

BIANCA DINIZ DA ROCHA

**O SOTER-PA COMO FERRAMENTA DE APOIO AO MANEJO FLORESTAL
SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Ambrósio Ferreira Neto

Coorientador: Mayron César de O. Moreira

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R672s
2021

Rocha, Bianca Diniz, 1996-
O SOTER-PA como ferramenta de apoio ao manejo
florestal sustentável / Bianca Diniz Rocha. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (72 f.): il.

Inclui apêndice.

Orientador: José Ambrósio Ferreira Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2021.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.217>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solo - Uso - Planejamento. 2. Florestas - Manejo.
3. Otimização combinatória. 4. SOTER-PA (Software). I. Neto,
José Ambrósio Ferreira, 1963-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Extensão Rural. III. Título.

CDD 22. ed. 333.73

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

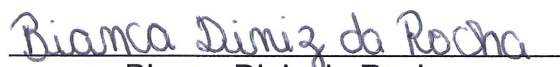
BIANCA DINIZ DA ROCHA

**O SOTER-PA COMO FERRAMENTA DE APOIO AO MANEJO FLORESTAL
SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de novembro de 2021.

Assentimento:



Bianca Diniz da Rocha
Autora



José Ambrósio Ferreira Neto
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar sempre no caminho da persistência, sobretudo, por ser a minha força e meu guia em todos os momentos. Obrigada, Deus!

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Economia Rural, pela oportunidade de realização desse curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. José Ambrósio Ferreira Neto, pela orientação. Obrigada pela paciência, conhecimentos transmitidos e por ser um exemplo de profissional.

Ao meu coorientador, Prof. Mayron César Oliveira Moreira, pelo apoio, mesmo de longe no processo de compreensão do SOTER-PA.

Aos funcionários do Departamento de Economia Rural, em especial ao Romildo, por todo auxílio.

Aos colegas do grupo de pesquisa Assentamentos, pelos momentos de convívio, aprendizado e cooperação.

A Mariane, pela amizade e ajuda no processo de elaboração dessa dissertação.

A todos os professores(as) do PPGER, pelos ensinamentos para minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus pais, Armanda Diniz e Eli Garcia, por todo o amor e apoio, mas, sobretudo por acreditarem em mim, por vezes, mais do que eu mesma.

As minhas irmãs, Brenda Diniz e Bruna Diniz, pelos momentos maravilhosos de descontração, aconchego e muita alegria.

Aos meus amigos Douglas Valente e Ana Jéssica que foram minha família em Viçosa.

A Lena Karina, Danielle Gleicy, Andrei Corrêa e Luiz Paulo, pela amizade e incentivos (você não precisa que ninguém te ensine a voar, mas é bom ter quem nos lembre que temos asas).

A todos que direta ou indiretamente, me ajudaram de alguma forma na concretização desse trabalho. Obrigada!

RESUMO

ROCHA, Bianca Diniz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2021. **O SOTER-PA como ferramenta de apoio ao manejo florestal.** Orientador: José Ambrósio Ferreira Neto. Coorientador: Mayron César de Oliveira Moreira.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do sistema informatizado SOTER-PA no processo de organização territorial para regulação da produção e planejamento do manejo florestal sustentável em relação a capacidade produtiva florestal e seleção de espécies remanescentes, com base nas espécies, distribuição e importância. O SOTER-PA é um aplicativo construído em linguagem de programação Java baseado em um algoritmo, com o qual o usuário pode obter uma estrutura de planejamento territorial mais rentável economicamente e com melhor uso dos recursos naturais. As análises foram feitas em comparação com o processo atualmente realizado nos projetos de manejo em florestas nativas, tendo como referência o inventário florestal de uma Unidade de Produção Anual localizada na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. Como resultado, constatou-se que o uso do SOTER-PA apresenta limitações em processar áreas complexas, com muitas variáveis e exigindo maior tempo de máquina, além de equipamentos com capacidade de processamento superior ao que geralmente se encontra em uso. No entanto, quando adaptada a áreas menores e com variáveis menos fragmentadas obteve resultados satisfatórios, demonstrando ser eficiente para o planejamento florestal com garantia de manutenção da diversidade florística, resultando na sugestão de uma nova organização no planejamento de colheita. Os testes resultaram na sugestão de uma nova organização visando a regulação da produção florestal, com a possibilidade de ser atualizado ao longo do tempo e a incorporação do seu uso como ferramenta estatística confiável, simples e gratuita pode auxiliar no apoio a tomada de decisões em planos de manejo florestal sustentável.

Palavras-chave: Manejo Florestal. Planejamento Territorial. Otimização Combinatória. SOTER-PA.

ABSTRACT

ROCHA, Bianca Diniz, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November 2021. **SOTER-PA as a support tool for forest management.** Advisor: José Ambrósio Ferreira Neto. Co-Advisor: Mayron César de Oliveira Moreira.

This study aimed to evaluate the performance of the SOTER-PA computerized system in the process of territorial organization to regulation the production and planning of sustainable forest management in relation to forest productive capacity and selection of remaining species, based on species, distribution and importance. SOTER-PA is an application built in Java programming language based on an algorithm, with which the user can obtain a more economically profitable territorial planning structure with better use of natural resources. The analyzes were carried out in comparison with the process currently carried out in management projects in native forests, having as reference the forest inventory of an Annual Production Unit located in the Tapajós National Forest, Pará, Brazil. As a result, it was found that the use of SOTER-PA has limitations in processing complex areas, with many variables, requiring longer machine time in addition to equipment with higher processing capacity than what is usually found in use. However, when adapted to smaller areas and with less fragmented variables, satisfactory results are obtained, proving to be efficient for forest planning with guarantee of maintenance of floristic diversity, implementation in the suggestion of a new organization in harvest planning. The tests resulted in the suggestion of a new organization to regulation forestry, with the possibility of being updated over time and the incorporation of its use as a reliable, simple and free statistical tool can help support decision-making in management plans sustainable forestry.

Keywords: Forest Management. Territorial Planning. Combinatorial Optimization, SOTER-PA.

SUMÁRIO

ORGANIZAÇÃO E CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	11
3 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
3.1 <i>As atividades do manejo florestal e o ordenamento territorial.....</i>	12
3.2 <i>Sistemas de suporte no apoio à tomada de decisões.....</i>	15
3.3 <i>Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental – SOTER-PA.....</i>	17
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ORGANIZAÇÃO.....	20
5 ARTIFOS CIENTÍFICOS.....	28
5.1 <i>Artigo 01: Territorial planning support tool for sustainable forest management in the Amazon.....</i>	28
5.2 <i>Artigo 02: O SOTER-PA como ferramenta de apoio a gestão sustentável da vegetação remanescente em unidades de manejo florestal sustentável.....</i>	48
6 CONCLUSÃO.....	68
APÊNDICE A – RESUMO DE BANCO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL UPA 01.....	69

ORGANIZAÇÃO E CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

**RESUMO
ABSTRACT**

**INTRODUÇÃO GERAL
OBJETIVOS**

CONTEXTUALIZAÇÃO

**1. As atividades
do manejo
florestal e o
ordenamento
territorial**

**2. Sistemas de
suporte no apoio
as tomadas de
decisão**

**3. Sistema de
Organização
Territorial da
Reforma Agrária
e Planejamento
Ambiental –
SOTER-PA**

ARTIGOS CIENTÍFICOS

Artigo 01. Territorial planning support tool for sustainable forest management in the Amazon

Artigo 02. O SOTER-PA como ferramenta de apoio a gestão sustentável da vegetação remanescente em unidades de manejo florestal sustentável

CONCLUSÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Com aumento de demandas por matérias primas, torna-se fundamental o planejamento da utilização dos recursos naturais, seja pela complexidade das relações sociais que envolvem sua utilização ou pela finitude dos mesmos (FERREIRA, 2015). Entre os sistemas de uso da terra, o manejo florestal se constitui como atividade potencial na geração de renda, pois possibilita a conservação da biodiversidade, desde que adote preceitos ambientais e econômicos adequados (KANASHIRO, 2014).

A Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012, que estabelece as normas gerais as normas gerais para exploração florestal, define o manejo florestal como “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, cumulativa ou alternadamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não-madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais” (BRASIL, 2012). É considerado um importante instrumento de política pública para frear o processo de desmatamento das florestas nativas, devido a possibilidade do uso sustentável dos recursos florestais com o desenvolvimento socioeconômico regional (LEITE, 2008).

As normas e zoneamento que devem orientar o uso das áreas são definidas pelo Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), um documento técnico básico que define as diretrizes e procedimentos para administração da floresta de acordo com os princípios do manejo florestal sustentável (CONAMA, 2009). Porém, essa atividade enfrenta a exploração ilegal de madeiras nas florestas tropicais que oferta preços mais reduzidos no mercado, quando comparados com as madeiras obtidas nos planos de manejo (ANGELO et al., 2014). É nesse contexto que, segundo Leite (2008), a conservação ambiental das florestas, principalmente no bioma Amazônia, tem sido um dos principais desafios de governos e gestores públicos que atuam para garantir o uso sustentável dos recursos naturais na região.

Essa nova perspectiva quanto às políticas florestais começou a se delinear depois do anúncio do Programa Nacional de Integração (PIN) em 1970, associada à implantação dos princípios científicos do manejo florestal na atividade madeireira (LORIS, 2008). O manejo florestal busca garantir a sustentabilidade de novas colheitas de produtos de origem florestal, tendo como princípio básico o rendimento

sustentável, sua regeneração natural e permitindo a conservação da floresta. Assim, a colheita em florestas nativas deve considerar o conceito de sustentabilidade, como forma de garantir a realização de novos ciclos de corte, que corresponde ao tempo que a floresta leva para recompor o nível de estoque de colheita nas áreas sob manejo florestal (MARTINS et al., 2003).

No bioma amazônico, a diversidade de fitocenoses com expressiva diversidade de espécies, demanda a realização de modelagem criteriosa para estimar o volume de madeira em diferentes áreas, ou até mesmo permitir o planejamento de estimativas precisas da colheita madeireira, fundamentais no planejamento florestal (GOMES et al., 2018). Assim, o planejamento e a gestão do território são essenciais para a regulamentação de seu uso, ocupação e transformação com o objetivo de melhor aproveitá-lo, visando à melhoria das condições de vida das pessoas que habitam na região e utilizam dessa atividade como geração de renda. Nesse sentido, o geoprocessamento possibilita a abordagem dos problemas espaciais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais das questões analisadas, visando contribuir para sua explicação e o acompanhamento da evolução entre o passado e o futuro (FERREIRA, 2015). Ou seja, ao se planejar o uso correto do solo, ocorre um aumento na eficiência do uso dos recursos naturais, além de garantir sua manutenção.

Desta forma, as geotecnologias se apresentam como instrumento para o planejamento ambiental, uma vez que tornam possível realizar tal delimitação. Por exemplo, Barros et al. (2011) abordam o planejamento ambiental a partir do ponto de vista da gestão ambiental com a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), como critério para identificar as áreas legalmente aptas para a exploração sustentável de seus recursos. Souza (2018), conduziu estudos de atributos geomorfológicos para geração e validação de cursos d'água com intuito de identificar a utilidade dos modelos digitais de elevação para monitoramento e manejo de práticas conservacionistas em APPs contendo florestas tropicais. Já Rivera (2007), citado por Gomes e Santos (2020), utilizou técnicas de geoprocessamento para desenvolver uma proposta de ordenamento do território da Reserva Florestal Embrapa/Epagri, integrando informações biofísicas e socioeconômicas, através da aplicação de avaliação multicritério apoiada à fitossociologia e análise multivariada.

Além das geotecnologias, o inventário florestal é essencial para avaliar o potencial florestal de um ecossistema e realizar o planejamento do seu uso,

principalmente, do conhecimento dos produtos de valor econômico que a floresta pode proporcionar à sociedade (GAMA et al., 2007). O inventário florestal subsidia o planejamento das atividades do manejo, além de fundamentar a tomada de decisões estratégicas nos diversos níveis administrativos, podem-se construir modelos estatísticos de crescimento e produtividade que auxiliem no planejamento (VIBRANS et al., 2010; SANTOS, 2012).

O conhecimento do potencial de colheita de madeira dos ecossistemas florestais é de fundamental importância, porque torna possível a seleção de áreas com melhores possibilidades de uso, locação de infraestruturas e definições das atividades a serem desenvolvidas, adequadas às características do meio físico, riscos de causar alterações ambientais significativas. Entende-se como regulamentação florestal a condição de planejamento para que tenha produtos em quantidade e qualidade de forma sustentável em rotações pré-determinadas, sendo influenciada diretamente pelo controle de área florestal e volume de madeira (SANTOS, 2012).

A alocação física da Unidade de Manejo Florestal (UMF) subdividida em Unidade de Trabalho (UT), correspondente a áreas menores de planejamento e controle das atividades florestais, esse processo não resulta em uma produção regular, sendo priorizado o tamanho e não a capacidade produtiva florestal, o que ocasiona uma desigual colheita dos recursos ao longo do ano, principalmente em relação ao volume e renda. Dependendo da localização a UMF pode ser parcelada abrigo áreas de difícil acesso, com volumetria que não compensam o custo da colheita e ainda com a possibilidade de apresentar áreas com APP e rios que comprometem o retorno financeiro da parcela (SABOGAL et al., 2000; AGUIAR et al., 2019).

De forma similar à problemática da delimitação das unidades de trabalho no manejo florestal, ocorre também na divisão dos lotes nos assentamentos da reforma agrária no Brasil. No intuito de melhorar o processo de parcelamento em áreas de interesse em projetos de reforma agrária, Ferreira Neto et al. (2010), apresentaram o Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental (SOTER-PA), pois constatou-se que no planejamento dos lotes de assentamentos existe uma maior preocupação em assentar um grande número de famílias em lotes, no entanto, sem priorizar a qualidade produtiva, social e ambiental das unidades rurais, ou seja, priorizando a quantidade e regularidade dos lotes em detrimento a capacidade produtiva.

Por isso, baseado nessa problemática foi criado um programa para minimizar as falhas observadas nas ações do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) no que se refere ao ordenamento territorial. O SOTER-PA destaca-se em relação a outros procedimentos por acrescentar a sua resolução, o componente de planejamento ambiental que possibilita o delineamento de lotes mais homogêneos das áreas de interesse, visto que antes de gerar o parcelamento é possível por meio de ferramentas de SIG excluir as Áreas de Preservação Ambiental (APP), Reservas Legais (RL) e outras áreas destinadas a usos coletivos, contribuindo para formação de assentamentos rurais mais homogêneos, do ponto de vista da capacidade produtiva das terras (FERREIRA; FERREIRA NETO, 2017).

Diante do aperfeiçoamento do sistema em agrupar novas funções de otimização a variáveis georreferenciadas, ocorre a possibilidade de ampliar seu uso para outras atividades, por exemplo, no manejo de florestas nativas que tem a demanda por um planejamento espacial em decorrência a fatores econômicos e ambientais a serem alcançados. O avanço da tecnologia computacional possibilita a inclusão de muitas variáveis na resolução de problemas que anteriormente não podiam ser resolvidos em função de interações e cálculos necessários para chegar a uma resolução satisfatória (SANTOS, 2012).

Apesar dos resultados positivos no parcelamento de assentamentos rurais, existe a necessidade de estudos voltados para outras áreas de interesse de planejamento ambiental com o uso do *software*. Diante disso, esse projeto visa analisar se o parcelamento realizado pelo programa SOTER-PA com variáveis florestais é capaz de implementar um sistema de regulamentar o delineamento de áreas que auxiliem no planejamento do manejo florestal, com dados de entrada, métodos de solução e interpretação de resultados que não sejam complexos do ponto de vista computacional. Tal perspectiva se apresenta como uma nova possibilidade para o auxílio na tomada de decisões acerca do parcelamento das unidades de manejo florestal com a otimização do trabalho, maximização de renda e ganho ambiental.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade do Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental (SOTER-PA), de forma a

testar sua eficiência na aplicação de variáveis florestais no processo de organização territorial para regulamentação da produção e planejamento do manejo florestal em comparação ao realizado atualmente nos projetos de manejo florestal de nativas. Assim, o estudo foi setorizado com a criação de dois objetivos específicos:

(i) Auxiliar nos ajustes do programa SOTER-PA para que o mesmo seja utilizado no parcelamento em Unidades de Manejo Florestal e comparar rentabilidade das Unidades de Trabalho (UT) geradas pelo SOTER-PA e as do sistema convencional de manejo florestal em nativas em relação ao volume e renda; e

(ii) Avaliar a eficiência do SOTER-PA no planejamento de áreas prioritárias para a conservação, destinadas a espécies remanescentes e uso múltiplo em uma Unidade de Produção Anual (UPA), como subsídio ao planejamento da exploração florestal de impacto reduzido e sustentável.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

Essa seção contextualiza a temática do manejo florestal sustentável, partindo do contexto dos elementos presentes na execução da atividade. Apresenta também o uso de sistemas de suporte ao apoio a tomada de decisões no manejo florestal sustentável. Por fim a origem, evolução e funcionamento do Sistema de Ordenamento Territorial e Planejamento Ambiental (SOTER-PA).

3.1 As atividades do manejo florestal e o ordenamento territorial

O manejo florestal tem como finalidade conseguir que as florestas forneçam de forma contínua benefícios econômicos, ecológicos e sociais, mediante ao planejamento da exploração florestal, visando diminuir os impactos (GAMA; BENTES GAMA; SCOLFORO, 2005). Já exploração florestal refere-se ao conjunto de operações iniciadas com a abertura de acesso à floresta e termina com o transporte das toras para as unidades de processamento, no qual, as pesquisas indicam que, de acordo com as técnicas utilizadas nesse processo, os impactos causados pelas explorações florestais são menores, pois as clareiras são colonizadas de acordo com as técnicas empregadas e suas respostas aos tratamentos silviculturais (HIGUCHI, 1994; MARTINS et al., 1998).

As práticas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR) desempenham um papel importante para que o Manejo Florestal seja efetivo. Essas práticas compreendem o planejamento da extração, uso de infraestrutura adequada e adoção de técnicas

operacionais que objetivam reduzir os danos ambientais da extração de madeira, ao mesmo tempo em que aumentam a eficiência das operações (COSTA; MELO; SANTOS, 2020). Nas florestas nativas além da complexidade de sua composição, outro ponto importante é a definição dos ciclos de corte, a viabilidade econômica dos planos de manejo, além do aumento da eficiência no processo e aperfeiçoamento das técnicas de exploração (SCOLFORO et al., 1996).

Nesse processo o conhecimento do potencial da colheita de madeira dos ecossistemas florestais é de fundamental importância, porque torna possível a seleção de áreas com melhores possibilidades de uso, locação de infraestrutura e definição das atividades a serem desenvolvidas, adequadas às características do meio físico, sem riscos de causar alterações ambientais significativas, essas atividades fazem parte do processo de macroplanejamento. Posteriormente, são realizadas as atividades de microplanejamento, sendo elas: (a) pré-exploratórias; (b) exploração florestal; e (c) pós-exploratórias, de acordo com as características e dimensão da área a ser manejada, poderá ser viável mecanismos cada vez mais precisos no planejamento e exploração florestal em cada etapa dessas (SABOGAL, 2009).

Durante as atividades pré-exploratórias é delimitada a Unidade de Produção Anual (UPA) para a delimitação física dentro da Área de Manejo Florestal (AMF), sendo caracterizada pela legislação florestal, como a área total da propriedade a ser utilizada para manejo florestal, posteriormente são delimitadas as Unidades de Trabalho (UT) ou talhão, que consiste na subdivisão da UPA em áreas menores de planejamento e controle das atividades florestais que serão desenvolvidas ao longo do ano (IFT, 2002; SABOGAL, 2009).

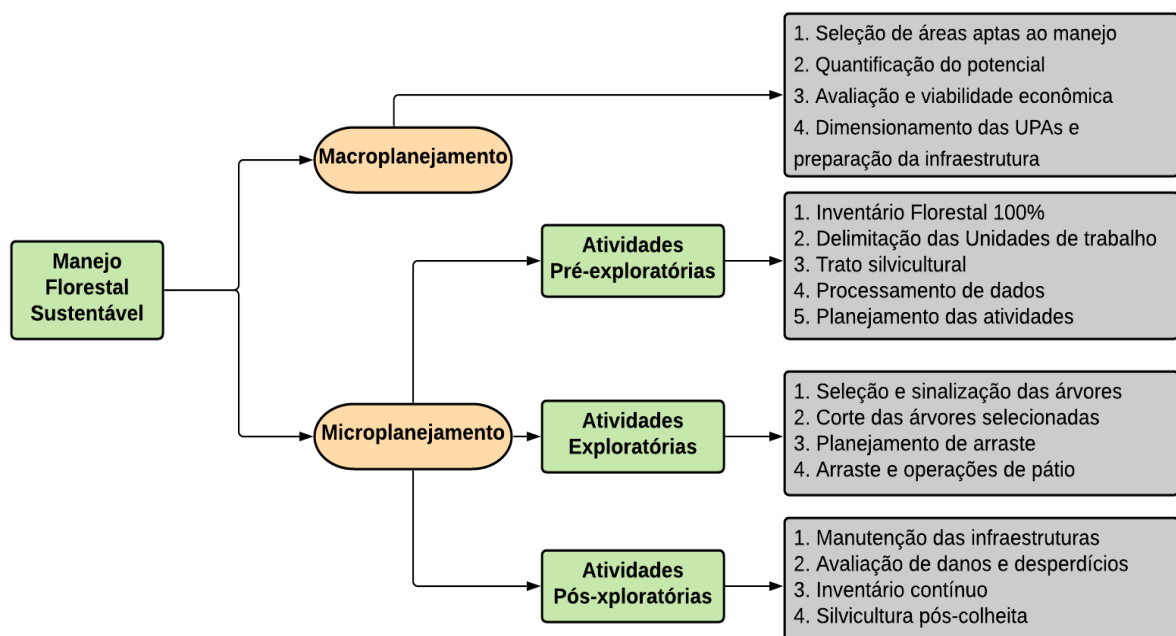
Dentro de cada UT é realizado o inventário 100% ou pré-exploratório em toda área de interesse, com o mapeamento e classificação de todas as árvores de acordo com suas possibilidades de aproveitamento e destinação de uso (por exemplo, aptas a exploração, destinadas ao estoque, protegidas por lei, entre outras) (ARAÚJO, 2006). As atividades pré-exploratórias são pensadas para possibilitar o planejamento nas próximas etapas de exploração e pós-exploração de maneira permanente. Além das atividades já citadas, temos também a implantação da infraestrutura (vias de acesso, armazenamento, escoamento de produção) que será utilizada ao longo de todo o processo (ROTTA; MICOL; SANTOS, 2006).

A etapa exploratória é a etapa mais importante do ponto de vista econômico, e corresponde à exploração da madeira, as atividades desenvolvidas nessa etapa são: a seleção e sinalização das árvores exploratórias, o corte, o planejamento de arraste, o arraste e as operação de pátios. É na etapa exploratória que é evidente o aumento da produtividade em relação ao uso de técnicas de impacto reduzido comparadas à exploração convencional, todavia muitos empresários e profissionais do setor florestal ainda não são adeptos a essas técnicas, pois acreditam que o custo para a exploração é maior (PINTO et al., 2002; ESPADA et al., 2015).

Já a etapa pós-exploratória abrange todas as atividades realizadas após a exploração e se referem ao processo de acompanhamento da dinâmica de crescimento e monitoramento para a viabilidade de novos ciclos de cortes (ESPADA et al., 2015). Os métodos silviculturais que são empregados nessa etapa ainda são fatores limitantes, devido à variedade das espécies encontradas nos trópicos, porém de acordo com pesquisas os procedimentos adotados tem influência positiva na floresta remanescente para garantir a sustentabilidade do manejo em florestas nativas.

Os procedimentos técnicos para condução das atividades de manejo florestal de impacto reduzido, estão representadas no fluxograma abaixo (Figura 01).

Figura 01 – Fluxograma com as etapas do manejo florestal sustentável.



A realização do conjunto de atividades voltada ao manejo florestal tem relação direta com a organização do território. O ordenamento territorial é uma ferramenta de planejamento do uso da terra considerando todos os recursos e limitações de cada área ou propriedade, já o ordenamento florestal consiste na organização de uma floresta, visando seu manejo sistemático e sustentável (LUZ et al., 2008). No método de ordenamento florestal por talhões, a superfície a ser ordenada é dividida em unidades territoriais progressivamente menores (MARAN et al., 2020). Ou seja, o ordenamento do recurso florestal para o rendimento sustentado é a maneira de garantir que as ações de manejo assegurem a melhoria da floresta no que se referente a estrutura, florística, manutenção da capacidade de reprodução e perpetuação da espécie (ROSOT, 2007). De acordo com Molina et al. (2011), o ordenamento pode ser definido como sistema de uma área florestal de modo a assegurar sua regeneração para a perpetuação da floresta em uma unidade de manejo florestal.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são ferramentas fundamentais no processo de ordenamento territorial, pois apresentam inúmeras possibilidades de utilização no planejamento e gestão de territórios, nesse contexto as geotecnologias, vêm evoluindo e colaborando com informações necessárias ao gerenciamento dos recursos florestais. Entre as vantagens da inclusão destas ferramentas no manejo, destaca-se, a maior precisão das informações, as quais possibilitarão um planejamento florestal mais harmônico com o ecossistema manejado e de menor custo, como consequência temos os danos ambientais reduzidos e o alto rendimento das operações de campo (FIGUEIREDO et al., 2008).

3.2 Sistemas de suporte no apoio à tomada de decisões

Os problemas de planejamento florestal são complexos, portanto, demandam esforços para alcançar soluções razoáveis. Entre os fatores que dificultam, temos o elevado número de variáveis ou alternativas de manejo, múltiplos objetivos, necessidade de aumentar a eficiência do processo e a escassez de técnicas no auxílio a tomada de decisões (SILVA et al., 2009). O setor florestal tem se aperfeiçoado na utilização de ferramentas de apoio para tomada de decisões, dentre elas destaca-se técnicas de inteligência artificial e computacional como as redes neurais artificiais e busca heurísticas, além da parametrização e modelos matemáticos para a solução de problemas no setor (BINOTI, 2012).

No entanto, o que vai determinar o método mais apropriado é a natureza matemática das variáveis envolvidas, ou seja, construir um modelo requer gerar

alternativas, em geral através de rotinas computacionais. As alternativas no manejo ocasionadas por determinados problemas dependem de fatores como: número de unidades de produção, estrutura dos povoamentos (regime de manejo, idade, espécies) e outras decisões consideradas pelo responsável técnico (desbaste, aquisição de terras e outras), podendo apresentar inúmeras alternativas como solução (RODRIGUES, 2001).

De forma geral, os problemas científicos podem ser formulados por meio de problemas de otimização com objetivo de encontrar combinações de fatores que proporcione a melhor solução, sendo o número de combinações determinado por um conjunto de regras e restrições. Ao considerar os problemas de otimização podemos seguir, basicamente, dois caminhos, de acordo com o uso de sistemas computacionais, sendo eles os algoritmos exatos que apresentam a vantagem de apresentar soluções exatas ao problema e os algoritmos heurísticos que embora não forneçam a solução ótima, são capazes de soluções aceitáveis em um tempo viável (FERREIRA NETO et al., 2011), inclusive para problemas complexos, com baixo custo computacional. Segundo Goldberg (1989), citado por Moreira et al. (2011), um problema é dito algorítmico quando admite um algoritmo capaz de receber os dados de entrada e encontrar uma solução que seja adequada.

Rodrigues (2001) em seu estudo sobre gerenciamento de recursos florestais, sugeriu as técnicas heurísticas como uma alternativa viável as dificuldades de planejamento, devido ao sucesso dessas técnicas em problemas combinatórios em diferentes áreas, incluindo o uso dos heurísticas mais convencionais até os metaheurísticas que são mais complexas. Entre os algoritmos conhecidos e que estão classificados como metaheurísticas encontram-se: Busca Tabu (BT), *Simulated Annealing* (SA), Algoritmos Genéticos (AG), entre outros (RODRIGUES et al., 2003; RODRIGUES et al., 2006; NASCIMENTO et al., 2013).

As facilidades do uso dessas técnicas, sua implementação e a eficiência são as principais vantagens em relação ao sistema convencional de planejamento florestal. Liu e Lin (2015), propuseram um algoritmo para resolução do planejamento em colheita florestal cujo o objetivo foi maximizar o volume de madeira ao longo do tempo, o modelo impede que talhões sejam colhidos em um mesmo período e o volume colhido durante os períodos o mais equilibrado possível.

Por outro lado, no manejo florestal moderno ainda é difícil construir soluções para problemas realísticos em decorrência as poucas ferramentas de alternativas de

manejo e a dificuldade em associar as eventuais alternativas a dados consistentes e que se aproximem da realidade, principalmente, quando se maneja florestas nativas em que a complexidade das espécies encontradas é maior.

3.3 Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental – SOTER-PA

Os questionamentos relacionados ao modelo de ordenamento dos territórios destinados aos assentamentos de Reforma Agrária no grupo de pesquisa sobre Movimentos Sociais no Campo, Reforma Agrária e Associativismo, da Universidade Federal de Viçosa - UFV, iniciaram-se em 2005 em trabalhos relacionados ao licenciamento ambiental de assentamentos em Minas Gerais, no qual foi observado que a delimitação dos lotes familiares nos assentamentos rurais eram loteados em formatos homogêneo levando em consideração somente a área, desconsiderando aspectos físicos, tipo de solo, relevo, hidrografia e aptidão para a produção agrícola (FERREIRA, 2015). Tomando essa problemática do parcelamento como referência, foi criado um aplicativo como apoio na solução de falhas observando as ações do INCRA referentes ao ordenamento territorial dos assentamentos rurais.

A primeira versão de uma alternativa para o parcelamento dos lotes em assentamentos rurais por meio de um sistema de computador foi apresentada por Santos Júnior (2007) em sua dissertação de mestrado, em Extensão Rural, na Universidade Federal de Viçosa. Essa proposta era restrita a apenas um assentamento teste e baseava-se em Algoritmos Genéticos, os quais buscam simular computacionalmente a Teoria da Evolução de Darwin, em que somente os mais adaptados, ou com melhor *fitness*, sobrevivem e se reproduzem. Isto é, em um sistema baseado na busca por algoritmos genéticos, uma população de possíveis soluções para um problema analisado evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas biológicas, havendo uma tendência de que os indivíduos apresentem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo prossegue (TANOMARU, 1995).

No entanto, apesar dos algoritmos genéticos trabalharem com uma população de soluções, possuem uma restrição ao operador de cruzamento, ou seja, quando aplicado em uma solução pode gerar disparidades quanto ao tamanho da área de cada parcela, bem como a contiguidade dos mesmos no terreno (MOREIRA et al., 2011). Diante disso, a segunda versão do programa SOTER-PA é baseada no algoritmo Busca Tabu, na tentativa de resolver os problemas identificados na versão

anterior, relacionados à disparidade do tamanho dos lotes, bem como à contiguidade dos mesmos, o método vem sendo utilizado com sucesso a problemas combinatórios. O Busca Tabu foi proposto por Glover (1989; 1990), citado por Moreira et al. (2011), sendo uma metaheurística fundamentada em busca local ou busca em vizinhança, baseado em mecanismos de memória adaptativa, tanto a curto como a longo prazo, podendo ser aplicado em problemas de otimização combinatória. A partir dessa adaptação foi possível a geração de soluções diferentes sem que seja alterada de maneira drástica a solução inicial existente. Além disso, este método gera um conjunto de soluções vizinhas de maneira sistemática, de forma que a continuidade de alocação dos lotes não seja alterada (MOREIRA et al., 2011).

O *software* subdivide lotes de assentamentos de reforma agrária usando o algoritmo genético (AG) proposto por Gliesch et al. (2017). Uma grade de células regulares e retangulares representa uma entrada para o algoritmo, sendo que o peso de cada célula pode representar, por exemplo, o peso de um nível de aptidão do solo, no qual o objetivo é minimizar o desvio padrão da função de *fitness* adotada. Para otimizar o desempenho do AG em termos de armazenamento, acesso e atualização de soluções durante as interações, os autores armazenaram apenas a borda de cada lote. Os indivíduos são gerados por uma heurística construtiva aleatória baseada no diagrama de Voronoy. O esquema de seleção consiste na função de 3 torneios. Para combinar duas soluções, o operador de *crossover* usa um algoritmo de correspondência perfeita de peso máximo como base, que mantém parcelas de terreno semelhantes de ambas as soluções e reconstrói uma solução filha por heurísticas construtivas. O operador de mutação remove unidades próximas aos limites entre os lotes e reconstrói avidamente a solução, assim mantém a contiguidade do lote. Portanto, ao aplicar o elitismo de uma geração para outra, armazenando alguns dos melhores indivíduos em uma iteração, obtém como resultado uma porcentagem de soluções-filho e gerando aleatoriamente as soluções restantes.

Para os casos em que a qualidade física do lote é menor, há uma compensação no tamanho do mesmo, o qual será maior em relação aqueles que possuem melhor qualidade em termos da função de otimização. Assim, apesar de não haver uma homogeneidade em relação ao tamanho e a forma dos lotes, o que se pretende é que haja uma maior semelhança em termos de produtividade agrícola entre os lotes destinados às famílias assentadas, o que não é contemplado se considerada a metodologia de parcelamento utilizada pelo INCRA (FERREIRA NETO et al., 2010).

Ferreira (2015) realizando testes com SOTER-PA em áreas de assentamentos de reforma agrária, descreveu os procedimentos necessários, considerando a função escolhida como aptidão agrícola, sendo necessário ter um mapa georreferenciado em formato *shapefile* (.shp) que possua um atributo para representar tal função. Esse atributo deve ser um valor numérico para que, posteriormente, funcione como um identificador para a aptidão agrícola na representação matricial do mapa. Tal representação é necessária para que o *software* possa ler o mapa. Dessa forma, o usuário deve enviar ao sistema um arquivo texto (.txt) com todas as informações que irão orientar o parcelamento, sendo elas: nomes dos arquivos textuais referentes ao limite da área a ser parcelada e mapa de aptidão agrícola do mesmo (obtidos através do arquivo *shapefile*); área mínima e máxima em pixels; número de classes de aptidão agrícola e notas atribuídas a cada uma delas.

As notas são atribuídas a classes de aptidão agrícola, referentes ao atributo numérico do arquivo *shapefile* escolhido para a função objetivo. Assim, a nota dada a cada identificador numérico representa o grau de produtividade de cada parte do terreno. É importante ressaltar que a obtenção de arquivos textuais a partir de um arquivo *shapefile* é uma funcionalidade de SIGs. Portanto, era necessário utilizar algum SIG para realizar as conversões. Ao final, a segunda versão gerava como solução três arquivos finais, todos no formato (.txt): (i) arquivo do mapa do parcelamento (matriz numérica); (ii) arquivo contendo o índice de produtividade de cada lote delineado; e (iii) arquivo contendo a área de cada lote. Para gerar o mapa final do parcelamento, era necessário utilizar um módulo externo ao SOTER-PA, denominado GeraMapa. Tal módulo recebe o arquivo do mapa do parcelamento (.txt) e cria uma imagem (.png), que diferencia os lotes por cores. Por fim, para obter o parcelamento na forma de um arquivo georreferenciado, era necessário a utilização de um SIG para vetorizar o arquivo de imagem (.png) e transformá-lo no formato *shapefile*.

Após testes o SOTER-PA apresentou resultados positivos, pois possibilitou o delineamento de lotes mais homogêneos do ponto de vista da capacidade produtiva que o parcelamento original realizado pelo INCRA. Nesse sentido, o SOTER-PA não somente se mostrou eficiente do ponto de vista operacional como traz consigo uma proposta acerca do planejamento ambiental, ressaltando a necessidade de um levantamento de qualidade dos recursos naturais disponíveis em áreas de interesse,

que possa auxiliar na tomada de decisão acerca da distribuição de tais recursos em função de seus usos (FERREIRA, 2015).

Mesmo diante de resultados positivos com a segunda versão, o SOTER-PA exigia que os usuários executassem uma série de atividades repetitivas para a preparação dos dados de entrada, sendo necessário um pré-processamento, com o apoio de outros programas, normalmente, Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), além da sua interface de dados difíceis de serem trabalhadas por usuários que não estivessem familiarizados com as linhas de comando (FERREIRA, 2017). Diante disso, como resultado da monografia de Ferreira (2017) ao curso de Sistema de Informação pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, foi desenvolvida uma nova versão do SOTER-PA, com novas funcionalidades e recursos.

Essa nova versão possibilitou o novo sistema como potencial em ser utilizado em diversos contextos referentes a problemas de parcelamento territorial e planejamento ambiental, pois o usuário pode escolher qual será o atributo do arquivo de entrada, não somente baseado na aptidão agrícola como aplicado anteriormente, mas em qualquer outro parâmetro conveniente (desde que esteja contido no arquivo de entrada). Desta forma, o processo de ordenamento do território cumpriria suas funções elementares de direcionar o melhor uso dos recursos naturais disponíveis, de forma a possibilitar acesso a condições mais homogêneas de produtividade, em um sistema que apresenta ferramenta de otimizar o trabalho e gerar um ganho ambiental do ponto de vista da capacidade produtiva.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ORGANIZAÇÃO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho de dissertação foram sintetizados nos fluxogramas abaixo (Figuras 2 e 3). O detalhamento de tais procedimentos será apresentado no Artigo científico 01- *Territorial planning support tool for sustainable forest management in the Amazon*; e 02 - *O SOTER-PA como ferramenta de apoio a gestão sustentável da vegetação remanescente em unidades de manejo florestal sustentável*.

Figura 02 – Fluxogramas com etapas metodológicas para elaboração do artigo 01: *Territorial planning support tool for sustainable forest management in the Amazon.*

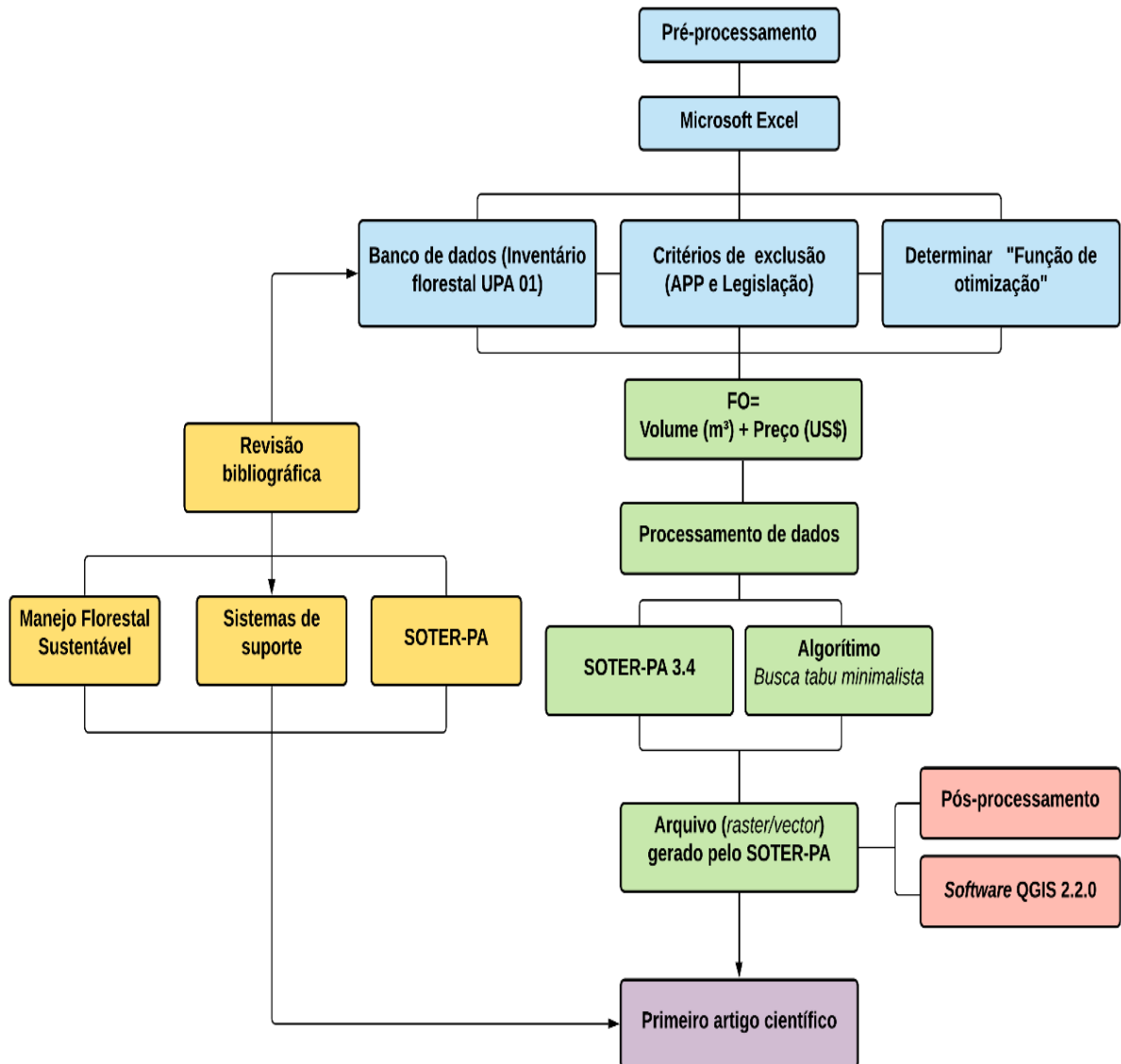
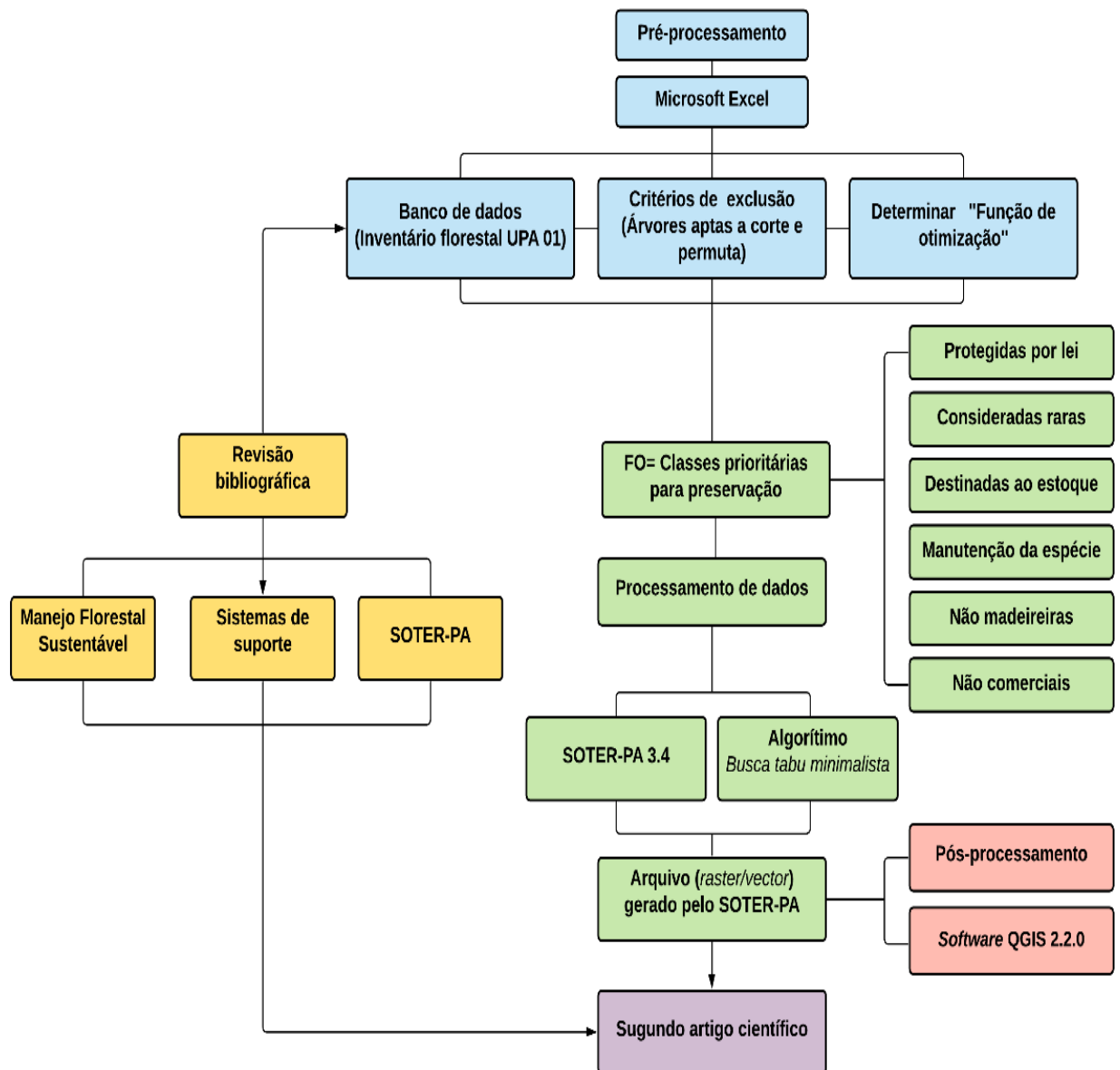


Figura 03 – Fluxogramas com etapas metodológicas para elaboração do artigo 02: *O SOTER-PA como ferramenta de apoio a gestão sustentável da vegetação remanescente em unidades de manejo florestal sustentável.*



REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. F. C. et al. **Manejo florestal comunitário como estratégia de gestão e melhoria da qualidade de vida da população tradicional da Floresta Nacional do Tapajós.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, 3, 2014. Viçosa, Minas Gerais. Anais [do] III Simpósio Nacional de Áreas Protegidas, 28 a 30 de maio de 2014, Viçosa, MG; Organizadores: LIMA, G. S. [et al.]. UFV, DEF, 2014. p. 499.

ANGELO, H., et al. Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 44, n. 3, p. 341- 348, jul./set., 2014.

ARAUJO, H. J. B. Inventário florestal a 100% em pequenas áreas sob manejo florestal madeireiro. **Acta Amazônica**. Rio Branco - AC, v. 36, n. 4, p. 447 – 464, 2006.

BALIEIRO, M. R. et al. As Concessões de Florestas Públicas na Amazônia Brasileira. **Um manual para pequenos e médios produtores florestais**. Belém. **IMAFLORA - Instituto Floresta Tropical**, 2010.

BARROS, K. O. et al. Os SIG's como ferramentas para o planejamento territorial. In: **Desenvolvimento Rural, Sustentabilidade e Ordenamento Territorial**. Organizadores: FERREIRA NETO, J. A., EINLOFT, C. J., GONÇALVES, R. L. Viçosa, MG: UFV; Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 27-38, 2011.

BRASIL. Lei nº 73.684 de 19 de fevereiro de 1974. Cria a Floresta Nacional do Tapajós, e dá outras providências. Brasília, DF, 19 fevereiro 1974.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: 18 julho 2000.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 406, de 2 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável-PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Brasília, DF: 2 fev. 2009.

COSTA, M. S.; MELO, L. O.; SANTOS, M. G. S. Efeito da extração de madeira sobre a estrutura e a dinâmica da vegetação em área manejada na Flona do Tapajós. In: **Ciência aplicada ao uso múltiplo da floresta no baixo rio Amazonas**. Curitiba – SC. Editora CRV, 2020. P. 129 – 150, 2020.

ESPADA, A. L. V. et al. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico**. Belém, IFT, 2015.

ESPADA, A. L. V. et al. Manejo florestal comunitário em parceria na Amazônia brasileira: o caso da Flona do Tapajós. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 1, 2018.

FERREIRA NETO, J. A. et al. O uso do Aplicativo SOTER e da Cartografia Social na Organização Territorial em Projetos de Reforma Agrária. In: **Recursos naturais, Sistemas de Informação Geográfica e Processos Sociais**. Organizadores: FERREIRA NETO, J. A., SOUSA, D. N. de, MILAGRES, C. S. F. Viçosa, MG: UFV; Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 238-248, 2010.

FERREIRA, F. M. **Aptidão agrícola das terras como função de otimização para o ordenamento territorial e planejamento ambiental: uma análise do SOTER-PA**. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

FERREIRA, F. M.; FERREIRA NETO, J. A. O SOTER-PA como alternativa para ordenamento territorial dos assentamentos rurais de reforma agrária. **Revista Espacios**. v. 38, n. 13, p. 12, 2017.

FERREIRA, M. S. **SOTER-PA: Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento ambiental**. Monografia (Sistema de informação). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FIGUEIREDO, E. O. et al. **Avaliação de procedimentos para localização de árvores em inventários florestais censitários, visando o emprego do manejo de precisão**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL: PRODUÇÃO DE BENS MATERIAIS E IMATERIAIS, n. 4., 2008, Santa Maria. Anais...Santa Maria: UFSM, 2008.

GAMA, J. R. V. et al. Fitossociologia de duas fitocenoses de Floresta Ombrófila Aberta no Município de Codó, Estado do Maranhão. **Revista Árvore**, v. 31, p. 465 - 477, 2007.

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

GOMES, K. M. A. et al. Eficiência na estimativa volumétrica de madeira na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 2, p. 170-176, 2018.

GOMES, K. M. A.; SANTOS, L. E. Geoprocessamento aplicado ao manejo florestal na Amazônia. In: **Ciência aplicada ao uso múltiplo da floresta no baixo rio Amazonas**. Curitiba – SC. Editora CRV, 2020. P. 129 – 150, 2020.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**. v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

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

IBAMA. Floresta Nacional do Tapajós: Plano de Manejo; IBAMA: Brasília, DF, Brasil, 2004.

ICMBio. **Relatório: Levantamento de Famílias da Floresta Nacional do Tapajós**. ICMBio: Santarém, PA, Brasil, 2015.

Instituto de Florestas Tropicais – IFT. **Manual de procedimentos técnicos para a condução de manejo florestal e exploração de impacto reduzido**. Belém, 2002.

JÚNIOR, R. A. P.; MARTINS, D. P.; PEREIRA, D. C. P. Práticas de manejo e exploração florestal no âmbito do projeto tapajós. In: **Floresta nacional do Tapajós: Experiências e lições para a implementação do manejo florestal em unidades de conservação**. JÚNIOR, R. A. P. Belém: Projeto Tapajós, 2006.

KANASHIRO, M. O manejo florestal e a promoção da gestão dos recursos florestais em áreas de uso comunitário e familiar na Amazônia. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 31, n. 2, p. 421-427, 2014.

LEITE, F. S. **Estimativa do volume a partir do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2008.

LEITE, H. G., ANDRADE, V. C. L de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 321-328, 2002.

LIU, W. Y.; LIN, C. C. Spatial forest resource planning using a cultural algorithm with problem-specific information. **Environmental Modelling & Software**, v. 71, p. 126-137, 2015.

LORIS, E. M. **Na trilha do manejo científico da floresta tropical: indústria madeireira**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas, Belém, v. 3, n. 3, p. 289-309, 2008.

LUZ, J. et al. O SIG como apoio ao ordenamento de florestas naturais. In: **Anais do VII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

MARAN, J. C. et al. Ordenamento florestal por talhões: metodologia apoiada em SIG e silvicultura para o manejo de florestas nativas. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 997-1008, 2020.

MARTINS, S. S. et al. Efeito da exploração florestal seletiva em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**. v. 27, n.1, 2003.

MOREIRA, M. C. O.; FERREIRA NETO, J. A.; EINLOFT, C. J.; SILVA, N. T. C. O uso da Busca Tabu no ordenamento territorial em assentamentos rurais: reconfigurando o SOTER-PA (Sistema de Ordenamento Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental). In: **Desenvolvimento Rural, Sustentabilidade e Ordenamento Territorial**. Organizadores: FERREIRA NETO, J. A., EINLOFT, C. J., GONÇALVES, R. L. Viçosa, MG: UFV; Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 265-271, 2011.

OLIVEIRA, R. C. A. et al. Equações volumétricas para *Couratari stellata* AC Smith (Tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 2, p. 138-144, 2017.

ROTTA, G. W.; MICOL, L.; SANTOS, N.B. **Manejo sustentável no portal da Amazônia um benefício econômico, social e ambiental**. Alta Floresta: IMAZON, 2006.

SABOGAL, C. et al. Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de Terra Firme na Amazônia Brasileira. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2000.

SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades – relatório síntese**. Belém: Cifor, Imazon, Embrapa, 2006.

SABOGAL, C. et al. **Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

SANTOS JÚNIOR, E. C. **O ordenamento territorial em assentamentos rurais: uma análise utilizando algoritmos genéticos**. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

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

SCOLFORO, J. R. S. et al. Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 112 - 137, 1996.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J.; LOPES, J. C. A. **Inventário Florestal de uma Área Experimental na Floresta Nacional Do Tapajós**. Boletim Pesquisa Florestal, Colombo. N. 10-11, p. 38 - 110, 1985.

SILVA, G. F. et al. Metaheurística algoritmo genético na solução de modelos de planejamento florestal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 160-166, 2009.

SOUZA, R.T. **Estudo comparativo entre diferentes modelos digitais de elevação na extração da rede de drenagem em área submetida ao manejo florestal sustentável**. 2018. 66 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade do Estado do Amazonas, Bacharelado em Engenharia Florestal, Itacoatiara, Amazonas, 66 f. 2018.

TANOMARU, J. Motivação, fundamentos e aplicações de algoritmos genéticos. In: **II Congresso Brasileiro de Redes Neurais**. Curitiba, PR, p. 373 – 403, 1995.

VIBRANS, A. C. et al. Inventário florístico florestal de Santa Catarina (IFFSC): aspectos metodológicos e operacionais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 291, 2010.

BINOTI, D. H. B. et al. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 122 F. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

RODRIGUES, F. L. **Metaheurística e sistema de suporte à decisão no gerenciamento de recursos florestais**. 2001. 239 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

RODRIGUES, F. L. et al. Solução de problemas de planejamento florestal com restrições de inteireza utilizando Busca Tabu. **Revista Árvore**, 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. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 769-778, 2006.

NASCIMENTO, F. A. F. et al. **Meta-Heurística Otimização por Enxame de Partículas Aplicada ao Planejamento Florestal**. In: LOPES, H. S.; RODRIGUES, L. C. A.; STEINER, M. T. Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional. Curitiba: Omnipax, 2013. Cap. 22, p. 355-366.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. **Inventários florestais na Amazônia**. Boletim do Serviço Florestal, n. 6, p. 1-100, 1963.

5 ARTIGOS CIENTÍFICOS

5.1 Territorial planning support tool for sustainable forest management in the Amazon

TERRITORIAL PLANNING SUPPORT TOOL FOR SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN THE AMAZON

Bianca Diniz da ROCHA¹
José Ambrósio FERREIRA NETO¹
Mayron César de Oliveira MOREIRA²

¹ Department of Rural Economy, Federal University of Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

² Department of Computer Science, Federal University of Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brazil.

Abstract: This work the efficiency of the computer system SOTER-PA in the territorial organization process more homogeneous Work Units regarding the forest productive capacity. The analyzes compared SOTER-PA with the process currently used in native forest management projects, using the forest inventory as a reference. Trees suitable for cutting were considered their productive capacity was estimated through volume and market value. To compare with the management plan available for the Tapajós National Forest, Pará, Brazil, the SOTER-PA, a computer system based on algorithm, aimed to obtain a more homogeneous territorial planning structure for better use of natural resources and greater economic profitability of the activity. The tests a new organization of Forestry Work Units, allowing a more balanced income between them, and delimiting the area of the compartments to be explored in each planned cutting cycle. As a result, the use of SOTER-PA proved to be an efficient alternative in optimizing the territorial planning of sustainable forest management.

Keywords: Forest Management, Territorial Planning, Combinatorial Optimization, SOTER-PA.

1 Introduction

To ensure the efficiency of the territorial planning process is necessary to guarantee the economic viability of forest management, especially in native forests, whose wood volume varies according to the productive capacity causing an irregular distribution of the species of interest. Thus, one of the main challenges in planning

forest harvest is to regulate yield to minimize the risks of causing significant environmental changes (MARAN et al., 2020).

A management plan starts addressing the issues of the physical location of the activities, distribution of work units, and the impacts on spatial natural resources. The modern advances in geoinformation technologies, which are a set of methods, approaches, and devices to deal with spatial issues (LEMMENS, 2011), made territorial management planning more effective and able to reach simultaneously different planning scales (EMMERT, 2021). Also, georeferenced data analysis tools have become more robust and allow solving and optimizing-complex spatial problems related to the forest.

Forest order consists of organizing the forest territory to sustainable and systematic management (LUZ et al., 2008). Traditionally, forest management areas are planned so that the Annual Yield Units (AYU) are subdivided into Work Units (WU). WU are small areas for planning and control of forest activities, generally between 10 and 100 hectares. However, this is not a rule (ESPADA et al., 2015). Also, when possible, regular size and shape (square or rectangle) are prioritized, which may unbalance the annual yield since native forests have irregular volumetric density and distribution.

Therefore, it is not always possible in native forests to obtain a similar wood volume and income in the managed areas due to the irregular distribution of species of commercial interest in the natural environment. As a result, the wood harvest income may be satisfactory in a given Work Unit. In contrast, in another WU, neighboring and with the same dimensions, the economic income may be insufficient to cover the operation costs due to the lower natural availability of the species with high commercial value and smaller wood volume. This situation is commonly called “weak” Work Units.

Thus, designing the productive capacity of each Work Unit in the management of native forests is directly related to decision-making in planning the dimensions of the area to be managed. In other words, native forests have a heterogeneous dispersion, while planted forests are planned to form more homogeneous stands with planting alignment, crown architecture, and uniform growth (COELHO et al., 2021; SOUZA; SOARES, 2013; SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Among the alternatives to assist forest planning considering aspects such as volume, the structure of the stands (management, age, species), among other factors, there are artificial and computational intelligence methods, such as neural networks

and heuristic search. Different studies have evidenced the use of these methods for even and uneven forest stands (CORDEIRO et al., 2015; MIGUEL et al., 2015; REIS et al., 2018; ROCHA et al., 2018; SANTOS et al., 2018).

The Territorial Planning System of Agrarian Reform and Environmental Planning (SOTER-PA) is a product of the discussions on the progress and trends of researches to solve territorial subdivision problems in the political, productive, and environmental scope among the group formed by researchers of the Federal University of Viçosa – UFV, Federal University of Lavras – UFLA, and Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS.

The software subdivides lots of land reform settlements using as a solver the genetic algorithm (GA) proposed by Gliesch et al. (2017). A grid of regular and rectangular cells represents an input of the algorithm. The weight of each cell can represent, for example, the weight of a soil aptitude level. The objectives to minimize the standard deviation of the fitness function adopted. To speed up the performance of the GA concerning store, access, and update over the solutions during the iterations, the authors stored only the border of each lot. Individuals are generated by a randomized constructive heuristic based on the Voronoi diagram. The selection scheme consists of the 3-tournament function. To combine two solutions, the crossover operator uses a maximum weight perfect matching algorithm as a basis, which keeps similar land parcels of both solutions and rebuilds a child solution by the constructive heuristic. The mutation operator removes units near the borders between lots and greedily reconstructs the solution. Note that all the operators maintain the contiguity of the lots. The authors applied elitism from one generation to another, storing some of the best individuals of an iteration, a percentage of child solutions, and randomly generating the remaining solutions.

Hence, the main function of the territorial planning process is to guide the best use of available natural resources to provide access to more homogeneous conditions of yield in a system with tools to optimize work and generate an environmental gain in the productive capacity, with the possibility of expanding its use under problems for land use planning.

In this study, we evaluated the efficiency of SOTER-PA in the territorial planning process of designing Work Units more homogeneous in forest productive capacity, in terms of wood volume and income, than the current management of native forest projects. The use of SOTER-PA can enable a process of sustainable use of natural

resources with higher income and more rational use of the stock of native forests, as shown in the studies by Ferreira Neto (2011), Moreira et al. (2011), and Ferreira (2015).

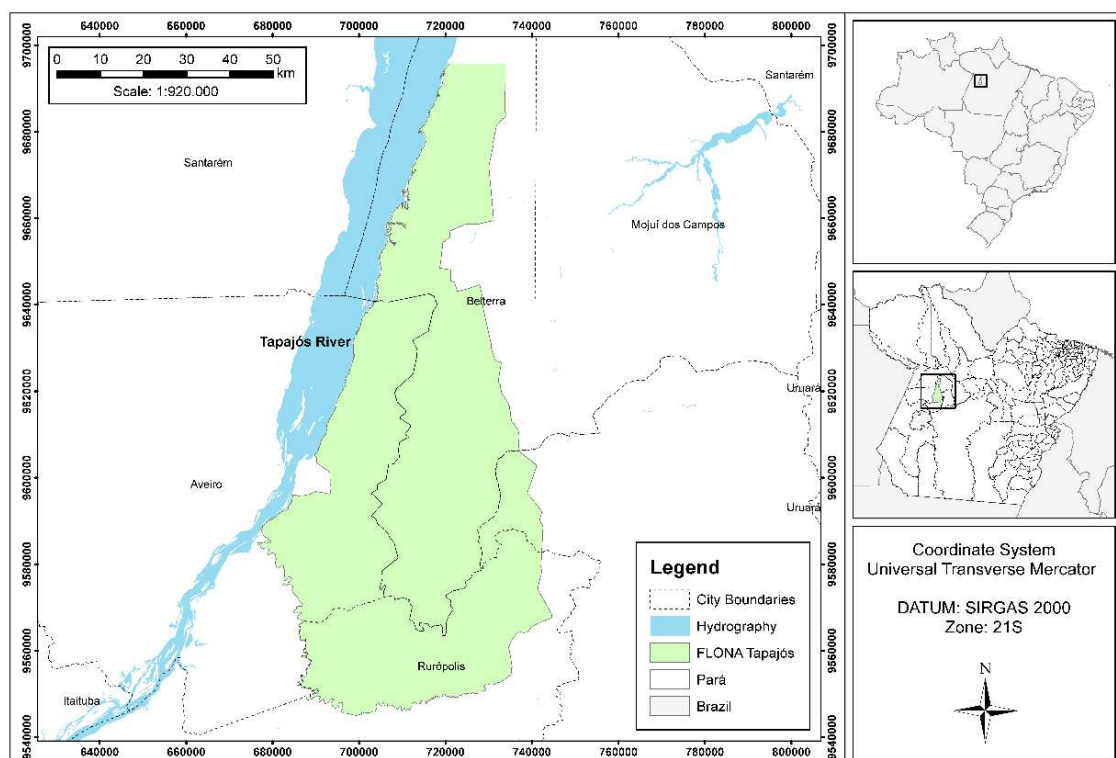
2 Material and methods

2.1 Study Area

A management area in the Tapajós National Forest (Flona Tapajós) was used to analyze the viability of using SOTER-PA to plan the sustainable management of native forests (Figure 01). Created in 1974, through Decree N° 73,684, with the objective of "multiple uses of forest resources and scientific research", Flona Tapajós is at the Forest District of BR-163 (Santarém-Cuiabá Road) western region of Pará (BRAZIL, 2000).

Sustainable Use Conservation Units are an alternative to local development as they enrich the ways of life and culture of the traditional communities that live in them, allowing a sustainable dynamic in the exploration of natural resources (TEIXEIRA et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2018). Thus, these territories are fundamental in the perspective of development, forms of appropriation, and management of natural resources through social participation.

Figure 01. Location of the Tapajós National Forest, Pará, Brazil.



Source: Prepared by the authors.

Flona Tapajós has an area of 527 thousand hectares and covers the cities of Santarém, Aveiro, Belterra, Placas, and Rurópolis. The main access routes are the Tapajós River and the BR-163 road. Managed by the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation - ICMBio, this unit is a reference in Brazil and Latin America for social and environmental management, sustainable use, and scientific research (IBAMA, 2004; ESPADA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019).

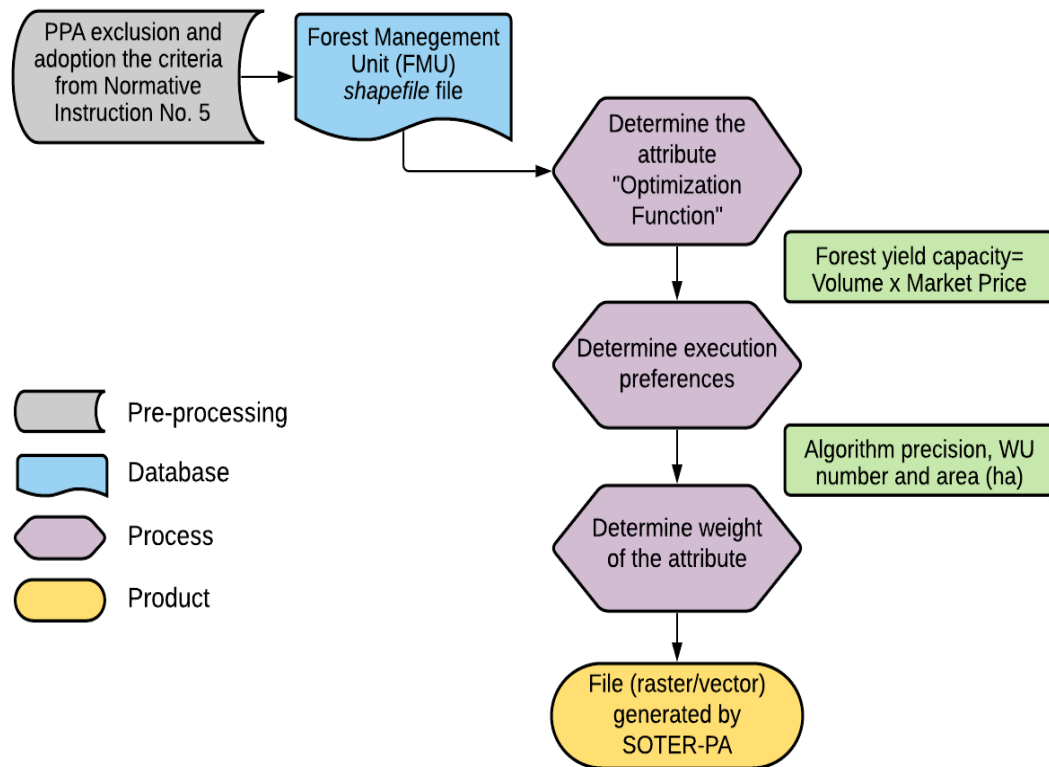
Flona Tapajós was the first Sustainable Use Conservation Unit in Brazil to adopt wood forest management through a project financed by the International Tropical Wood Organization – ITTO in an area of 3,200 hectares from 1999 to 2003 by the company Agropecuária Treviso Ltda, linked to CEMEX (Comercial Madeiras Exportação S.A.). During this period, the first mobilizations to implement a project for forest management that involved the community emerged, which motivated the managers to understand that the residents could also manage in a similar condition, thus demonstrating the technical and economic viability of the use of Amazon's upland forests for wood production (ANDRADE et al., 2014; SILVA; CARVALHO; LOPES, 1985).

Since 2005, the Mixed Cooperative of Flona of Tapajós (COOMFLONA) has held a concession for commercial exploration. Currently, COOMFLONA, formed exclusively by community members from the territory, carries out its activities with 200 cooperative members from 21 of the 23 existing communities. Thus, the data used in this research were obtained through the 100% forest inventory in the COOMFLONA UPA 01, which was commercially managed in 2020 and has an inventoried area of 2,218.6997 hectares. A total of 28,369 trees were inventoried, corresponding to 93 species and a total volume of 123.894,1158 m³ (Plano Operacional Anual – COOMFLONA, 2019).

2.2 Methodological procedures

The methodological basis for obtaining results started with processing the forest inventory database with the help of the *Microsoft Excel* and *QGIS 2.2.0* software. Subsequently, the SOTER-PA computer system was used to obtain the final product, as described in figure 02.

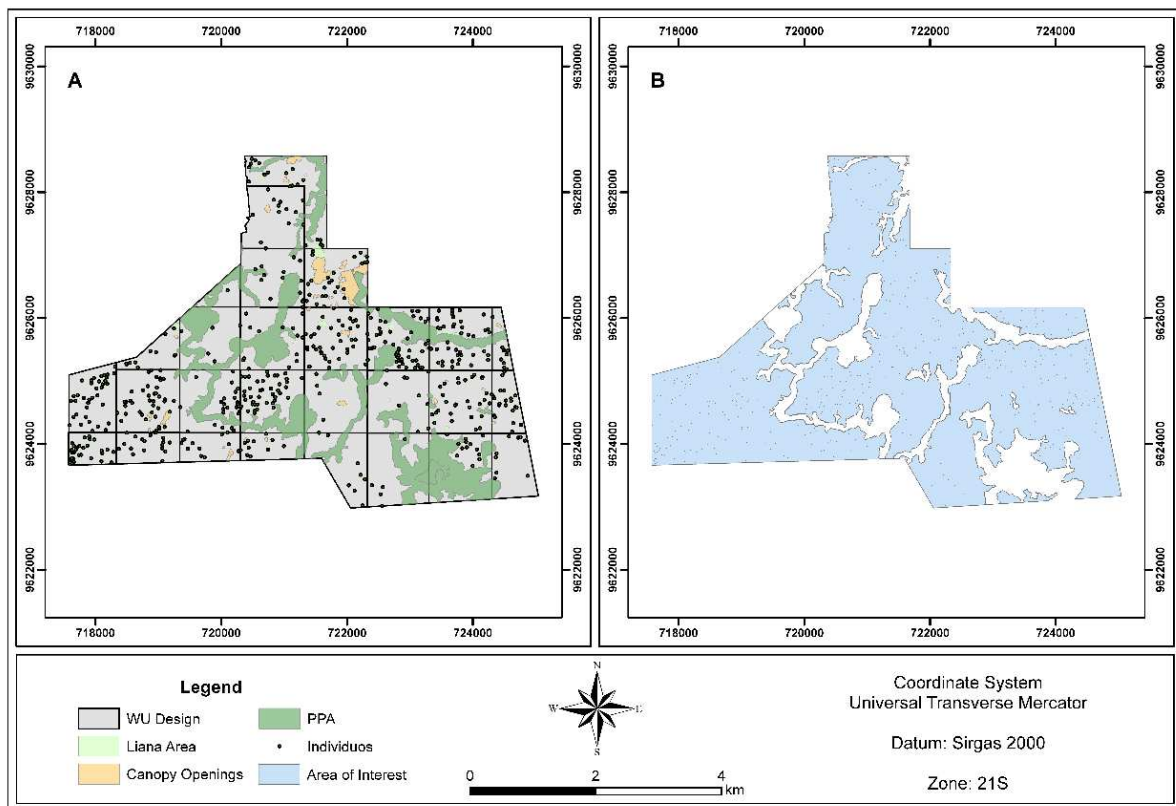
Figure 02 – Flowchart of the methodological basis for processing in SOTER-PA.



Source: Prepared by the authors.

The pre-processing step was made to define the area of the Forest Management Unit to be analyzed and parceled out. The Permanent Preservation Areas (PPAs), where cutting is illegal, were excluded. It remained for parceling, the zone of interest obtained by the micro zoning carried out during the forest inventory. This step used QGIS 2.2.0 free software tools and is shown in Figure 03.

Figure 03 – Process of removing the Permanent Preservation Areas (A – micro zoning of UPA 01. B - UPA 01 after removing the PPAs).



Source: Prepared by the authors.

Also, some restrictions were adopted in the database. The restrictions are from the Normative Instruction N^o 5 of December 11, 2006, of the Ministry of the Environment, which provides technical procedures for preparation, presentation, execution, and technical evaluation of Plans of Sustainable Forest Management – PSFM in primitive forests in the Legal Amazon.

The following exclusion criteria were adopted:

- trees with non-commercial stem (QF3: accentuated tortuosity);
- trees that are not on the COOMFLONA commercial species list;
- trees for stocking (DAP<50cm);
- trees protected by the Brazilian legislation;
- trees for harvesting non-wood products (chestnuts, oil, fruits, and vines); and
- rare species (the ones considered endangered).

From 28,369 trees from the original database, this procedure obtained a total of 8,644 trees suitable for cutting in an area of 1,891.4207 hectares. The adopted criteria enable the valuation and ensure economic returns in future cutting cycles. The

importance of keeping remaining trees contributes to the dynamics of the forest and its ecosystem services through the seed bank, seedlings, shelter for fauna, and climate regulation, among other benefits.

Subsequently, to enable SOTER-PA to parcel the Annual Yield Unit so that the forest productive capacity is more homogeneous among the Work Units, it was necessary:

1. The directory of the *shapefile* (.shp) of the georeferenced map of the area to be parceled out;
2. To determine the attribute used based on the identifiers representing the optimization function (variable of interest). In this study, the attribute is the forest productive capacity;
3. To determine the execution preferences: algorithm precision, number of management units desired for parceling, minimum and maximum size (in pixels) of the parcels to be generated; and
4. To set up the optimization function in the table: identifiers and weights according to *shapefile* attribute. For example, if an identifier represents a river, its weight must be made explicit. The weights informed directly influence the result of the processing, as they define the quality of the area to be parceled out.

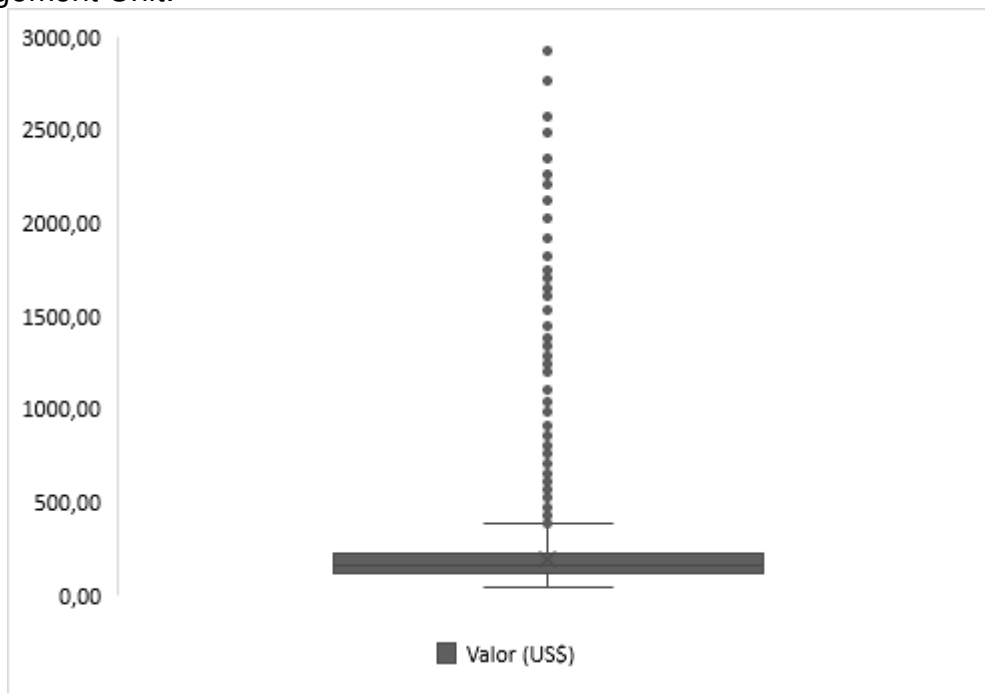
To define the optimization function, defined here as “**forest productive capacity**”, an estimate of economic value was assigned for each species. The species were represented by a point *shapefile* in the input file. The volume of the selected species was obtained from an equation used by the Mixed Cooperative of the Tapajós National Forest (COOMFLONA) (Equation 1) and the price per cubic meter of wood from the Ordinance N° 682, of the year 2021 of the Finance Department State – FDS, which regulates the prices of round wood and forest exploration residues.

$$V_{c/c} = -1.6241742 + (0.0480995 * DAP) + (-0.00023995 * DAP^2) + (-0.00003845 * DAP^2 * Hc) \quad \text{(Equation 1)}$$

In which: $V_{c/c}$ = commercial volume with bark (m³); DAP = diameter measured at 1.30 m from the ground (cm); Hc = commercial height (m).

Thus, volume and market value were calculated for the 8,644 trees defined as suitable for cutting, obtaining a range from US\$40.83 to US\$2,934.78. Since the economic value generated by trees suitable for cutting expressed great amplitude, a boxplot was created to visualize the data distribution and their outliers. It was possible to conclude that 93.46% of the data refer to trees with a value less than US\$360.97 (Figure 03).

Figure 03. Box-plot of the distribution of the productive capacity of the Forest Management Unit.



Source: Prepared by the authors.

Thus, seeking to shape a forest management process with great economic gains and low environmental impacts and ensure future cutting cycles of wood with considerable commercial potential, it was decided not to consider trees with a value lower than US\$360,97 in the SOTER-PA system operation, resulting in 565 trees, distributed in 21 species. In other words, the process was based on the principles of forest management that seek to reduce impacts and ensure sustainable yield for future cutting cycles, and the ecological role of the remaining trees in the forest dynamics.

Subsequently, the optimization function "**forest productive capacity**", which corresponds to the productive capacity of the economic return of each tree, was divided into classes. The classes used as reference the numerical attribute of the *shapefile* file chosen for the research objective, representing the economic value of the trees in the

area divided into classes of economic return importance, which were assigned a constant weight distributing 100 points among the associated classes (Table 01). Obtaining the weights of the classes of optimization functions, a fundamental point in the fractionation process, was based on analyzes that took into account physical and forestry factors and processing limitations. It is important to emphasize that to obtain the *shapefile*, it is necessary to use some GIS to convert and organize the necessary information for processing in its attributes table.

Table 01 – Optimization and Weight Function Classes. Source: Prepared by the authors.

Classes	Optimization Function	Weight
1	US\$0 – US\$360.97	0
2	US\$360.97 – US\$541.46	4
3	US\$541.46 – US\$721.94	6
4	US\$721.94 – US\$902.43	8
5	US\$902.43 – US\$1,082.92	10
6	US\$1,082.92 – US\$1,263.40	12
7	US\$1,263.40 – US\$1,443.89	14
8	US\$1,443.89 – US\$1,624.37	16
9	US\$1,624.37 – US\$1,804.86	18
10	Higher than US\$1,804.86	22
TOTAL		100

Beyond the *shapefile* file with the weights assigned to each class of the optimization function, it was necessary to assign the number of Work Units (WU) desired in the parceling of the area and the definition of the minimum and maximum areas of the WUs generated.

The number of WU adopted in this study was 28 parcels to compare the productive capacity obtained by SOTER-PA and the units from the parceling designed by conventional management. The software's graphical interface with the necessary processing data is described in figure 04.

Figure 4 – SOTER-PA graphical interface.

The screenshot shows the 'Process Map' window of SOTER-PA. It includes the following elements:

- Input File*:** a_16.08\bia.20.shp
- Attribute*:** fo_2
- Execution*:**
 - Maximize lots (Precision is automatically 4 min)
 - Exactly: 28
 - Precision*:** High (30 min) | 30
- Land area (ha)*:** 2218.6997
- Min Size Lot (ha)*:** 50
- Variation in size(x)*:** 2
- Enter in the "Weight" column:**
 - Natural numbers to indicate weight
 - "-1" to indicate river
 - "0" for parcels to be disregarded
- Table:**

fo_2	Weight*
3.0	6
0.0	0
2.0	4
8.0	16
4.0	8
10.0	22
7.0	14
5.0	10
6.0	12
9.0	18
- Buttons:** Start, Cancel

Source: SOTER-PA 3.4 *Software*.

After defining all the necessary procedures for the operationalization and functioning of SOTER-PA, 42 tests were carried out until a result that met the research goals was found. The goal was to find short-range results in the tests, the slightest standard deviation among the yield indexes, indicating a more equitable distribution of the productive capacity. It should also be noted that this result was executed in one command line with a time of 1,800 seconds for each processing, totaling 75,600 seconds of processing at the end. The ratio between the largest and smallest area was a maximum of 2 times. The ratio between the highest and the lowest WU was at most 2 times, with the objective of obtaining a maximum WU of 100 hectares. The version of the *software* used in the tests for this work was version SOTER-PA 3.4.

3 Results and discussion

The procedures specified in the previous topic provided the results shown in Table 02. Table 02 shows the yield indexes and the areas of the Work Units from the parceling made with conventional forest management and the ones made with SOTER-PA.

Table 02 – Optimization function (productive capacity) per WU from the conventional Forest Management Unit and optimization function and area of each WU generated by SOTER-PA. Prepared by the authors.

WU	Conventional Management		SOTER-PA	
	Optimization Function (US\$)	Area (ha)	Optimization Function (US\$)	Area (ha)
1	4,063.97	24,2732	15,272.70	30,0357
2	13,181.67	44,3246	15,852.76	75,5918
3	3,905.65	65,8299	16,521.33	75,0450
4	6,223.34	100,0890	6,080.28	75,3345
5	17,046.28	100,0624	7,979.64	75,6047
6	9,868.00	107,7954	4,466.86	75,5082
7	6,825.08	98,0254	3,967.58	75,2895
8	4,665.07	98,0251	8,883.03	75,4374
9	2,591.74	112,0104	6,469.01	75,4053
10	11,976.47	93,5982	7,828.23	75,4374
11	24,753.22	100,2624	3,289.26	75,1737
12	2,337.05	100,3884	3,536.31	75,6497
13	3,013.82	79,3446	3,388.78	75,1930
14	11,944.86	96,6809	15,106.36	74,7426
15	7,696.62	92,0039	14,246.24	75,5854
16	8,151.44	94,3139	10,163.90	75,6948
17	38,964.32	101,7650	35,254.80	75,2637
18	20,964.53	101,6679	10,534.31	75,3345
19	4,547.27	43,2804	8,267.95	77,3417
20	37.42	25,9564	30,512.38	77,3417
21	2,415.09	94,0671	26,886.64	77,5411
22	11,163.24	95,9873	21,705.50	77,4575
23	5,531.40	43,7580	10,205.49	77,3546
24	5,507.09	40,0293	9,868.56	77,2130
25	26,602.82	101,0600	13,880.64	75,3731
26	15,619.30	48,8544	12,451.18	75,1672
27	32,518.16	76,2516	8,978.21	75,1672
28	24,717.14	38,4448	22,469.56	75,5146
Sum	354,067.51	1012717,0899	354,067.51	2076,7986
Average	10,078.48	94,19	8,300.62	75,44
Deviation	10,039.16	27,89	8,277.32	9,03

The results show that the SOTER-PA had greater homogeneity in the forest productive capacity. Beyond generating more equitable WU regarding the productive capacity, SOTER-PA also allowed the design of more homogeneous WU regarding the area of each one. This fact can be seen in the standard deviation analyses. The smaller the standard deviation, the greater the homogeneity of the productive capacity of the WU.

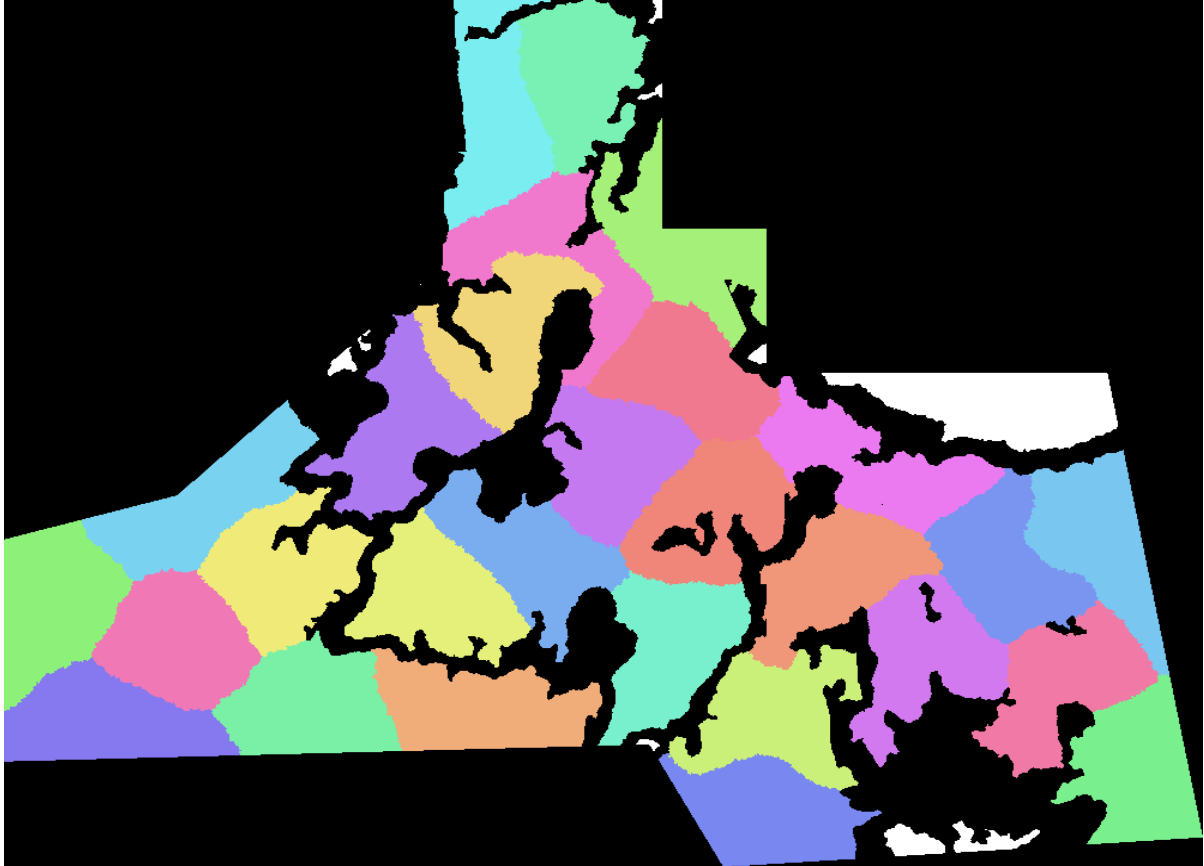
It is noteworthy that the standard deviation is a statistical measure that calculates the range of the values from the average. A small standard deviation indicates that the results ranged little from the yield index average, meaning that the results are more homogeneous than before. It appears that the yield indexes generated by SOTER-PA had a greater homogeneity, with a difference of 18%.

Overall, the parceling made out by SOTER-PA seems to be more efficient regarding the productive capacity. Comparing the standard deviation of the yield indexes in both cases, it is emphasized that SOTER-PA did not create any WU with lower quality than the original WU parceling, as can be seen in Table 01, whose lowest yield in the conventional forest management generates an economic return of US\$37.42 in WU 20. As for SOTER-PA, the lowest economic return was US\$3,289.26 in WU 11.

Thus, in this case, it appears that the more homogeneous distribution of income was influenced by the distribution of the species with greater commercial value and spatial distribution aggregated to compensate the smaller areas. The species are red cedar (*Cedrela odorata*) and purple Ipê (*Handroanthus impetiginosum*). Besides generating more equitable WU regarding the productive capacity, SOTER-PA enabled the design of WU to be more homogeneous in area. Thus, the largest area had 77,54 ha, and the smallest one had 30,03 ha. In the original parceling, these values are 112,01 ha and 24,27 ha, respectively. However, the smallest WU from SOTER-PA generates an economic return of US\$15,272.70, while the smallest WU from conventional forest management, US\$4,062.06. It can be explained by the species that make up the parceling area from SOTER-PA having a higher market value due to their volume and economic importance and for disregarding the Permanent Preservation Areas.

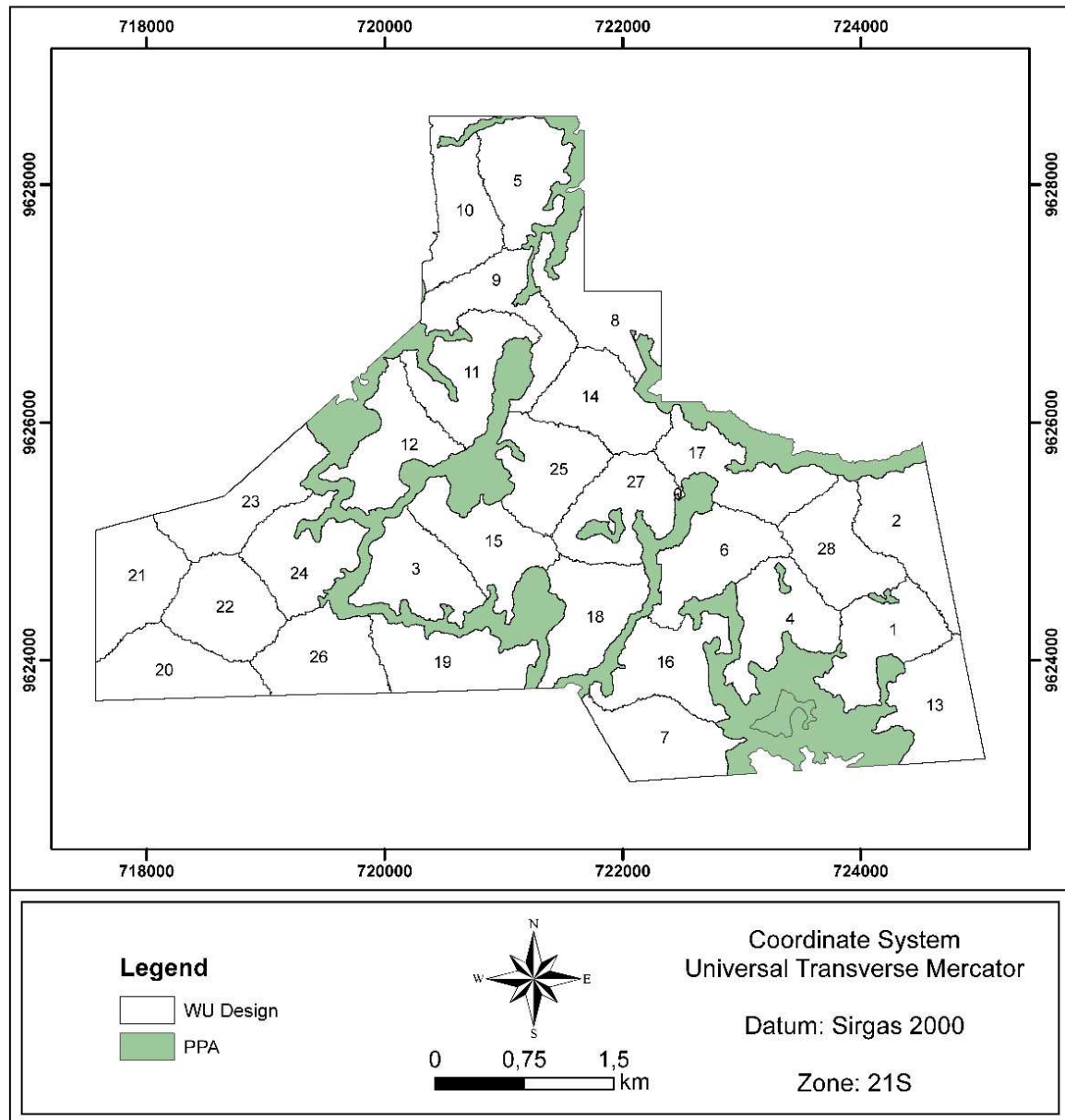
Thus, besides providing a result that enables a more equitable distribution of natural resources, SOTER-PA created WU with the higher production quality considering the optimization function used and even with more homogeneous areas. As a final result, SOTER-PA generates one *raster* file (Figure 06) and another in vector, enabling to make a map of the parceled area (Figure 07).

Figure 06. *Raster* graphical interface of the Work Units generated by SOTER-PA, UMF 01, Tapajós National Forest, Pará, Brazil.



Source: SOTER-PA 3.4 *Software*.

Figure 07 – Map of Work Units generated by SOTER-PA, UMF 01, Tapajós National Forest, Pará, Brazil.



Source: Prepared by the authors.

It should be noted that the order of the numbers of WUs does not refer to a temporal order of harvesting but the identification. Also, the manager can choose the sequence that best adjusts the criteria of forest exploration. The use of SOTER-PA can be incorporated into sustainable forest management plans (SFMP) with reduced impact and with the advantage of removing PPAs so that the parceling occurs only in areas of interest with less range among the parceled areas.

Although it has been confirmed the viability of SOTER-PA for parceling forest management work units, it was also identified, during the testing process, some weaknesses in the software. SOTER-PA had a hard time processing extensive areas and computationally complex optimization analysis in conventional computers. Like those found in fields and offices of forest management areas, the software works better in small areas with little fragmentation in the optimization function classes. This study limited the design of 10 classes and a processing time of 30 minutes per test. A time greater than the one used in tests with the software in the work of Ferreira (2015), who used it to generate 1-minute lots in land reform settlements. The processing of larger areas with a greater diversity of forest species would demand more robust computational systems, which are not found in everyday reality in forest management areas in the Brazilian Amazon.

Also, it is crucial to emphasize that the effectiveness of the SOTER-PA results depends on the accuracy of the cartographic base, which is the quality of the data collected in the field, as it allows for the spatialization of data and its location in the forest harvesting process later on.

4 Final Considerations

The SOTER-PA has the advantage of generating a balanced annual income flow that helps the annual planning of extraction and may be suitable for optimizing wood yield in tropical forests. Furthermore, the software presented a simple interface with a fast and accurate solution method for instances related to the one tested. The certainty of a similar income each year, eliminating distorted or smaller incomes due to “weaker” compartments because of the lack of trees with sufficient economic value, in addition to environmental gain and work optimization.

Therefore, SOTER-PA proved to be efficient as a support tool for the optimization and decision-making in sustainable forest management. The ease of use of this technique and its efficiency are the main advantages over the conventional forest planning system in native forests. Also, the software can be updated over time, and its incorporation as a reliable, simple, and free statistical tool can help support decision-making in forest management plans.

REFERENCES

ANDRADE, D. F. C. et al. **Manejo florestal comunitário como estratégia de gestão e melhoria da qualidade de vida da população tradicional da Floresta Nacional do Tapajós**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, 3, 2014. Viçosa, Minas Gerais. Anais [do] III Simpósio Nacional de Áreas Protegidas, 28 a 30 de maio de 2014, Viçosa, MG; Organizadores: LIMA, G. S. et al. UFV, DEF, 2014.

BRASIL. Lei nº 73.684 de 19 de fevereiro de 1974. Cria a Floresta Nacional do Tapajós, e dá outras providências. Brasília, DF, 19 fevereiro 1974.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: 18 julho 2000.

BRASIL. Instrução Normativa, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Brasília, DF: 11 dezembro 2006.

COELHO, C. C.; PEREIRA, B.; BRUN, E. J.; SILVA, M. M. S.; BRUN, F. G. K. Gestão estratégica para o desenvolvimento sustentável de florestas plantadas-estudo aplicado em Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 22, n. 1, p. 67-79, 2021.

CORDEIRO, M. A.; PEREIRA, N. N. J.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Estimativa do volume de *Acacia mangium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 255-261, 2015.

EMMERT, F. Ferramentas aplicadas ao manejo florestal. In: ANDRADE, D. F. C.; GAMA, J. R. V. **Ciência aplicada ao uso múltiplo da Floresta no Baixo Rio Amazonas**. Curitiba: CRV, 2020.

ESPADA, A. L. V. et al. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico I IFT. Belém, IFT**, 2015.

ESPADA, A. L. V.; SOBRINHO, M. V.; ROCHA, G. M. VASCONCELOS, A. M. A. Manejo florestal comunitário em parceria na Amazônia brasileira: o caso da Flona do Tapajós. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 1, 2018.

FERREIRA NETO, J. A.; SANTOS JÚNIOR, E. C.; PALEO, U. F. ; BARROS, D. M. ; MOREIRA, M. C. O. Optimal subdivision of land in agrarian reform projects: an analysis using genetic algorithms. **Ciencia e Investigación Agraria** (Impresso), v. 38, p. 169-178, 2011.

FERREIRA NETO, J. A.; SANTOS JÚNIOR, E. C. ; PALEO, U. F.; MOREIRA, M. C. O. ; LANI, J. L. APTIDÃO AGRÍCOLA E ALGORITMOS GENÉTICOS NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL EM PROJETOS DE REFORMA AGRÁRIA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 35, p. 255-261, 2011.

FERREIRA, F. M. **Aptidão agrícola das terras como função de otimização para o ordenamento territorial e planejamento ambiental: uma análise do SOTER-PA.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2015.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. (2004). Plano de Manejo da Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBAMA.

GLIESCH, A.; RITT, M.; MOREIRA, M. C. O. **A genetic algorithm for fair land allocation.** In: GECCO 17: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2017, Berlin, Germany. Anais da 17ª Conferência de Computação Genética e Evolutiva – GECCO. Berlin, Germany: ACM digital library.

LEMMENS, M. **Geo-information: Technologies, Application and the Environment.** New York: Springer, 2011.

MARAN, J. C. et al. Ordenamento florestal por talhões: metodologia apoiada em SIG e silvicultura para o manejo de florestas nativas. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 997-1008, 2020.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerrado com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 50, v. 9, p. 829-839, 2015.

REIS, L. P.; SOUZA, L. S.; REIS, P. C. M. R. R.; MAZZEI, L.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. **Floresta**, v. 48, n. 1, pg. 93-102, 2018.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; ANDRADE, D. F. C. Análise financeira da extração e beneficiamento de resíduos florestais pós-colheita na floresta nacional do tapajós. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 567-573, 2019.

ROCHA, S. J. S. S. D.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; LEITE, H. G., GELCER, E. M.; NEVES, K. M.; SCHETTINI, B. L. S.; VILLANOVA, P. H., SILVA, L. F. D.; REIS, L. P.; ZANUNCIO, J. C. Artificial neural networks: modeling tree survival and mortality in the Atlantic Forest biome in Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 645, p. 655-661, 2018.

SANTOS, K. N. F.; RODE, R., ANDRADE, D. F. C.; CORRÊA, K. K. S.; LOPES, L. S. S. Ajuste de equações volumétricas e redes neurais artificiais na estimativa do volume de Tauari na floresta nacional do Tapajós. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2018.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J.; LOPES, J. C. A. **Inventário Florestal de uma Área Experimental na Floresta Nacional Do Tapajós.** Boletim Pesquisa Florestal, Colombo. N. 10-11, p. 38 - 110, 1985.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM. 2008. 566P.

TEIXEIRA, T. H.; FERREIRA NETO, J. A.; MOURA, R. A.; FIGUEIREDO, N. A. As Unidades de Conservação de Uso Sustentável no Bioma Amazônico: Dilemas e Perspectivas Para o Desenvolvimento Sustentável. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, v. 46, p. 71-89, 2017.

TEIXEIRA, T. H.; NOTTINGHAM, M. C.; FERREIRA NETO, J. A.; ESTRELA, L. M. B.; SANTOS, B. V. S.; FIGUEREDO, N. A. A diversidade produtiva em Reservas Extrativistas na Amazônia: entre a invisibilidade e a multifuncionalidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)**, v. 48, p. 164-183, 2018.

5.2 O SOTER-PA como ferramenta de apoio a gestão sustentável da vegetação remanescente em unidades de manejo florestal sustentável

O SOTER-PA COMO FERRAMENTA DE APOIO A GESTÃO SUSTENTÁVEL DA VEGETAÇÃO REMANESCENTE EM UNIDADES DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

Bianca Diniz da ROCHA¹
José Ambrósio FERREIRA NETO¹
Mayron César de Oliveira MOREIRA²

¹ Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

² Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

RESUMO: Este trabalho avalia a eficiência do sistema informatizado SOTER-PA no processo de organização territorial para a priorização de áreas para conservação em Unidades de Manejo Florestal, com base nas espécies, distribuição e importância. O SOTER-PA é um aplicativo construído em linguagem de programação Java baseado no algoritmo busca tabu minimalista, com o qual o usuário pode obter uma estrutura de planejamento territorial mais rentável economicamente, com melhor uso dos recursos naturais e garantia dos futuros ciclos de cortes. Como resultado, constatou-se que o uso do SOTER-PA apresenta limitações em processar áreas complexas, com muitas variáveis, exigindo maior tempo de máquina, além de equipamentos com capacidade de processamento superior ao que geralmente se encontra em condições reais de uso. Todavia, quando aplicado a áreas menores, mostrou-se uma alternativa eficiente para o planejamento florestal com garantia de manutenção da diversidade e a conservação da floresta, demonstrando ser uma boa ferramenta para o manejo florestal sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo florestal, Planejamento Territorial, Otimização Combinatória, SOTER-PA.

1 INTRODUÇÃO

A gestão das Unidades de Manejo Florestal destinadas à exploração madeireira em florestas nativas deve ser planejada de maneira que a colheita não afete sua dinâmica e proporcione a garantia da regeneração pós colheita. O manejo florestal sustentável permite que a floresta forneça benefícios quando ocorre o planejamento voltado ao aproveitamento de seus recursos, através dos conhecimentos acerca da

dinâmica florestal, compreensão dos processos ecológicos e evolutivos (GAMA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2015).

As estratégias de planejamento da escolha das árvores destinadas a colheita e remanescentes são fundamentais para reduzir os impactos, assim como, auxiliar no processo de recuperação e garantia dos futuros ciclos de corte, que corresponde ao tempo que a floresta manejada leva para recompor o nível de estoque para a próxima colheita (LIMA et al., 2018). De acordo com o estudo de Cordeiro et al. (2012) na região do Baixo Amazonas, a extração manejada de madeira das áreas de concessão florestal apresentou retorno econômico superior à agricultura e pecuária extensiva. Ou seja, a boa gestão das florestas públicas na Amazônia pode ser uma alternativa econômica em relação as atividades que implicam em desmatamento integral das áreas.

Atualmente, as análises de cobertura vegetal e uso do solo são realizadas, principalmente, usando tecnologias de sensoriamento remoto, dados cartográficos e redes computacionais que auxiliam na tomada de decisão e monitoramento, fundamentado em características significativas aos objetivos propostos (VALE, 2021). De acordo com estudos sobre proteção ambiental, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e as redes neurais artificiais, são fundamentais para obter informações e utilizá-las com finalidade de produzir respostas que satisfaçam às necessidades do planejamento ambiental (GUEDES, 2016), sendo de alta importância ao setor florestal.

O Sistema de Organização Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental (SOTER-PA) é produto das discussões sobre os progressos e tendências das pesquisas para a resolução de problemas de parcelamento territoriais no âmbito político, econômico e ambiental, entre o grupo formado por pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Universidade Federal de Lavras – UFLA e Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

O *software* testado inicialmente para o parcelamento de lotes em assentamentos da reforma agrária, utiliza o algoritmo busca tabu a partir de uma adaptação denominada busca tabu minimalista, possibilitando que o processo de planejamento territorial desempenhe sua função elementar de direcionar o melhor uso dos recursos naturais disponíveis. Esses métodos de solução vêm frequentemente sendo usados por pesquisadores em problemas com alta complexidade e difíceis de

serem resolvidos computacionalmente com ferramentas mais usuais (CORMEN et al., 2012).

Destaca-se que, para obter informações que auxiliem nessas análises a qualidade de dados sobre a estrutura e a composição florística são fundamentais e podem ser obtidas nos inventários florestais que fornecem ferramentas essenciais para a verificação da potencialidade florestal e as estratégias para o manejo adequado (FRANCEZ et al., 2007). A exemplo disso, temos a Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós), uma Unidade de Conservação (UC) criada em 1974, onde parte da floresta passou a ser manejada sustentavelmente em 2005. Esse manejo é feito pelas comunidades tradicionais residentes na Flona que se organizaram em uma cooperativa denominada COOMFLONA (Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós), que detém o direito de manejo da área para usos múltiplos (ESPADA et al., 2018; ALMEIDA et al., 2021).

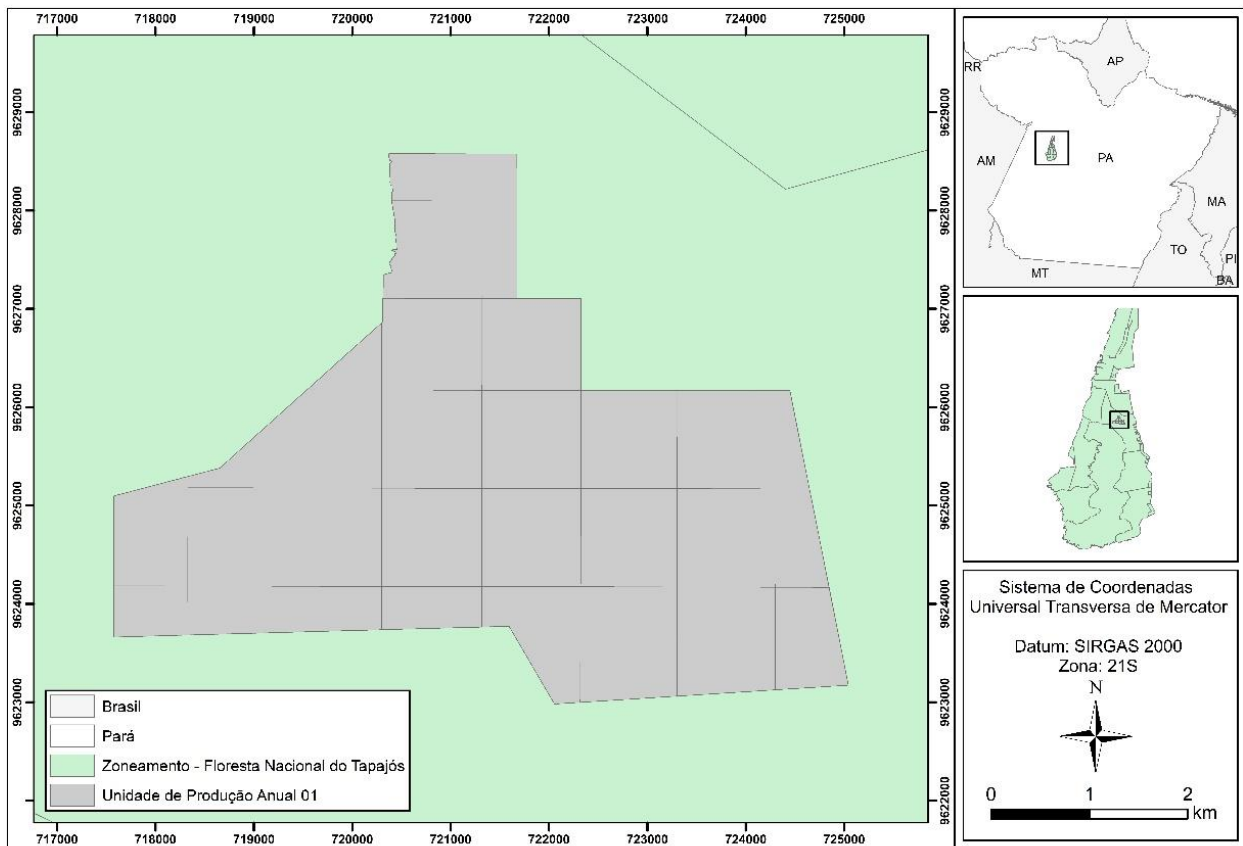
Considerando o princípio de que na colheita florestal deve ser retirado menos de áreas de baixo estoque e mais de áreas com alto estoque, causando menor impacto na floresta remanescente, é essencial que áreas prioritárias para conservação sejam delineadas para otimizar o planejamento do manejo sustentável (SOUZA et al., 2013). Diante disso, objetivou-se avaliar a eficiência do SOTER-PA no planejamento de áreas prioritárias para a conservação e destinadas a espécies remanescentes em uma Unidade de Produção Anual (UPA) na Floresta Nacional do Tapajós como subsídio à exploração florestal de impacto reduzido e sustentável.

2 METODOLOGIA

2.1 BASE DE DADOS UTILIZADA

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos por meio do inventário florestal 100% de intensidade da UPA 01 (Figura 01) comercialmente administrada pela COOMFLONA no ano de 2020, correspondente a uma área inventariada de 2.218,6997 hectares. No total, foram inventariadas 28.369 árvores, correspondentes a 93 espécies distintas, totalizando um volume de 123.894,1158 m³ de madeira (Plano Operacional Anual – COOMFLONA, 2019).

Figura 01. Localização Unidade de Produção Anual 01, Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Brasil



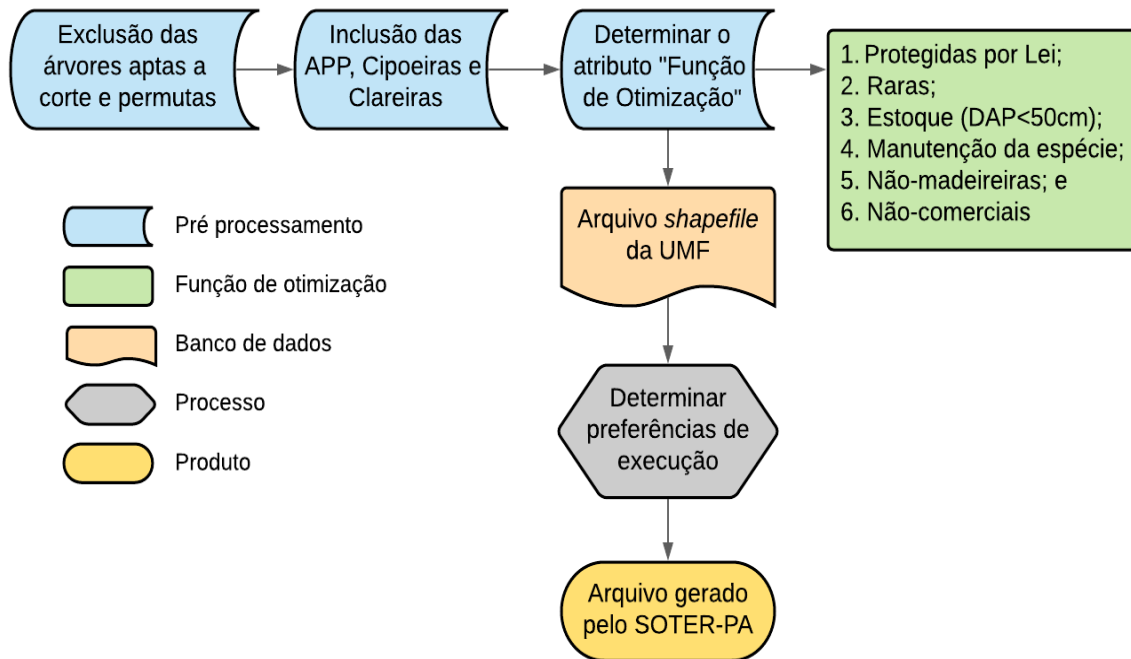
Fonte: Elaborado pelos autores

Todas as árvores foram registradas na ficha de campo do inventário, com as seguintes informações: diâmetro a altura do peito (DAP); estimativa de altura comercial, avaliada a olho nu; classificação da qualidade do fuste (QF); e os indivíduos tiveram sua localização georreferenciada com auxílio do Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS). A identificação das espécies foi realizada, a partir da observação das características morfofisiológicas em campo.

2.2 ANÁLISE DE DADOS

A base metodológica para obter resultados passou por um processamento prévio do banco de dados do inventário florestal com auxílio do programa Microsoft Excel e QGIS 2.2.0 para posteriormente ser processado no sistema informatizado SOTER-PA com obtenção do produto final, como descrito na Figura 02.

Figura 02. Fluxograma da base metodológica para o processamento no SOTER-PA.



Fonte: Elaborado pelos autores

Na etapa de processamento prévio para definição da área total da Unidade de Manejo Florestal a ser analisada e parcelada, foram excluídas as árvores destinadas a cortes e permutas para a exploração comercial e incluídas as Áreas de Preservação Permanente (APPs), definida pela Lei 12.651/2012 (Código Florestal), como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico da fauna e da flora, protegendo o solo e garantia do bem-estar das populações humanas”.

Após esse procedimento, o banco de dados original com 28.369 árvores resultou no total 12.130 árvores prioritárias para a conservação. Para definir a “**Função de Otimização**” que corresponde a variável de interesse utilizada pelo SOTER-PA para gerar o parcelamento, foram classificadas seis categorias de espécies florestais, seguindo um grau de importância de acordo com a literatura disponível, sendo elas: (i) protegidas por lei ou proibidas de corte; (ii) árvores raras; (iii) destinadas ao estoque ($DAP \leq 50\text{cm}$); (iv) destinadas a manutenção da espécie; (v) espécies florestais não madeireiras; e (vi) espécies não comerciais.

2.4 CRITÉRIOS ADOTADOS

Vários são os fatores para não realizar exploração no estoque produtivo para uma determinada área, como: presença de árvores ocas, presença de árvores protegidas e ao seu entorno, árvores que ainda não atingiram o diâmetro mínimo de corte e aquelas consideradas vulneráveis a extinção, são alguns dos critérios que devem ser observados no planejamento da exploração florestal. Nesse trabalho, os critérios adotados seguiram a legislação para o manejo florestal e a lista de espécies comerciais da COOMFLONA, sendo escolhidas como espécies prioritárias as seguintes:

1) Protegidas por lei: de acordo com o Código Florestal Brasileiro, Lei 12.651/2012, que proíbe o corte e a comercialização da castanheira (*Bertholetia excelsa*) e da seringueira (*Hevea brasiliensis*) em florestas nativas, primitivas ou regeneradas;

2) Espécies raras: como critério considerou-se, espécies raras aquelas com densidade absoluta igual ou inferior a uma árvore por hectare (MARTINS, 1991; GONÇALVES; SANTOS, 2008). Sendo um padrão comumente encontrado na Amazônia em decorrência a alta diversidade que, por sua vez, é associada à alta diferenciação de habitats ocasionando a espacialização da vegetação (FERREIRA et al., 2011; ANDRADE et al., 2015);

3) Destinadas ao estoque: corresponde às árvores com $DAP \leq 50$ cm segundo a Instrução Normativa Nº 5, de 11 de dezembro de 2006, do Ministério do Meio Ambiente, que dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal;

4) Manutenção da espécie: em conformidade com a Instrução Normativa Nº 05, do Ministério do Meio Ambiente, os indivíduos que permanecem para a manutenção da espécie correspondem a pelo menos 10% (dez por cento) do número de árvores por espécie inventariada na área de efetiva exploração da UPA, que atenderam aos critérios de seleção, respeitando o limite mínimo de manutenção 0,03 indivíduos/ha, por espécie, por Unidade de Trabalho – UT;

5) Espécies florestas não madeireiras: são aquelas espécies florestais que fornecem produtos como as castanhas, resinas, látex, óleos essenciais, fibras, madeira para fabricação de artesanato, frutos, energético, valor medicinal, entre

outros benefícios, que podem ser considerados no manejo de uso múltiplo que corresponde a diversificação da base produtiva, para obtenção de benefícios econômicos e sociais, conservando os serviços ecossistêmicos (HOMMA, 1993; FAO, 2002); e

6) Espécies não comerciais: corresponde as espécies que não se encontram na lista de espécies comerciais da COOMFLONA, ou seja, ainda não tem um mercado com demanda consolidada, em decorrência da seletividade da indústria e mercado quanto as madeiras comercializadas. Porém, essas espécies podem futuramente atender ao mercado, quando for incentivado através de pesquisas que caracterizem e indiquem seu uso, assim diminuindo a pressão sobre as espécies mais demandadas atualmente pelo mercado consumidor (CARDOSO, 2012; DILL, 2016).

Os critérios adotados para definir as árvores remanescente possibilitam criar uma escala de importância (Quadro 01) das árvores que são prioritárias para permanecer na área e causar menos impactos no processo de manejo florestal madeireiro.

Quadro 01 – Descrição das classes prioritárias para conservação na UPA 01, Florestal Nacional do Tapajós, Pará, Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores

Classe	Família	Espécie	Número de indivíduos
1	Lecythidaceae	<i>Bertholletia excelsa</i>	227
1	Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	81
2	Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	2
2	Apocynaceae	<i>Aspidosperma album</i> ; <i>Aspidosperma auriculatum</i> e <i>Geissospermum sericeum</i>	110
2	Burseraceae	<i>Protium insigne</i>	7
2	Caesalpinioideae	<i>Vouacapoua pallidior</i>	9
2	Clusiaceae	<i>Caraipa grandiflora</i>	1
2	Euphorbiaceae	<i>Glycydendron amazonicum</i> e <i>Joannesia heveoides</i>	61
2	Fabaceae	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> ; <i>Dinizia excelsa</i> ; <i>Diploptropis guianensis</i> ; <i>Diploptropis purpurea</i> ; <i>Enterolobium schomburgkii</i> ; <i>Eperua schomburgkiana</i> ; <i>Ormosia paraensis</i> ; <i>Ormosia santaremnensis</i> ; <i>Platymiscium blanchetii</i> ; <i>Schizolobium amazonicum</i> ; <i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> ; <i>Swartzia stipulifera</i> ; <i>Vatairea paraensis</i> e <i>Zollernia paraensis</i>	572
2	Flacourtiaceae	<i>Laetia procera</i>	46

2	Lauraceae	<i>Aniba canelilla</i> ; <i>Licaria rigida</i> ; <i>Mezilaurus lindaviana</i> ; <i>Ocotea aciphylla</i> ; <i>Ocotea megaphylla</i> ; e <i>Ocotea rubra</i>	128
2	Malvaceae	<i>Apeiba áspera</i>	16
2	Mimosaceae	<i>Marmaroxylon racemosum</i>	21
2	Moraceae	<i>Bagassa guianensis</i> e <i>Clarisia racemosa</i>	45
2	Proteaceae	<i>Panopsis spp.</i>	17
2	Vochysiaceae	<i>Vochysia inundata</i> e <i>Vochysia maxima</i>	38
3	Anacardiaceae	<i>Anacardium spruceanum</i> e <i>Astronium lecointei</i>	165
3	Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosum</i> e <i>Handroanthus incanus</i>	50
3	Burseraceae	<i>Protium pallidum</i> ; <i>Protium puncticulatum</i> e <i>Tetragastris trifoliolata</i>	40
3	Caesalpinioideae	<i>Apuleia moralis</i> ; <i>Sclerolobium paraense</i> e <i>Vouacapoua pallidior</i>	24
3	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i> e <i>Caryocar villosum</i>	20
3	Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i>	13
3	Combretaceae	<i>Terminalia obovata</i>	40
3	Fabaceae	<i>Alexa grandiflora</i> ; <i>Cedrelinga catenaeformis</i> ; <i>Copaifera multijuga</i> ; <i>Copaifera multijuga</i> ; <i>Dipteryx odorata</i> ; <i>Enterolobium maximum</i> ; <i>Hymenaea courbaril</i> ; <i>Hymenaea parvifolia</i> ; <i>Hymenolobium excelsum</i> ; <i>Hymenolobium petraeum</i> ; <i>Parkia mulijuga</i> ; <i>Parkia pendula</i> ; <i>Parkia spp.</i> ; <i>Platymiscium blanchetii</i> e <i>Schizolobium amazonicum</i>	865
3	Goupiaceae	<i>Goupia glaba</i>	29
3	Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i>	21
3	Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> e <i>Ocotea baturitensis</i>	568
3	Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> ; <i>Couratari guianensis</i> ; <i>Lecythis lurida</i> e <i>Lecythis pisonis</i>	757
3	Leguminosae	<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	117
3	Lythraceae	<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	9
3	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> e <i>Cedrela odorata</i>	25
3	Mimosaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	33
3	Moraceae	<i>Brosimum acutifolium</i> ; <i>Brosimum lactescens</i> e <i>Brosimum parinarioides</i>	65
3	Myristicaceae	<i>Virola guggenheimii</i>	148
3	Olacaceae	<i>Minquartia guianensis</i>	55
3	Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> ; <i>Manilkara paraensis</i> ; <i>Pouteria pachycarpa</i> e <i>Syzygiopsis appositifolia</i>	1.006
3	Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> e <i>Swartzia stipulifera</i>	96
3	Vochysiaceae	<i>Qualea dinizii</i> e <i>Ruizterania albiflora</i>	15
4	Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i>	80
4	Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosum</i> ; <i>Handroanthus incanus</i> e <i>Terminalia obovata</i>	177

4	Fabaceae	<i>Apuleia moralis</i> ; <i>Dipteryx odorata</i> ; <i>Hymenaea courbaril</i> ; <i>Hymenaea parvifolia</i> ; <i>Hymenolobium excelsum</i> e <i>Hymenolobium petraeum</i>	564
4	Goupiaceae	<i>Goupia glaba</i>	79
4	Lauraceae	<i>Mezilaurus itaúba</i>	412
4	Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> ; <i>Couratari guianensis</i> ; <i>Lecythis lurida</i> e <i>Lecythis pisonis</i>	298
4	Leguminosae	<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	96
4	Lythraceae	<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	59
4	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	47
4	Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> ; <i>Manilkara paraensis</i> ; <i>Pouteria pachycarpa</i> e <i>Syzygiopsis appositifolia</i>	401
4	Vochysiaceae	<i>Qualea dinizii</i>	54
5	Caryocaraceae	<i>Caryocar villosum</i>	237
5	Fabaceae	<i>Copaifera multijuga</i>	233
5	Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i>	90
5	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>	93
5	Moraceae	<i>Brosimum lactescens</i> e <i>Brosimum parinarioides</i>	508
6	Anacardiaceae	<i>Anacardium spruceanum</i>	282
6	Burseraceae	<i>Tetragastris trifoliolata</i>	174
6	Caesalpinioideae	<i>Swartzia stipulifera</i>	19
6	Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i>	143
6	Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i>	62
6	Fabaceae	<i>Alexa grandiflora</i> ; <i>Cedrelinga catenaeformis</i> ; <i>Enterolobium maximum</i> ; <i>Enterolobium schomburgkii</i> ; <i>Parkia multijuga</i> ; <i>Parkia pendula</i> ; <i>Parkia</i> spp.; <i>Platymiscium blanchetii</i> ; <i>Schizolobium amazonicum</i> e <i>Vatairea paraensis</i>	1.653
6	Lauraceae	<i>Ocotea baturitensis</i>	150
6	Moraceae	<i>Brosimum acutifolium</i> e <i>Clarisia racemosa</i>	161
6	Myristicaceae	<i>Virola guggenheimii</i>	132
6	Olacaceae	<i>Minquartia guianensis</i>	88
6	Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	270
6	Vochysiaceae	<i>Ruizterania albiflora</i>	26
#	TOTAL		12.130

2.4 PROCESSAMENTO NO SOTER-PA

Posteriormente, para que o SOTER-PA pudesse processar o parcelamento da Unidade de Produção Anual com a função de otimização definitiva, foram necessários definir:

1. Diretório do arquivo *shapefile* (.shp) do mapa georreferenciado da área a ser parcelada;

2. Determinar as preferências de execução: precisão do algoritmo, quantidade de áreas desejadas para o parcelamento e tamanho mínimo (em hectares) e a variação das parcelas a serem geradas; e
3. Configurar a função de otimização na tabela: identificadores e pesos de acordo com o atributo do *shapefile* (.shp). Por exemplo, caso algum identificador represente um rio, o peso dele ser explicitado. Os pesos informados irão influenciar diretamente no resultado do processamento, visto que eles definem a qualidade da área a ser parcelada.

É importante ressaltar que para obter o arquivo *shapefile* é necessário utilizar algum SIG para a conversão e organizar as informações necessárias para o processamento em sua tabela de atributos. Com as classes de importância definidas, posteriormente foi atribuída uma constante de peso, distribuindo 100 pontos entre as classes associadas conforme apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Classes e pesos da função de otimização para parcelamento da Unidade de Produção Anual 01, Florestal Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.

Classes	Função de Otimização - FO	Peso
1	Protegidas por Lei	25
2	Consideradas raras	22
3	Destinadas ao estoque	20
4	Manutenção da espécie	14
5	Não madeireiras	11
6	Não comerciais	8
TOTAL		100

Fonte: Elaborado pelos autores

Para funcionamento do SOTER-PA o parâmetro de entrada “*Input file*”, deve ser selecionado e, após a escolha do arquivo em *shapefile*, deve ser importada a coluna do atributo da função de otimização selecionada. Outros parâmetros de entrada para operacionalização do sistema são: número de parcelamentos que se pretende gerar, tempo de execução, área em hectares do arquivo, área mínima em hectares das parcelas que se deseja gerar e os pesos para cada atributo selecionado. O *software* é disponibilizado em uma interface simples e intuitiva, como pode ser observada na Figura 03, com os respectivos dados necessários para processamento.

Figura 03 – Interface gráfica do SOTER-PA, aplicada a Área 2.

The screenshot shows the 'Process Map' window of the SOTER-PA software. It contains several input fields and a table for defining weights for different land use classes (FO).

Input File*: vididos\Area_2.shp

Attribute*: FO

Execution*:

- Maximize lots (Precision is automatically 4 min)
- Exactly: 6
- Precision***: High (30 min) | 30

Land area (ha)*: 598.9428

Min Size Lot (ha)*: 50

Variation in size(x)*: 2

Enter in the "Weight" column:

- Natural numbers to indicate weight
- "-1" to indicate river
- "0" for parcels to be disregarded

FO	Weight*
3.0	20
5.0	11
0.0	1
6.0	8
4.0	14
2.0	22
1.0	24

Buttons: Start, Cancel

Fonte: *Software* SOTER-PA 3.4

Após definidos todos os procedimentos necessários para a operacionalização e funcionamento do SOTER-PA, foram realizados testes até a obtenção de um resultado que atendesse aos objetivos da pesquisa. Ou seja, que nas parcelas geradas fosse observada uma uniformidade na distribuição e quantidade de árvores remanescentes levando em consideração o peso de importância atribuída às classes selecionadas. A versão do *software* utilizada nos testes para esse trabalho foi a versão SOTER-PA 3.4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

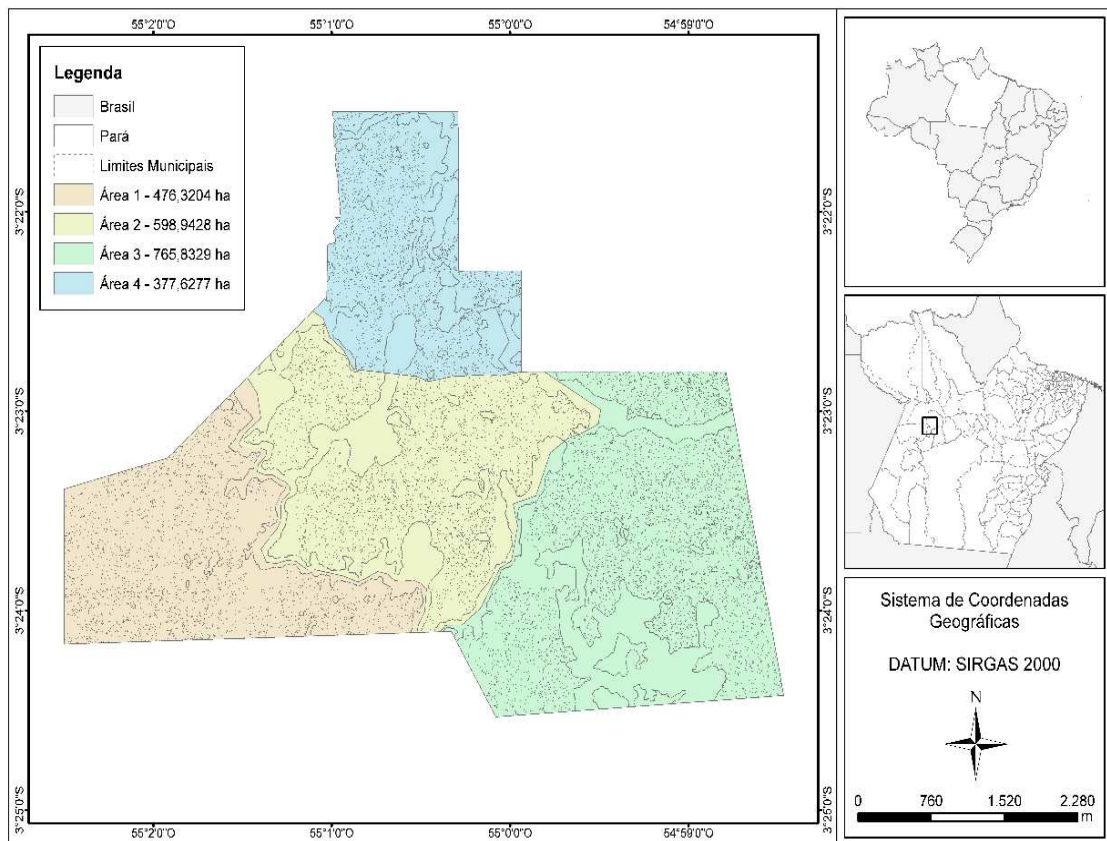
Após os testes realizados, foi constatado que o SOTER-PA apresentou dificuldade em processar áreas extensas e computacionalmente complexas para análises de otimização em computadores convencionais, ou seja, em ambiente de trabalho real, no campo e escritórios das áreas de manejo florestal, o utilizado nos testes corresponde a um modelo da marca Dell Inspiron, Intel Core I5 8GB 256GB.

Como resultado foi constatado que o *software* funciona melhor em áreas menores e pouco fragmentadas do ponto de vista das classes de função de otimização, do mesmo modo que os estudos realizados por Ferreira Neto (2011), Moreira et al., (2011) e Ferreira (2015). Nesse trabalho o sistema apresentou dificuldade em iniciar o processamento, em decorrência do número de indivíduos, após 28 horas a etapa de início de processamento não foi alcançada, não sendo

possível copiar os arquivos e criar o diretório necessário para o algoritmo gerar as primeiras soluções.

Diante disso, seguindo as recomendações do *software* quanto à necessidade de obter uma granularidade da instância maior, optou-se por fragmentar a Unidade de Produção Anual 01 em 04 (quatro) áreas menores, sendo elas: Área 01 (476,3204 ha), Área 02 (598,9428 ha), Área 03 (765,8329 ha) e Área 04 (377,6277 ha), respectivamente (Figura 04).

Figura 04. Áreas fragmentas para processamento no SOTER-PA na Unidade de Produção Anual 01, Florestal Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram executados 64 testes em uma linha de comando com tempo 1.800 segundos para cada processamento, totalizando ao final 115.200 segundos de processamento. Apesar de não ser o resultado pretendido, em virtude da necessidade de fragmentação da área total, o *software* SOTER-PA realizou o processamento e obteve resultados satisfatórios, permitindo a visualização gráfica do parcelamento e as soluções geradas. Os arquivos gerados permitem que o manejador florestal

visualize a formação espacial das parcelas e as respectivas árvores associadas a cada uma delas, após a execução do algoritmo de otimização.

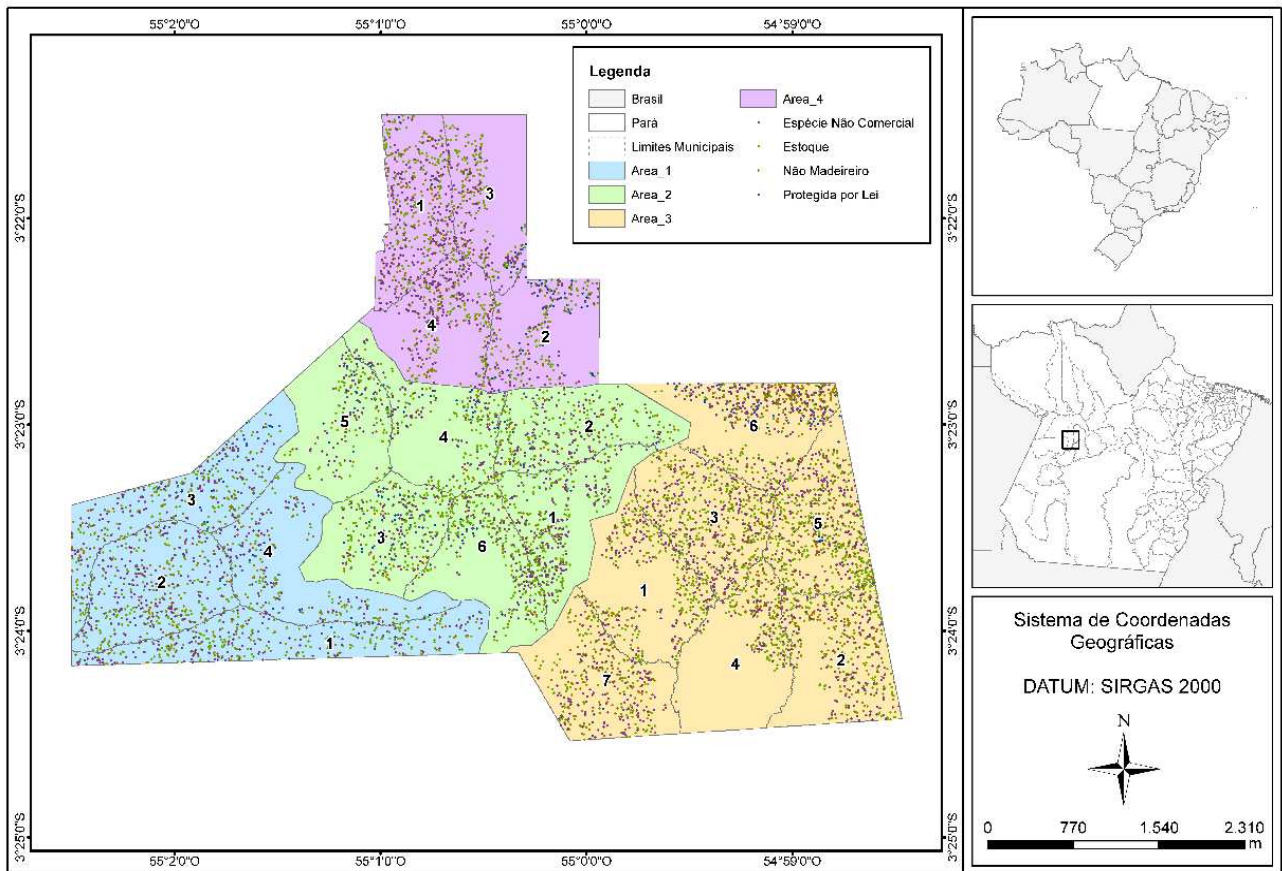
Os resultados são disponibilizados em arquivo *raster* (Figura 05) e vetor, além do arquivo texto com as informações correspondente as soluções encontradas. A partir do arquivo vetor, é possível gerar o mapa com a melhor solução encontrada com auxílio do QGIS 2.2.0. A Figura 06 ilustra a melhor solução encontrada para a UPA após ser subdividida em 04 áreas.

Figura 05 – Interface gráfica *raster* das Áreas (01, 02, 03 e 04) geradas pelo SOTER-PA da Unidade de Produção Anual 01, Florestal Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: *Software* SOTER-PA 3.4.

Figura 06 – Áreas prioritárias para a conservação e destinadas a espécies remanescentes geradas pelo SOTER-PA na Unidade de Produção Anual 01, Florestal Nacional do Tapajós, Pará, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para melhor visualização da distribuição das áreas de cada parcela geradas nas 04 subdivisões da Unidade de Manejo é apresentada, a seguir (Tabela 02), observa-se que as áreas não obtiveram variações significativas.

Tabela 02 – Área de cada parcela gerado pelo SOTER-PA, nas 04 divisões da Unidade de Manejo Florestal – UMF.

Parcela	Área 01	Área 02	Área 03	Área 04
1	116,7407	99,6498	112,8297	91,4031
2	118,2366	99,3762	110,2698	94,8711
3	118,5249	97,4764	105,5748	96,3045
4	122,8353	100,9018	115,0799	95,1041
5	-	102,1888	102,6313	-
6	-	99,3566	107,7042	-
7	-	-	111,8864	-
Soma	476,3375	598,9496	654,0897	377,6828
Desvio	2,6200	1,5946	4,36427	2,1074

Fonte: Elaborada pelos autores

As parcelas geradas com maior concentração de indivíduos com espécies protegidas e destinadas ao estoque com $DAP \leq 50\text{cm}$ concentraram-se na área 01, indicando a recomendação para ser destinada à preservação ambiental, visto que abriga indivíduos vulneráveis à extinção e espécies de regeneração. Outra alternativa para a destinação dessas áreas são o mercado de crédito de carbono, visto que as florestas maduras, como as da Amazônia, apresentam estoque de carbono e podem gerar quantidades de crédito de carbono e ofertá-lo dentro dos mercados, sendo ofertados a empresas e instituições que visam compensar as suas emissões (REISCH, 2021; ROMERO et al., 2021).

As árvores destinadas ao estoque vão garantir os futuros ciclos de corte na área manejada, a legislação federal atual recomenda que o ciclo de corte na Amazônia seja de 35 anos, visto que segundos estudos é o tempo que leva para as espécies remanescentes obter incremento em diâmetro para classes maiores. Quanto às parcelas com maior concentração de árvores não comerciais na área 04, são indicadas que sejam desenvolvidos estudos das espécies, de modo que as suas propriedades e características sejam conhecidas, pois podem futuramente obter demandas em decorrência da disponibilidade de indivíduos e das preferências do mercado por essas espécies, diminuindo a pressão sobre as espécies atualmente atrativas ao mercado.

Para as áreas parceladas localizadas em áreas prioritárias para conservação, recomenda-se o manejo visando Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM) que têm mercado atrativo ao extrativismo vegetal. De acordo com a literatura consultada os PFNM oferecem oportunidade de desenvolvimento econômico com a conservação dos ecossistemas florestais, por exemplo, atualmente na Amazônia, a Castanha (*Bertholletia excelsa*) é a principal espécie coletada com alto valor agregado (MARTINOT et al., 2017; GIATTI et al., 2021). Produtos como a resina da copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e o óleo de andiroba (*Carapa guianensis*) são as principais matérias-primas para produção de fitoterápicos (SANTOS, 2016). As raízes de cipós e a resina de Breu (*Protium Burm*) são importantes produtos manufatureiros para consumo e comercialização (PLOWDEN, 2003).

Outrossim, as áreas prioritárias para a conservação são fundamentais para planejar as atividades pós-exploratórias referentes ao processo de acompanhamento da dinâmica de crescimento e monitoramento da viabilidade de novos ciclos de corte,

pois de acordo com a distribuição das espécies é determinada a intensidade dessa atividade (ESPADA et al., 2015; SILVA, 2015).

Além disso, uma colheita planejada e executada com rigorosos critérios técnicos é fundamental para a Exploração de Impacto Reduzido (EIR), proporcionando também a redução nos custos de colheita madeireira. O uso do SOTER-PA também serve como base para atividades e estudos que visem a distribuição espacial das espécies remanescente destinadas a regeneração e os tratamentos silviculturais no período pós-exploratório.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SOTER-PA, aqui analisado, pode ser atualizado ao longo do tempo e incorporado como ferramenta computacional confiável, simples e gratuita de apoio à tomada de decisões em planos de manejo florestal, possibilitando a melhor destinação das árvores remanescentes e áreas prioritárias para conservação. A eficácia dos resultados obtidos com o *software* depende da precisão da base cartográfica, ou seja, da qualidade dos dados levantados em campo, que são fundamentais para espacialização das espécies existentes da Unidade de Manejo Florestal.

O SOTER-PA apresentou dificuldade em processar áreas muito extensas e complexas do ponto de vista da função de otimização, ou seja, o programa funciona melhor em áreas menores e pouco fragmentadas do ponto de vista da mesma função, nesse caso específico, indivíduos prioritários para conservação e espécies remanescente.

A análise de agrupamento com as classes selecionadas revelou-se um método eficaz, podendo servir como subsídio para o planejamento de ações de manejo sustentável, como na definição de áreas para conservação e seleção de árvores remanescentes. Dessa forma, o SOTER-PA pode gerar um modelo de gestão de uso múltiplo com bases em características similares e apresenta uma nova possibilidade para o auxílio de tomada de decisões acerca da distribuição de tais recursos, em função dos seus usos no manejo florestal sustentável, principalmente em florestas nativas que apresentam características heterogêneas em diferentes aspectos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. R. S.; MELO, L. O.; CRUZ, G. S.; MELO, M. S.; SANTOS, M. F.; NICOLETTI, M. F.; RIBEIRO, R. B. S. Índices de Produtividade do Corte De Árvores

em Uma Área de Manejo Florestal Comunitário na Amazônia Brasileira. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1271-1278, 2021.

ANDRADE, D. F.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O.; RUSCHEL, A. R. Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 1, p. 109-115, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal. Brasília, DF: 11 dezembro 2006.

BRASIL. LEI Nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 mai. 2012.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Brasília, DF, 25 de maio de 2012.

CARDOSO, C. C.; MOUTINHO, V. H. P.; MELO, L. O.; SOUZA, M.R. Caracterização físico-mecânicas de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **Revista de Ciências Agrárias**. V. 55, N. 3, p 176-183, 2012.

CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L.; STEIN, C. **Algoritmos: teoria e prática**. 3 ed. Elsevier, 2012.

DILL, S. **Caracterização físico-mecânica de madeiras de segundo ciclo de colheita em floresta nativa Amazônica**. Monografia (Graduação em Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, 2016.

ESPADA, A. L. V. et al. **Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia**. Informativo Técnico. Belém, IFT, 2015.

ESPADA, A. L. V.; SOBRINHO, M. V., ROCHA, G.M.; VASCONCELLOS, A. M. A. Manejo florestal comunitário em parceria na Amazônia brasileira: O caso da Flona do Tapajós. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 14, n. 1, p. 135-160, 2018.

FAO, Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura. **Agricultura Mundial: hacia los años**. 2015/2030. Informe resumido. Roma, Italia, 2002.

FERREIRA NETO, J. A.; SANTOS JÚNIOR, E. C.; PALEO, U. F.; BARROS, D. M.; MOREIRA, M. C. O. Optimal subdivision of land in agrarian reform projects: an analysis using genetic algorithms. **Ciencia e Investigación Agraria** (Impresso), v. 38, p. 169-178, 2011.

FERREIRA, F. M. **Aptidão agrícola das terras como função de otimização para o ordenamento territorial e planejamento ambiental: uma análise do SOTER-PA**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2015.

FRANCEZ, L. D. B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. D. S. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra firme na região de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**, v. 37, n.2, p. 219 – 228, 2007.

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

GIATTI, O. F.; MARIOSIA, P. F.; ALFAIA, S. S.; SILVA, S. C. P.; PEREIRA, H. S. Potencial socioeconômico de produtos florestais não madeireiros na reserva de desenvolvimento sustentável do Uatumã, Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n.3, 2021.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 229-244, 2008.

GUEDES, J. C. F. Estratégia de Zoneamento Ambiental Aplicada a Caracterização Ambiental de Bacias Hidrográficas do Semiárido Brasileiro: Estudo de Caso na Microbacia do Rio Barra Nova–RN/PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 1012-1024, 2016.

HOMMA, A. **Extrativismo Vegetal na Amazônia: Limites e Oportunidades**. Embrapa-SPI, Brasília, 1993.

LIMA, B. L. et al. Estrutura e dinâmica florestal sob efeito do manejo madeireiro na FLONA Tapajós. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 4, p. 437-443, 2018.

LOCONTE, C. O. **A sustentabilidade volumétrica do manejo florestal madeireiro**. Tese de Doutorado em Ciências. Universidade de São Paulo, 2018.

MARTINS, F. R. **Estrutura de uma floresta mesófila**. Campinas: Unicamp, 1991.

MOREIRA, M. C. O.; FERREIRA NETO, J. A.; EINLOFT, C. J.; SILVA, N. T. C. O uso da Busca Tabu no ordenamento territorial em assentamentos rurais: reconfigurando o SOTER-PA (Sistema de Ordenamento Territorial da Reforma Agrária e Planejamento Ambiental). In: **Desenvolvimento Rural, Sustentabilidade e Ordenamento Territorial**. Organizadores: FERREIRA NETO, J. A., EINLOFT, C. J., GONÇALVES, R. L. Viçosa, MG: UFV; Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 265-271, 2011.

OLIVEIRA, F. P.; SOUZA, A. L.; FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização da monodominância de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.) no Município de SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013.

Plano Operacional Anual da Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós (COOMFLONA), 2019.

PLOWDEN, J. C. Production ecology of copaíba (*Copaifera* spp) oleoresin in the Eastern Brazilian Amazon. **Economic Botany**, v. 57, p. 491-501, 2003.

REISCH, R. D. N. O potencial brasileiro para gerar créditos de carbono através da conservação florestal, reflorestamento e produção agrícola sustentável. **Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 3, 2021.

ROMERO, F.M.B. et al. Forest Management with Reduced-Impact Logging in Amazonia: Estimated Aboveground Volume and Carbon in Commercial Tree Species in Managed Forest in Brazil's State of Acre. **Forests**. v. 12, n. 481, 2021.

SANTOS, A. D. **Potencialidade e limites da cadeia de valor dos óleos de essências florestais no sul do Amazonas**. Brasília: Instituto Internacional de Educação do Brasil, 2016.

SILVA, E. S. **Alocação de pátios de estocagem em planos de manejo na Amazônia por meio de programação matemática**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

VALE, C. C.; SILVA, A. L. Classificação supervisionada dos maciços vegetais e cobertura do solo no aglomerado urbano de São Raimundo das mangabeiras–ma. **Acta Tecnológica**, v. 14, n. 1, p. 93-101, 2021.

6 CONCLUSÃO

Após as análises realizadas obteve-se resultados positivos ao problema de pesquisa, uma vez que o SOTER-PA possibilitou o delineamento de Unidades de Trabalho mais homogêneas do ponto de vista da capacidade produtiva adotada. Além disso, apresenta a vantagem da facilidade em usar o *software*, com uma interface simples e intuitiva quanto aos seus parâmetros de entrada e com um tempo de 30 minutos para gerar a melhor solução encontrada.

Entretanto, apesar de termos comprovado a viabilidade do SOTER-PA para o parcelamento da área de interesse, identificamos também, ao longo do processo dos testes realizados, algumas fragilidades no programa, que serão apresentadas com intuito de propor melhorias para o aperfeiçoamento dessa ferramenta.

Alguns destes problemas já foram apresentados ao longo desse trabalho, como a dificuldade de processar áreas extensas e complexas do ponto de vista da função de otimização, isto é, o programa funciona melhor em áreas menores e pouco fragmentadas do ponto de vista da função, nesse caso específico, o número de árvores selecionadas influenciava na granularidade da área processada.

Em sumo, os resultados dessa pesquisa apresentam uma nova possibilidade para auxiliar na tomada de decisões acerca do ordenamento territorial no âmbito do manejo florestal sustentável. Nesse sentido, o SOTER-PA apresenta uma proposta do planejamento ambiental, ressaltando a importância de um levantamento de qualidade dos recursos naturais disponíveis na área de interesse, que auxilie na tomada de decisões da distribuição em função do seu uso.

APÊNDICE A – RESUMO DE BANCO DE DADOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL UPA 01

Quadro 1. Volume e número de indivíduos por espécie inventariados na UPA 01. Fonte: Elaborada a partir de dados da COOMFLONA

Nome científico	Nome regional	Comercializada pela COOMFLONA	Número de indivíduos	Volume (m³)
<i>Vouacapoua pallidior</i>	Acapu amarelo		31	75,5294
<i>Minquartia guianensis</i>	Acariquara	x	161	363,6047
<i>Brosimum parinarioides</i>	Amapá doce		363	1.866,4984
<i>Brosimum lactescens</i>	Amapaí		274	1.367,1990
<i>Symphonia globulifera</i>	Ananim		90	440,2309
<i>Carapa guianensis</i>	Andiroba		116	395,0710
<i>Hymenolobium excelsum</i>	Angelim da mata		242	912,7046
<i>Hymenolobium petraeum</i>	Angelim pedra	x	117	920,7239
<i>Marmaroxylon racemosum</i>	Angelim rajado	x	27	46,5961
<i>Dinizia excelsa</i>	Angelim vermelho	x	49	784,2700
<i>Aspidosperma álbum</i>	Araracanga	x	76	309,0714
<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Barbatimão		24	58,4129
<i>Tetragastris trifoliolata</i>	Breu amescla	x	224	1.522,6436
<i>Protium pallidum</i>	Breu branco		2	3,2198
<i>Protium insigne</i>	Breu sucububa		7	12,6902
<i>Protium puncticulatum</i>	Breu vermelho	x	19	28,7229
<i>Anacardium spruceanum</i>	Caju açu		361	1.677,5970
<i>Aspidosperma auriculatum</i>	Carapanaúba		85	596,6120
<i>Joannesia heveoides</i>	Castanha de arara		39	144,9460
<i>Bertholletia excelsa</i>	Castanheira		227	1.938,0808
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro rosa		1	3,0286
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro vermelho		101	629,1123
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Cedrorana		39	428,3668

Nome científico	Nome regional	Comercializada pela COOMFLONA	Número de indivíduos	Volume (m³)
<i>Copaifera multijuga</i>	Copaíba		323	1.348,5309
<i>Terminalia obovata</i>	Cuiarana	x	327	1.421,7497
<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú	x	438	2.035,8296
<i>Goupia glaba</i>	Cupiúba	x	418	1.609,0313
<i>Vatairea paraenses</i>	Fava amargosa	x	52	368,5265
<i>Vatairea guianensis</i>	Fava bolacha		1	1,9642
<i>Parkia pendula</i>	Fava bolota	x	192	739,6961
<i>Parkia spp.</i>	Fava doce	x	779	2.492,2884
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fava paricá	x	48	209,2594
<i>Parkia pendula</i>	Fava rabo de arara		1	1,4416
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Fava rosca	x	273	1.040,2811
<i>Enterolobium maximum</i>	Fava timbaúba	x	100	590,6179
<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	Fava timborana	x	1836	8.358,2313
<i>Parkia mulijuga</i>	Fava tucupi	x	310	1.232,5899
<i>Apuleia moralis</i>	Garapeira		183	1.073,6432
<i>Pouteria pachycarpa</i>	Goiabão		380	966,4353
<i>Swartzia stipulifera</i>	Gombeira		91	284,9240
<i>Syzygiopsis appositifolia</i>	Guajara bolacha		546	1.820,7186
<i>Clarisia racemosa</i>	Guariúba		38	162,6968
<i>Vochysia máxima</i>	Guaruba		70	383,2879
<i>Vochysia inundata</i>	Guaruba cedro		6	13,0944
<i>Handroanthus incanus</i>	Ipê amarelo		122	473,2067
<i>Handroanthus impetiginosum</i>	Ipê roxo		216	1.810,9748
<i>Mezilaurus itaúba</i>	Itaúba	x	4189	14.372,2148
<i>Mezilaurus lindaviana</i>	Itaúba abacate		13	25,2204
<i>Lecythis lúrida</i>	Jarana	x	1.561	4.067,6053
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	x	710	5.133,0137

Nome científico	Nome regional	Comercializada pela COOMFLONA	Número de indivíduos	Volume (m³)
<i>Hymenaea parvifolia</i>	Jutaí mirim	x	1809	7.991,5895
<i>Licaria rígida</i>	Louro amarelo	x	17	49,8512
<i>Panopsis spp.</i>	Louro faia	x	17	68,1084
<i>Ocotea megaphylla</i>	Louro itaúba	x	4	9,6900
<i>Ocotea baturitensis</i>	Louro preto	x	482	1.208,0712
<i>Ocotea aciphylla</i>	Louro rosa	x	20	62,4654
<i>Caraipa grandiflora</i>	Louro tamaquare	x	1	6,0438
<i>Ocotea rubra</i>	Louro vermelho	x	4	17,9399
<i>Platymiscium blanchetii</i>	Macacaúba		76	238,0821
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	x	3137	13.849,9786
<i>Ruizterania albiflora</i>	Mandioqueira	x	38	223,6887
<i>Qualea dinizii</i>	Mandioqueira rosa		137	667,8425
<i>Manilkara paraenses</i>	Maparajuba	x	456	1.138,5209
<i>Simarouba amara</i>	Marupá		443	1.588,4646
<i>Alexa grandiflora</i>	Melancieira	x	1138	5.762,7115
<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	Mirindiba	x	600	4.919,6220
<i>Glycydendron amazonicum</i>	Mirindiba doce	x	27	83,6607
<i>Astronium lecointei</i>	Muiracatiara	x	427	2.012,4755
<i>Eperua schomburgkiana</i>	Muirapiranga	x	74	221,2730
<i>Brosimum acutifolium</i>	Murure	x	244	1.186,3558
Espécie Não Conhecida	Não identificada		1	5,5034
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha de macaco		85	371,4069
<i>Laetia procera</i>	Pau jacaré		48	154,5049
<i>Zollernia paraenses</i>	Pau santo		18	52,7970
<i>Apeiba áspera</i>	Pente de macaco		19	54,2127
<i>Caryocar villosum.</i>	Piquia		523	3.323,6010
<i>Caryocar glabrum</i>	Piquiarana		244	1.325,2893

Nome científico	Nome regional	Comercializada pela COOMFLONA	Número de indivíduos	Volume (m³)
<i>Aniba canelilla</i>	Preciosa		104	246,8726
<i>Geissospermum sericeum</i>	Quinarana		35	65,2475
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	x	393	2.182,0641
<i>Hevea brasiliensis</i>	Seringueira		81	268,6223
<i>Diploptropis guianensis</i>	Sucupira	x	79	237,9610
<i>Diploptropis purpúrea</i>	Sucupira amarela	x	74	273,7745
<i>Diploptropis purpúrea</i>	Sucupira preta	x	73	237,1629
<i>Ceiba pentandra</i>	Sumaúma		2	25,6676
<i>Sclerolobium paraense</i>	Tachi branco		1	1,8893
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	x	17	108,3621
<i>Couratari guianensis</i>	Tuari	x	921	4.665,0098
<i>Cariniana micranta</i>	Tuari cachimbo		102	841,6883
<i>Ormosia santaremnensis</i>	Tento mulato		15	52,7466
<i>Ormosia paraenses</i>	Tento preto		55	199,9074
<i>Endopleura uchi</i>	Uchi		119	409,1032
<i>Virola guggenheimii</i>	Virola	x	311	922,2755
TOTAL			28.369	123.894,1158