	-	-	50,0	30,0	35,0	45,0	40,8
17.2 Transporte 100km (R\$/m³)	-	85,0	90,0	-	-	70,0	50,0	-	65,0	72,0
17.3 Transporte 150km (R\$/m³)	-	-	120,0	-	-	90,0	70,0	-	-	93,3

**Apêndice D** – Dados de porcentagem de APPs nas UPAs.

<b>Porcentagem de APPs em UPAs</b>	
C3	15%
POA 1	20%
POA 2	19%
<b>MÉDIA</b>	<b>18%</b>

**Apêndice E** – Dados de preço da terra florestal, a diferentes distâncias da cidade Rio Branco, 2016.

<b>Distância</b>	<b>(R\$/ha)</b>		
	<b>IMOBILIÁRIA 1</b>	<b>C3</b>	<b>Média</b>
1. Preço da terra (50 km de Rio Branco)	700,00	700,00	700,00
2. Preço da terra (100 km de Rio Branco)	600,00	550,00	575,00
3. Preço da terra (150 km de Rio Branco)	425,00	425,00	425,00

**Apêndice F** – Custos da simulação do licenciamento do plano de manejo florestal sustentável e plano operacional anual, a diferentes distâncias da cidade de Rio Branco, Acre, 2016.

**Área total da UPA:** 1.030,56 ha

**Validade da Licença de Operação e Autorização para Exploração:** 2 anos

<b>Custo do licenciamento do manejo florestal/ IMAC, para uma UPA de 1.030,56 ha (área total)</b>	
<b>Distância</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
50 km de Rio Branco	3.935,90
100 km de Rio Branco	4.685,90
150 km de Rio Branco	5.435,90

**Obs.** Os custos são provenientes de uma simulação realizada juntamente com um responsável pelo setor de Manejo Florestal no Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC.

**Apêndice G** – Preço médio para instalação e medição de parcelas permanentes, em planos de manejo no Acre, 2016.

<b>Atividade</b>	<b>(US\$/ha)</b>			
	<b>C1</b>	<b>C3</b>	<b>Santos (2007)</b>	<b>Média</b>
Instalação e medição de parcelas permanentes	1,14	0,57	1,73	1,15
Remedição de parcelas permanentes	0,86	0,57	1,26	0,89

**Apêndice H** – Dados de extensão de estradas (km) de Planos Operacionais Anuais executados no Acre.

a) POA 600 ha: 12,8 km

b) POA 753,8 ha: 22,8 km

c) POA 710,8 ha: 18,7 km

Média = 687,93 ha: 18,1 km

0,026 km/ha (área total da UPA) de estradas de 4m de largura.

<b>POA</b>	<b>Área total POA (ha)</b>	<b>Área efetiva POA (ha)</b>	<b>Estradas (km)</b>
1	600	492,00	12,8
2	753,8	618,12	22,8
3	710,8	582,86	18,7
<b>MÉDIA</b>	<b>687,93</b>	<b>564,32</b>	<b>18,1</b>

Média = 564,32 ha = 18,1 km

0,032 km/ha (área de efetiva exploração) de estradas de 4m de largura.

**Obs.** Para cálculo da área de efetiva exploração, considerou-se que as áreas não contabilizadas na área de efetivo manejo correspondem em média a 18% da área total da UPA.

**Apêndice I** – Dados de quantidade de pátios de estocagem de Planos Operacionais Anuais executados no Acre.

<b>POA</b>	<b>Área efetiva POA (ha)</b>	<b>Pátios (20x25m)</b>	<b>Área total de pátios (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total de pátios (ha)</b>
1	2.776,06	295	147.500,00	14,75
2	849,2	54	27.000,00	2,70
3	1.177,12	72	36.000,00	3,60
<b>MÉDIA</b>	<b>1.600,8</b>	<b>140,33</b>	<b>70.166,67</b>	<b>7,02</b>

Média: 1.600,8 ha (área efetiva) = 7,02 ha de pátios de 500m<sup>2</sup>.

0,0044 ha de pátios por hectare de área de efetiva exploração ou 0,44% da área efetiva.

**APÊNDICE J** – Exemplo de formulação do modelo de otimização de formação de UPAs a nível de árvores.

Apresenta-se neste apêndice, a título de ilustração, um exemplo da modelagem matemática da proposta de formação de UPAs, para regulação da produção por volume, apresentada no Capítulo II dessa pesquisa.

- Número de árvores: 5
- Número de UPAs: 2
- Volume total: 18,3029 m<sup>3</sup>
- Variação do volume:  $\pm 10\%$
- Volume mínimo de cada UPA: 8,24 m<sup>3</sup>
- Volume máximo de cada UPA: 10,06 m<sup>3</sup>

Tabela 1 – Volume de cada árvore.

Árvore	Volume
1	2,8365
2	2,9253
3	4,8972
4	3,1745
5	4,4694

Tabela 2 – Distância euclidiana da árvore i para a árvore central j de cada UPA a ser formada.

Dist. euclidiana (m)	Árvore central j					
	1	2	3	4	5	
Árvore i	1	0	61,95	77,65	70,20	91,03
	2	61,95	0	26,60	11,54	29,14
	3	77,65	26,60	0	15,97	29,37
	4	70,20	11,54	15,97	0	22,95
	5	9103	29,14	29,37	22,95	0

A seguir, segue formulação matemática do exemplo apresentado:

! Função objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min } & 0x_{11} + 61.95x_{12} + 77.65x_{13} + 70.20x_{14} + 91.03x_{15} + 61.95x_{21} + 0x_{22} + \\ & 26.60x_{23} + 11.54x_{24} + 29.14x_{25} + 77.65x_{31} + 26.60x_{32} + 0x_{33} + 15.97x_{34} + \\ & 29.37x_{35} + 70.20x_{41} + 11.54x_{42} + 15.97x_{43} + 0x_{44} + 22.95x_{45} + 91.03x_{51} + \\ & 29.14x_{52} + 29.37x_{53} + 22.95x_{54} + 0x_{55} + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 \end{aligned}$$

s.t.

! Restrição de rota única

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} = 1$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} = 1$$

$$x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} = 1$$

! Restrição de número de UPAs

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 = 2$$

! Restrição de ligação árvore-árvore central

$$x_{11} - y_1 \leq 0$$

$$x_{21} - y_1 \leq 0$$

$$x_{31} - y_1 \leq 0$$

$$x_{41} - y_1 \leq 0$$

$$x_{51} - y_1 \leq 0$$

$$x_{12} - y_2 \leq 0$$

$$x_{22} - y_2 \leq 0$$

$$x_{32} - y_2 \leq 0$$

$$x_{42} - y_2 \leq 0$$

$$x_{52} - y_2 \leq 0$$

$$x_{13} - y_3 \leq 0$$

$$x_{23} - y_3 \leq 0$$

$$X33 - y3 \leq 0$$

$$X43 - y3 \leq 0$$

$$X53 - y3 \leq 0$$

$$X14 - y4 \leq 0$$

$$X24 - y4 \leq 0$$

$$X34 - y4 \leq 0$$

$$X44 - y4 \leq 0$$

$$X54 - y4 \leq 0$$

$$X15 - y5 \leq 0$$

$$X25 - y5 \leq 0$$

$$X35 - y5 \leq 0$$

$$X45 - y5 \leq 0$$

$$X55 - y5 \leq 0$$

! Restrição de volume máximo de cada UPA

$$2.8365x11 + 2.9253x21 + 4.8972x31 + 3.1745x41 + 4.4694x51 \leq 10.06$$

$$2.8365x12 + 2.9253x22 + 4.8972x32 + 3.1745x42 + 4.4694x52 \leq 10.06$$

$$2.8365x13 + 2.9253x23 + 4.8972x33 + 3.1745x43 + 4.4694x53 \leq 10.06$$

$$2.8365x14 + 2.9253x24 + 4.8972x34 + 3.1745x44 + 4.4694x54 \leq 10.06$$

$$2.8365x15 + 2.9253x25 + 4.8972x35 + 3.1745x45 + 4.4694x55 \leq 10.06$$

! Restrição de volume mínimo de cada UPA

$$2.8365x11 + 2.9253x21 + 4.8972x31 + 3.1745x41 + 4.4694x51 - 8.24y1 \geq 0$$

$$2.8365x12 + 2.9253x22 + 4.8972x32 + 3.1745x42 + 4.4694x52 - 8.24y2 \geq 0$$

$$2.8365x13 + 2.9253x23 + 4.8972x33 + 3.1745x43 + 4.4694x53 - 8.24y3 \geq 0$$

$$2.8365x14 + 2.9253x24 + 4.8972x34 + 3.1745x44 + 4.4694x54 - 8.24y4 \geq 0$$

$$2.8365x15 + 2.9253x25 + 4.8972x35 + 3.1745x45 + 4.4694x55 - 8.24y5 \geq 0$$

END

INT x11

INT x12

INT x13

INT x14

INT x15

INT x21

INT x22

INT x23

INT x24

INT x25

INT x31

INT x32

INT x33

INT x34

INT x35

INT x41

INT x42

INT x43

INT x44

INT x45

INT x51

INT x52

INT x53

INT x54

INT x55

INT y1

INT y2

INT y3

INT y4

INT y5

## ANEXOS

**Anexo 1** – Detalhes de tratamentos silviculturais avaliados por Ferreira (2012).

### **T2 - Desbaste de liberação modificado, por anelagem, e corte de cipós nas árvores potenciais (espécies atualmente comercializadas) para futura colheita.**

- As espécies beneficiadas neste tratamento são as mesmas do T1, ou seja, aquelas consideradas comerciais ou, na falta de espécies comerciais, aquelas com potencial para serem comercializadas em futuro próximo;

- Previu-se beneficiar, em média, 10 árvores/ha, com DAP > 35 cm (CAP > 110 cm), dessas espécies selecionadas. Entretanto, considerando que o DAP mínimo estabelecido foi de 35 cm e que não havia número suficiente para beneficiar 10 indivíduos/ha, beneficiou-se, em média, 5,0 árvores/ha;

- Foram cortados todos os cipós, de qualquer diâmetro, que estavam de alguma forma, prejudicando ou mesmo ameaçando o desenvolvimento da árvore beneficiada;

- Foram aneladas as árvores competidoras que estavam com suas copas sobre as copas das árvores beneficiadas ou entrelaçadas com essas copas.

- Árvores potenciais para a próxima colheita são aqui definidas como aquelas de espécies comerciais de boa forma e sadias, apresentando DAP  $\geq$  35 cm. Espécies potencialmente comerciais com as mesmas características também foram escolhidas, quando o número mínimo de 10 árvores/ha não era atingido apenas com árvores de espécies comerciais.

- Árvores competidoras são aquelas da lista de espécies não-comerciais, ou mesmo comerciais com fuste de má qualidade (fuste danificado, tortuoso, sem condições de comercialização).

### **T4 - Plantio em clareiras, conservação de algumas mudas de regeneração natural de espécies de valor comercial existentes nas clareiras, e corte de cipós nas árvores potenciais para futura colheita.**

- As espécies beneficiadas neste tratamento são as mesmas do T1, ou seja, aquelas consideradas comerciais ou, na falta de espécies comerciais, aquelas com potencial para serem comercializadas em futuro próximo;

- Previu-se beneficiar, em média, 10 árvores/ha, com DAP > 35 cm (CAP > 110 cm), dessas espécies selecionadas. Entretanto, considerando que o DAP mínimo

estabelecido foi de 35 cm e que não havia número suficiente para beneficiar 10 indivíduos/ha, beneficiou-se, em média, 8,4 árvores/ha;

- Neste tratamento, também, foram cortados todos os cipós, de qualquer diâmetro, que estavam de alguma forma, prejudicando ou mesmo ameaçando o desenvolvimento da árvore beneficiada;

- As espécies plantadas em clareiras são de crescimento rápido, ocorrentes na Fazenda Rio Capim, com exceção de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke (paricá);

- Essas espécies foram selecionadas de acordo com o crescimento em altura e em diâmetro, com base em lista de espécies exploradas pela empresa Cikel;

- Foram selecionadas, em média, duas clareiras por hectare. O critério para estabelecer esse número foi de que a quantidade de clareiras enriquecidas (adensadas com plantio de mudas) seria no máximo 50% do número de árvores colhidas por hectare. Foram derrubadas, em média, cinco árvores por hectare na área de estudo;

- O tamanho mínimo das clareiras enriquecidas foi de 250 m<sup>2</sup>;

- A distância média entre cada muda plantada foi de cinco metros;

- Em cada clareira foram plantadas, em média, 9 a 10 mudas;

- Foram selecionadas e beneficiadas plantas de regeneração natural de espécies comerciais, com média de 7 plantas/clareira.

**T5 - (T2 + T4): o Tratamento 5 é o conjunto formado pelas atividades do T2 mais as atividades do T4.**