



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

ADRIELLY ROBERTA BENTES LOUCHARD

**PRODUÇÃO E CUSTOS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA COM A
INCLUSÃO DE ÁRVORES OCAS, EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO
OESTE DO PARÁ.**

BELÉM

2022

ADRIELLY ROBERTA BENTES LOUCHARD

**PRODUÇÃO E CUSTOS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA COM A
INCLUSÃO DE ÁRVORES OCAS, EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO
OESTE DO PARÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Linha de pesquisa: manejo de ecossistemas florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Saraiva da Rocha.

Coorientador: Prof. Dr. Maximilian Steinbrenner.

Coorientadora: Prof^a Dra Rosângela de Jesus Sousa.

BELÉM

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L886p Louchard, Adrielly Roberta Bentes
PRODUÇÃO E CUSTOS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA COM A
INCLUSÃO DE ÁRVORES OCAS, EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO OESTE
DO PARÁ / Adrielly Roberta Bentes Louchard. - 2022.
70 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF),
Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2022.
Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva
1. defeitos em árvores. 2. rendimento volumétrico da exploração. 3. empobrecimento
progressivo da floresta. 4. Floresta Nacional de Saracá Taquera. 5. Amazônia. I. Silva, José
Natalino Macedo. *orient.* II. Título
-

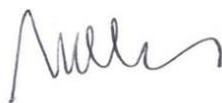
ADRIELLY ROBERTA BENTES LOUCHARD

**PRODUÇÃO E CUSTOS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL MADEIREIRA COM A
INCLUSÃO DE ÁRVORES OCAS, EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO
OESTE DO PARÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais. Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva.

Data da Aprovação: 31/01/2022

Banca Examinadora:



**Dr. JOSÉ NATALINO MACEDO SILVA - ORIENTADOR
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**



**Dr. EDSON JOSE VIDAL DA SILVA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP**



**Dr. ADEMIR ROBERTO RUSCHEL
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa**



**Dr. JOÃO OLEGARIO PEREIRA DE CARVALHO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela dádiva da vida e pela força para chegar até aqui.

À empresa Samise Indústria, Comércio e Exportação Ltda por disponibilizar o local, dados, apoio logístico e pessoal para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Dr. José Natalino Macedo Silva, pelos ensinamentos e orientações nesta dissertação.

Aos professores Dr. Eduardo Saraiva, Dr. Max Steinbrenner e a Dra. Rosângela Sousa pelos auxílios e ensinamentos na realização da dissertação.

Ao projeto Bom Manejo da Embrapa Amazônia Oriental, representado pelo Dr. Max Steinbrenner.

Aos meus pais, Andrely e Sérgio, por todo amor, confiança, apoio e por não medirem esforços para proporcionar a melhor vida possível para meus irmãos e para mim, sendo os meus primeiros e maiores incentivadores.

Aos meus avós, Lourdes e David. Em especial à minha avó Manuelina Bentes, que é a melhor pessoa que eu já tive o prazer de conhecer em toda a minha vida, por ter me ensinado tanto sobre a vida, pelo carinho e esforço dedicado aos seus netos.

À minha família por todo apoio, meus irmãos Andrey, Adylla e Ágatha e minhas tias Adma, Luiza e Ana (*In memoriam*).

À Mariana Braga, pelo apoio diário e por ser a maior incentivadora para realização deste mestrado.

RESUMO

É comum a ocorrência de árvores ocas em muitas regiões da Amazônia brasileira. No caso de algumas espécies, esse defeito afeta um número considerável de indivíduos. Embora a legislação florestal brasileira permita a substituição de árvores ocas por outras sem esse defeito, com o intuito de diminuir os desperdícios de madeira, pouco se sabe sobre o real impacto da ocorrência desse defeito e da substituição de árvores ocas na produção, no rendimento e nos custos da exploração. Uma consequência natural da rejeição de árvores ocas é o progressivo empobrecimento da floresta pelo acúmulo de árvores defeituosas seja por ocorrência de ocas, tortuosidades entre outros defeitos. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a exploração de árvores ocas tem impacto significativo no volume extraído e os custos da exploração em comparação aos procedimentos convencionais. O estudo foi conduzido na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, situada no oeste do Pará. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e sete repetições. A área de cada repetição foi de 9 hectares, totalizando 189 ha. Os tratamentos aplicados foram: T0 (controle), no qual foi realizada a exploração com a substituição de árvores ocas; T1, no qual as árvores ocas não foram descartadas nem substituídas, e T2, no qual as árvores ocas foram exploradas, e o volume máximo de corte permitido na legislação completado com a exploração de uma árvore substituta para cada oca derrubada. Em todos os tratamentos foram contabilizados o volume de madeira extraído, o volume de resíduos, os custos da operação e o rendimento volumétrico da exploração. A análise de variância atestou que não houve diferença significativa entre os três tratamentos quanto ao volume de madeira extraído, o rendimento volumétrico da exploração, o volume de resíduos ocas gerados e os custos da exploração florestal. Dessa forma, o estudo indicou que a exploração de árvores ocas pode ser realizada para diminuir a chamada seleção negativa da floresta, pois não há a geração de resíduos maior do que a exploração que é feita atualmente, com a substituição de árvores ocas.

Palavras-chave: defeitos em árvores, rendimento volumétrico da exploração, empobrecimento progressivo da floresta, Floresta Nacional de Saracá Taquera, Amazônia.

ABSTRACT

The occurrence of hollow trees is common feature in many regions of the Brazilian Amazon. In the case of some species, this defect affects a considerable number of individuals. Although the Brazilian forestry legislation allows the replacement of hollow trees by sound ones, in order to reduce wood waste, little is known about the real impact of the occurrence of this defect and the replacement of hollow trees on volume production, yield and logging costs. A natural consequence of the rejection of hollow trees is the progressive impoverishment of the forest due to the accumulation of defective trees or due to the occurrence of hollows, tortuosity and other defects. The aim of this work is to assess whether logging hollow trees has a significant impact on the volume extracted and the costs of logging compared to conventional procedures. The study was carried out in the Saracá-Taquera National Forest, located in western Pará. The Completely Randomized Experimental Design was, comprising three treatments and seven replications. The area of each replication was 9 ha, totaling 189 ha. The treatments applied were as follows: T0 (control), in which logging was carried out with the replacement of hollow trees; T1, in which hollow trees were not discarded nor replaced, and T2, in which hollow trees were logged, and the maximum allowed volume as established in the legislation was completed with the volume of one replacement tree for each hollow tree logged. In all treatments, the volume of timber extracted, the volume of waste, operational costs and the volume yield were accounted for. The analysis of variance indicated that there was no significant difference between the three treatments regarding the extracted volume, yield, the volume of follow waste generated and the logging costs. Thus, the study indicated that logging hollow trees can be carried out to help minimize negative selection of the forest, as waste production is not larger than logging with the replacement of hollow trees.

Key-words: defects on trees, volume yield of logging, progressive impoverishment of the forest, Saracá Taquera National Forest, Amazônia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	QUESTÕES E HIPÓTESES	13
3	OBJETIVOS	14
	3.1 Objetivo Geral	14
	3.2 Objetivos Específicos	14
4	REVISÃO DE LITERATURA	15
	4.1 Manejo florestal madeireiro na Amazônia	15
	4.2 Madeiras ocas	16
	4.2.1 Detecção da presença do oco	18
	4.3 Volume de madeira no manejo florestal	19
	4.3.1 Volume do oco	20
	4.4 Custos das operações florestais	22
5	MATERIAL E MÉTODOS	23
	5.1 Localização da Área de Estudo	23
	5.2 Caracterização da Área de Estudo	24
	5.2.1 Aspectos ambientais	24
	5.3 Delineamento Experimental	24
	5.4 Análise Estatística	26
	5.5 Critérios para a Seleção de Árvores	27
	5.6 Instalação do Experimento e Coleta de Dados	28
	5.6.1 Cubagem das toras	29
	5.6.2 Cubagem do oco	29
	5.6.3 Cubagem de resíduos dos troncos ocas	30
	5.7 Volume de Madeira Extraído	31
	5.8 Cálculo do Rendimento Volumétrico da Exploração	31
	5.8.1 Rendimento Volumétrico Bruto	31
	5.8.2 Rendimento Volumétrico Líquido	32

5.9 Determinação dos Custos da Exploração	32
5.9.1 Considerações gerais	32
5.9.2 Levantamento de dados para cálculo dos custos junto ao setor contábil da empresa parceira	33
5.9.3 Levantamento dos dados em campo	33
5.9.3.1 Documentação das atividades de exploração	33
5.9.3.2 Documentação do consumo das máquinas	34
5.9.4 Cálculo dos Custos da Exploração Florestal	35
6 RESULTADOS	37
6.1 Volume de Madeira Extraído	37
6.1.1 Validação dos resultados de volume de madeira extraído.....	37
6.1.2 Análise descritiva dos dados de volume de madeira extraído	37
6.1.3 Análise estatística do volume de madeira extraído	40
6.2 Resíduos ocados	40
6.2.1 Validação dos resultados de resíduos ocados.....	40
6.2.2 Análise descritiva dos dados de resíduos ocados	41
6.2.3 Análise estatística dos dados de resíduos ocados.....	42
6.3 Rendimento Volumétrico da Exploração	42
6.3.1 Rendimento Volumétrico Bruto (RVB%)	42
6.3.1.1 Validação dos resultados de RVB%	42
6.3.1.2 Análise descritiva dos dados de RVB%	43
6.3.2 Rendimento Volumétrico Líquido (RVL%).....	44
6.3.2.1 Validação dos resultados de RVL%	44
6.3.2.2 Análise descritiva dos dados de RVL%	45
6.3.2.3 Análise estatística do RVL%	46
6.4 Custo das Operações da Exploração Florestal	46
6.4.1 Custos gerais da exploração florestal por atividade	46

6.4.2	Validação dos resultados de custo da exploração florestal.....	47
6.4.2	Análise descritiva dos dados de custo da exploração florestal.....	48
6.4.3	Análise estatística dos dados de custo da exploração florestal.....	49
7	DISCUSSÃO	50
7.1	Produção volumétrica	50
7.2	Custos da exploração.....	54
8	CONCLUSÕES	56
9	RECOMENDAÇÕES	57
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
11	APÊNDICES	63
	APÊNDICE A – Formulário de campo para quantificação do volume extraído na etapa de romaneio.	63
	APÊNDICE B – Formulário de campo para quantificação do volume de toras não aproveitadas devido ao oco.	64
	APÊNDICE C – Formulário de campo para levantamento do consumo de combustíveis e materiais das máquinas e equipamentos.	65
	APÊNDICE D – Formulário de equipe para preenchimento das atividades diárias...	65
	APÊNDICE E – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de volume de madeira extraído nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.	66
	APÊNDICE F – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de volume de madeira extraído nos três tratamentos aplicados.....	66
	APÊNDICE G – ANOVA dos valores de volume de madeira extraído (m³ ha⁻¹) entre os três tratamentos aplicados.	66
	APÊNDICE H – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de resíduos ocos gerados nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.	66

APÊNDICE I – Resultados do teste de Shapiro Wilk e confirmação da normalidade dos valores de resíduos ocios gerados nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.	66
APÊNDICE J – ANOVA dos volumes de resíduos ocios gerados ($m^3 ha^{-1}$) nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.....	67
APÊNDICE K – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de RVB% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.	67
APÊNDICE L – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de RVB% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera. ...	67
APÊNDICE M – ANOVA dos valores de RVB% entre os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.....	67
APÊNDICE N – ANOVA resultante da aplicação do teste de Levene para os resíduos de RVL%.....	67
APÊNDICE O – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de RVL% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera. ...	68
APÊNDICE P – ANOVA dos valores de RVL% entre os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.....	68
APÊNDICE Q – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos para os valores de custo das operações de exploração.	68
APÊNDICE R – Resultados do teste de Shapiro Wilk e confirmação da normalidade dos valores de custo das operações nos três tratamentos aplicados.....	68
APÊNDICE S – ANOVA dos valores de custo da exploração florestal nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.....	68
12 ANEXOS	69
ANEXO A – Mapa de Corte e Arraste utilizado em todas as atividades.	69
ANEXO B – Ficha de campo para controle das operações utilizada em todas as atividades.....	70

1 INTRODUÇÃO

A redução da área de florestas tropicais a partir da década de 1990, devido ao crescimento expressivo das ações antrópicas, criou uma preocupação ambiental global, principalmente, em relação à frequência e à velocidade destas ações. No que diz respeito à exploração florestal, iniciou-se uma busca por técnicas de exploração pautadas no rendimento sustentável, na produção de volume de madeira compatível com o extraído e com o compromisso para a conservação dos recursos naturais. Buscou-se também estratégias para a fiscalização e para o gerenciamento das florestas por parte das instituições responsáveis (SILVA; APPANAH, 1993; SOUZA *et al.*, 2015; JARDIM; QUADROS, 2016).

As práticas de exploração florestal, tanto do ponto de vista econômico como ambiental, foram melhoradas com introdução das chamadas técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR). A EIR foi mais difundida e adotada no final do século XX e um dos projetos iniciais utilizando esta técnica de exploração foi relatado por Pinard e Putz (1996). A EIR é uma técnica baseada no planejamento das operações, com vistas a minimizar os danos ambientais, e, ao mesmo tempo, conservar o potencial volumétrico para cortes futuros. Com isso, mantêm-se os serviços ambientais proporcionados pela floresta, reduzem-se os desperdícios, os custos operacionais e aumenta-se a eficiência das atividades envolvidas na exploração (SABOGAL *et al.*, 2000).

Espada *et al.* (2014) relatam que, na Amazônia brasileira, introduziu-se a prática de substituição de árvores ocas por árvores sãs, na tentativa de diminuir o desperdício de madeira, tanto em relação às toras não aproveitadas devido à presença de oco, quanto ao seu baixo rendimento volumétrico na indústria.

Na prática, antes da execução da atividade de derruba, faz-se a avaliação e o teste do oco na árvore selecionada para corte. O teste do oco consiste na verificação da existência e dimensão de ocos ou podridões no tronco da árvore, sendo um teste essencial para definir se esta será descartada ou explorada (NOGUEIRA *et al.*, 2011).

Segundo Lira (2016), o teste do oco é um processo que não indica com segurança e eficiência necessárias, a qualidade de todo o tronco da árvore em pé, assim como não revela a dimensão do oco, ou seja, quanto ele se estende ao longo do fuste. Surge assim, a necessidade de avaliar quão eficiente é o teste de oco para justificar o descarte de um tronco inteiro. Além de fazer uma perfuração na base do tronco com a motosserra, o oco pode ser detectado com a utilização de um equipamento de ultrassom (SECCO, 2011) mas mesmo

nesse caso o teste se restringe à base do fuste e possui implicações operacionais, como o tempo de execução do teste.

Estudos do rendimento volumétrico com a exploração de árvores ocas são importantes para evitar descarte desnecessário de árvores. Neste sentido, pesquisas conduzidas por Nogueira *et al.* (2006), com árvores que apresentavam oco de diferentes tamanhos e formatos, mostraram que de 303 árvores amostradas, apenas em 30 foram encontrados ocos, fazendo com que o volume das árvores fosse superestimado em apenas 0,6%, quando o volume do oco não foi considerado para o cálculo de volume total das toras.

De acordo com projeções de Correia e Peruquetti (2020), a presença de árvores ocas tende a aumentar com o passar do tempo, isso pode afetar não só o rendimento volumétrico e financeiro, mas também o volume de madeira extraído, tanto no primeiro corte quanto nas explorações futuras.

A ocorrência do oco no rendimento volumétrico das florestas é de muita relevância para o setor florestal, pois pode afetar a produtividade da exploração, o rendimento financeiro e, em última análise, a lucratividade da empresa detentora do plano de manejo. Este fato ainda sofre influência da precisão do volume calculado no romaneio em relação àquele volume obtido por meio do censo florestal (inventário florestal realizado a 100%) e pela diferença do volume das árvores selecionadas para corte e os das árvores substitutas (ALMEIDA, 2018). Não obstante a sua importância, a relação entre o volume autorizado nos planos de manejo florestais e o volume efetivamente explorado é uma informação pouco conhecida e divulgada pelos executores desses planos ou pelos órgãos licenciadores de planos de manejo (PEREIRA, 2020).

O descarte de árvores ocas pode interferir diretamente na produção de volume e, conseqüentemente, no estoque potencial de madeira comercial para o segundo ciclo de corte, pois são deixadas na floresta árvores que supostamente não serão exploradas futuramente.

Já que a legislação sobre o manejo florestal na Amazônia permite a substituição de árvores ocas, esta prática contribui para o empobrecimento progressivo da floresta, uma vez que são retiradas apenas as árvores de melhor qualidade a cada colheita.

Almeida (2018) e Minetti *et al.* (2000) comentam que a presença de árvores ocas pode aumentar o tempo de execução das atividades de exploração, principalmente devido ao deslocamento da equipe para procurar árvores substitutas, diminuindo, portanto, a produtividade da exploração e, conseqüentemente, interferindo nos custos da operação.

Por outro lado, a determinação dos custos das operações florestais no campo, é fundamental para avaliar a viabilidade econômica da atividade. No contexto da exploração de florestas naturais na Amazônia brasileira, os estudos ainda são muito incipientes. Quando disponíveis, são mais voltados aos custos de produção de madeira serrada (LENTINI *et al.*, 2005).

Para uma análise mais adequada da viabilidade da exploração florestal madeireira deve-se avaliar os custos para executar as atividades relacionadas. Nesse contexto, é necessário compreender de que maneira a execução de determinadas atividades pode impactar os custos de exploração florestal. Por exemplo, o descarte de árvores ocas e a procura por árvores não ocas para substituí-las. Isso se justifica porque no âmbito do manejo florestal, sempre se busca por alternativas para melhorar a execução das atividades, principalmente das atividades de exploração, por ser a etapa de maior custo. Por esta razão, é de grande importância conhecer a influência da exploração de árvores ocas no volume de madeira extraído no rendimento e nos custos da exploração.

2 QUESTÕES E HIPÓTESES

Este trabalho visou responder os seguintes questionamentos e testar as seguintes hipóteses:

Questão 1: A substituição de árvores ocas aumenta o custo da exploração?

Hipótese 1: A substituição de árvores ocas aumenta os custos da exploração.

Questão 2: A exploração com a inclusão de árvores ocas e sem substituição resulta em uma produção volumétrica menor do que a exploração com substituição de árvores ocas?

Hipótese 2: A produção volumétrica incluindo árvores ocas e sem a substituição dessas é menor do que aquela em que se substitui as árvores ocas.

Questão 3: A exploração com a utilização de árvores ocas e árvores substitutas eleva o custo por m³ de madeira explorada?

Hipótese 3: A exploração de árvores ocas combinada à utilização de árvores substitutas eleva o custo por m³ de madeira explorada.

Questão 4: A exploração sem a substituição de árvores ocas produz uma quantidade de resíduos maior devido a presença do oco?

Hipótese 4: A exploração sem a substituição de árvores ocas produz maior quantidade de resíduo devido a presença do oco.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Estudar alternativas de exploração florestal com e sem a inclusão de árvores ocas e seus impactos na produção de madeira e de resíduos ocas, no rendimento volumétrico e nos custos das operações.

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a produção volumétrica da exploração de árvores ocas;
- Comparar o volume de madeira explorado e os custos da exploração com e sem a substituição de árvores ocas;
- Quantificar a geração de resíduos na exploração com a utilização de árvores ocas;
- Avaliar o rendimento da exploração com a utilização de árvores ocas;
- Avaliar os custos da exploração com a substituição de árvores ocas.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Manejo florestal madeireiro na Amazônia

De maneira ampla, o manejo florestal é definido como a adoção de princípios empresariais e técnicas silviculturais para conduzir as operações em uma propriedade florestal (SILVA, 1996). Segundo a Lei 11.284, Lei de Gestão de Florestas Públicas, manejo florestal sustentável é a administração da floresta, afim de obter ganhos econômicos, ambientais e sociais, levando em consideração os processos para sustentação e a resiliência do ecossistema manejado, considerando ainda a utilização de múltiplos produtos e subprodutos, assim como de múltiplas espécies (BRASIL, 2006). Higuchi (1994) define manejo florestal como a parte da ciência florestal que engloba um conjunto de técnicas, princípios e normas, para organizar as atividades necessárias, ordenar os elementos da produção e para fiscalizar ou controlar a produtividade e a eficácia, a fim de alcançar os objetivos que foram definidos inicialmente. Nesse sentido, o manejo florestal sustentável é caracterizado como a gestão de um povoamento florestal, utilizando apenas o que ele tem capacidade de oferecer e produzir por um determinado período de tempo, o que não irá comprometer a estrutura natural da floresta (ESPADA *et al.*, 2014).

Até o final do século XX a exploração florestal praticada na Amazônia era a chamada exploração convencional (EC). Este tipo de exploração ocorre sem planejamento das atividades e não há compromisso com o estado futuro da floresta, tendo objetivos a curto prazo, não havendo preocupação com a disponibilidade dos recursos para as próximas gerações (ESPADA *et al.*, 2014; BRAZ *et al.*, 1998).

A Exploração de Impacto Reduzido (EIR) surgiu pela necessidade de reduzir o desperdício de madeira, aumentar a eficiência das operações florestais, aumentar a rentabilidade da floresta, promover a maior segurança na execução das atividades e diminuir os impactos ambientais (NOGUEIRA *et al.*, 2011; SABOGAL *et al.*, 2000; AMARAL *et al.*, 1998).

A EIR foi mais difundida e adotada no final da última década do século XX. Um dos projetos iniciais utilizando este método de exploração foi relatado por Pinard e Putz (1996). Entretanto, antes mesmo do termo “Exploração de Impacto Reduzido” ter sido criado e difundido, atividades que compõem esta técnica de exploração, como o inventário a 100%, a derruba orientada e a determinação da distância ótima de arraste pelo skidder, já tinham sido aplicadas por Costa Filho, Costa e Aguiar (1980), na Floresta Nacional do Tapajós e por Costa Filho e Lima (1992) e SUDAM (1978) em Curuá-Una, no estado do Pará.

A EIR compreende uma série de atividades como o planejamento das operações, a utilização de técnicas adequadas, como o censo das árvores com potencial para corte, o corte direcionado, o corte de cipós, a abertura de estradas e ramais de arraste, o treinamento dos trabalhadores e a fiscalização das operações (NOGUEIRA *et al.*, 2011; AMARAL *et al.*, 1998).

Dentre as preocupações dos manejadores florestais na Amazônia está o melhor aproveitamento do potencial da floresta e a obtenção de um rendimento em volume de madeira que se aproxime ao máximo possível do limite permitido pela legislação. Isto também está ligado ao estoque de madeira comercial remanescente, o qual pode ou não se recuperar ao final do ciclo de corte adotado no plano de manejo (DIONISIO, 2020).

Estudo pioneiro na Amazônia brasileira para comparar a EC com a EIR foi realizado por Barreto *et al.* (1998), no qual foi observado que com a EIR foi possível obter um maior volume médio extraído por hectare, com uma quantidade menor de árvores extraídas. Este fato está relacionado com a diminuição das perdas de madeira, principalmente na derruba, e devido ao diâmetro mínimo de corte ser maior na EIR.

A exploração planejada pode resultar em menor desperdício de madeira. Holmes *et al.* (2002), em pesquisas comparando a EIR e a exploração convencional em Paragominas, Pará, mostraram que a EIR reduziu o desperdício de madeira em 68% em relação à exploração convencional. A exploração convencional resultou em um desperdício de madeira de 6,05 m³ ha⁻¹, enquanto que a EIR apresentou um desperdício de 1,92 m³ ha⁻¹.

Além da redução de desperdícios, a EIR resulta em benefícios tais como maior crescimento e menor mortalidade na floresta conforme relatou Vidal (2004) ao comparar a dinâmica de uma floresta manejada com uma floresta explorada de forma convencional, em Paragominas/PA. O autor constatou que as árvores onde se aplicou a EIR cresceram mais em diâmetro, área basal e volume do que aquelas onde se fez a exploração convencional. A mortalidade, por outro lado, foi maior na EC em comparação à EIR.

Em relação à diminuição dos desperdícios de madeira, outra prática que surgiu com a EIR foi o teste do oco e a possibilidade de substituição de árvores ocas. Além da diminuição dos desperdícios de madeira pela não utilização de toras ocas, a substituição destas árvores também está ligada à segurança dos trabalhadores na execução das atividades (ESPADA *et al.*, 2014).

4.2 Madeiras ocas

Como a madeira central das árvores vivas, denominada de cerne, é considerada, biologicamente, como tecido morto, se torna muito mais vulnerável ao ataque de insetos

xilófagos, fungos e bactérias que podem causar o aparecimento do oco nas árvores (APOLINARIO; MARTIUS, 2004).

Antes do surgimento do oco nas árvores, o cerne apodrece e com o passar do tempo, o oco é formado. Brazolin (2009) diferencia três tipos de podridão dos lenhos: a podridão branca, a podridão parda e a podridão mole. A podridão branca ocasiona linhas escuras que indicam a região afetada. Já a podridão parda torna o tronco friável, com aspecto quebradiço e o deixa mais escuro do que o normal. Por fim, a podridão mole faz com que o lenho fique rígido, porém com perda de resistência à flexão.

A degradação da madeira por fungos e bactérias ocorre de maneira diferenciada para cada espécie ou grupo de espécies de madeira. As espécies de madeiras que possuem alto teor de extrativos (ceras, óleos, resinas, alcaloides, taninos etc.) são mais resistentes ao ataque microbiano, pois estes compostos auxiliam na sua preservação, porém mesmo estas madeiras sendo mais resistentes, elas não estão imunes à decomposição (BLANCHETTE, 2000).

Segundo Secco (2011) um dos problemas do manejo florestal sustentável é a perda de volume de madeira devido à problemas nas escolhas das árvores a serem exploradas, o que pode ser ocasionado tanto pelo baixo rendimento na utilização da madeira nas serrarias, como pela baixa qualidade daquela. De acordo com o autor, a presença de ocos é uma explicação para o baixo rendimento de desdobro de algumas árvores.

Árvores ocas possuem elevada importância nos planos de manejo, pois afetam nas estimativas da área basal e do volume da floresta, assim como influenciam no rendimento da exploração (NOGUEIRA *et al.*, 2006; APOLINARIO; MARTIUS, 2004). O percentual de ocorrências de árvores ocas em áreas de manejo florestal sustentável é variável: Minetti *et al.* (2000) observaram que o percentual de árvores ocadas na Amazônia Ocidental é cerca de 23%; já Nogueira *et al.* (2006) verificaram, em suas pesquisas na Amazônia central, que 10% das árvores exploradas apresentaram oco; Ribeiro e Gomes (2011) em seus estudos realizados no Acre, relatam que a ocorrência de árvores que apresentavam ocos variou entre 1 a 26%.

Almeida (2018) em seus estudos sobre a ocorrência de árvores ocas e o impacto nos rendimentos da exploração de madeira na Floresta Nacional (Flona) de Saracá-Taquera, constatou que do total de árvores passíveis de exploração, 42,57% foram descartadas por algum motivo e do total de árvores descartadas, 85,64% não foram exploradas devido à presença do oco. Esta quantidade de árvores ocadas representou 36,46% daquelas selecionadas para exploração.

4.2.1 Detecção da presença do oco

Toda árvore selecionada para corte passa por uma avaliação de qualidade do fuste. A primeira avaliação é realizada visualmente. Os defeitos naturais no fuste que podem ser detectados por observação, podem indicar o corte ou não de uma determinada árvore. Após a avaliação visual, deve ser realizado outro teste para detecção da presença do oco. A forma de avaliação para detecção do oco amplamente aplicado atualmente é denominada teste do oco e consiste na introdução do sabre da motosserra verticalmente no tronco da árvore, afim de verificar indícios da presença do oco no fuste, como serragem escurecida, lama, água e a resistência do lenho à introdução do sabre, possibilitando ainda ao operador estimar o diâmetro do oco (NOGUEIRA *et al.*, 2011).

De acordo com Lira (2016) para se avaliar uma árvore pelo teste do oco, é necessário que o operador de motosserra que o realizou possua uma elevada experiência no quesito, uma vez que este é o responsável por informar se a árvore está adequada ou não para o corte. O referido autor ressalta que o teste do oco não é capaz de produzir uma qualificação do tronco com a segurança e a eficiência necessária para indicar o descarte daquela árvore. Secco (2011) afirma ainda que o teste do oco é um processo bastante invasivo e pode provocar danos irreversíveis à árvore.

Costa Filho e Lima (1992) recomendavam uma avaliação seletiva no momento da derruba das árvores. Se o operador verificasse a existência de oco, essas árvores não devem ser eliminadas. De acordo com os autores, o operador deveria derrubar a árvore quando o oco não ultrapassasse 30% do diâmetro do fuste. Esta recomendação foi anterior à implantação do teste do oco na Amazônia brasileira.

Existem métodos mais simples para detecção do oco. Um desses métodos consiste em encostar o ouvido na árvore, bater no tronco com um martelo e analisar o som gerado. Se houver eco, é um indicativo de que a árvore está totalmente oca (AMARAL *et al.*, 1998). Contudo, esta forma de detecção só indica ocos que se estendem por todo o tronco da árvore e um aprendizado contínuo do operador.

Um método mais complexo para avaliação de troncos de árvores em relação à presença de oco é uso da tecnologia de ultrassom. Secco (2011) verificou a sensibilidade do ultrassom para detecção do oco por meio da medição do tempo e da velocidade, com que a onda realiza o percurso no comprimento de discos de madeira. Essa medição é possibilitada pela disposição de dois transdutores posicionados em faces opostas no disco. A detecção do oco por esse método se dá pela variação de velocidade de propagação das ondas. Esta técnica por outro lado,

apresenta algumas limitações relacionadas à sua aplicabilidade na exploração florestal pela necessidade da aquisição de um equipamento para cada equipe de derruba e ter um membro da equipe treinado para sua utilização.

A termografia por infravermelho foi utilizada em estudos realizados por Crisóstomos *et al.* (2018), para atestar a sanidade de árvores, por meio da temperatura no interior dos troncos das árvores. As imagens obtidas por infravermelho auxiliam na avaliação do tronco em relação à deterioração ou à presença de espaços vazios. Apesar de, preliminarmente, esta prática ter apresentado resultados promissores para a análise dos fustes de árvores de interesse, requer a realização de mais estudos para que esta técnica seja indicada.

4.3 Volume de madeira no manejo florestal

A estimativa do volume de madeira é uma das atividades mais importantes do manejo florestal. Existem diversas expressões matemáticas que possibilitam a determinação do volume rigoroso dos troncos, como as fórmulas de Huber, Smalian e Newton (KERSHAW *et al.*, 2017)). Os volumes calculados por essas fórmulas são a base para a modelagem do volume das árvores individuais por meio de técnicas de regressão.

Para estimativa do volume de madeira podem ser utilizados fatores de forma, que variam entre fatores de forma para determinadas regiões ou fatores de forma gerais, ou, mais comumente utilizado, equações de volume, que podem ser locais, regionais ou desenvolvidas para áreas específicas, além de funções de afilamento (FIGUEREDO FILHO, 1983; MACHADO; FIGUEREDO FILHO, 2014).

Na execução de planos de manejo, a legislação florestal permite que a estimativa do volume de madeira para o primeiro Plano Operacional Anual (POA) seja realizada pela utilização de fator de forma ou calculada com o auxílio de uma equação ajustada para as mesmas condições e mesmo tipo de floresta. A partir do segundo POA, o órgão ambiental só autoriza a exploração se houver a estimativa de volume calculada por meio de equações de volume específicas para a área na qual está sendo executado o Plano de Manejo Florestal Sustentável (CONAMA, 2009).

A modelagem tem sido amplamente empregada na área de manejo florestal para a estimativa do volume das florestas, o volume por espécie e a produtividade florestal (FIGUEREDO FILHO, 1983; HIGUCHI; RAMM, 1985; MOURA, 1994; BARROS; SILVA JUNIOR, 2009; LEITE; REZENDE, 2010; SILVA *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2019; BIAZATTI *et al.*, 2020; AGUIAR; GARCIA, 2021).

Aguiar e Garcia (2021) ressaltam que para a estimativa de volume ser confiável, é necessário que as equações de volume sejam consistentes, seguras e precisas. Os autores reafirmam a importância das equações volumétricas para o manejo florestal e comentam ainda que uma estimativa de volume confiável, com a utilização de equações de volume consistentes, pode diminuir os desperdícios de madeira e pode evitar grandes diferenças entre os volumes estimados e os explorados.

4.3.1 Volume do oco

Diversos autores ressaltam que a presença do oco pode causar impactos negativos tanto no rendimento do volume de madeira (APOLINARIO; MARTIUS, 2004; PEREIRA, 2020; CORREIA; PERUQUETTI, 2020) quanto nos rendimentos financeiros do manejo florestal (RODRIGUES; 2020). Além disso, a ocorrência do oco causa uma superestimativa da área basal e do volume das árvores, o que interfere na estimativa do volume de madeira realizada a partir do inventário florestal (BROWN; LUGO, 1992; NOGUEIRA *et al.*, 2006).

Existem poucas informações referentes à metodologia para quantificação do volume do oco. Medeiros (2019) utilizou a fórmula de Smalian para obter o volume do oco (Equação 1). Por este método, o comprimento total do oco na tora é medido e são realizadas duas medidas perpendiculares de diâmetro, para obtenção do diâmetro médio aritmético do oco, nas duas extremidades da tora, utilizando a seguinte fórmula para obter o volume do oco.

$$V_o = \frac{\left(\pi \cdot \frac{D_i^2}{40000}\right) + \left(\pi \cdot \frac{D_f^2}{40000}\right) * L}{2} \quad (1)$$

Onde,

V_o = volume do oco (m^3);

D_i = diâmetro médio aritmético do oco da ponta fina da tora (cm);

D_f = diâmetro médio aritmético do oco da ponta grossa da tora (cm);

L = Comprimento do oco (m).

Para o cálculo do volume do oco, Dantas (2021) empregou a equação geométrica do tronco de cone (DOLCE; POMPEU, 1993) (Equação 2), na qual utilizou as duas medições perpendiculares de diâmetro para obter o valor do raio. A referida autora justificou a utilização desta forma devido ao comportamento do oco na árvore, advindo de observações de campo, que constatou maiores diâmetros do oco na extremidade correspondente à base (D_b) e menores diâmetros do oco no topo (D_t) das árvores.

$$V_o = \frac{(\pi \cdot h)}{3 \cdot (R^2 + Rr + r^2)} \quad (2)$$

Na qual,

R = Raio da base maior, em metros (Obtido por: $(Db1 + Db2)/4$);

r = raio da base menor, em metros (Obtido por: $(Dt1 + Dt2)/4$);

π = Constante PI;

h = Comprimento do oco, em metros;

V_o = Volume do oco.

A modelagem também vem sendo utilizada para a estimativa do volume do oco. Sendo assim, Dantas (2021) ajustou e comparou seis modelos, três lineares e três não-lineares, comumente empregados para a modelagem de fuste de árvores, para estimar o volume do oco, em sua pesquisa na Flona de Saracá-Taquera. Dentre os modelos analisados pela autora, três deles mostraram resultados com precisão aceitável, quando utilizado o diâmetro médio aritmético e o comprimento do oco como variáveis de entrada (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelos para estimativa do volume do oco em árvores em pé.

Nº	Modelo	Tipo	R^2_{ajust} (%)	S_{yx} (%)
1	$V_o = B_0 + B_1 * d^2h + \varepsilon$	Linear	99,65	4,770
2	$\text{Ln}V_o = B_0 + B_1 * \text{Ln}(d^2h) + \varepsilon$	Linearizado	99,73	7,258
3	$\text{Ln}V_o = B_0 + B_1 \text{Ln}(d) + B_2 \text{Ln}(h) + \varepsilon$	Linearizado	99,72	7,267

d= diâmetro do oco; h=comprimento do oco.

Fonte: Dantas (2021). (Adaptado)

Danielli (2013) testou doze modelos para estimativa do volume do oco em toras de *Manilkara* spp., sendo oito modelos lineares e quatro não-lineares. Dos modelos testados pelo autor, os três que melhor representaram os dados de volume do oco e podem ser utilizados para estimar o volume do oco das toras da espécie estudada utilizam como variável independente o diâmetro do oco da tora, em centímetros (Tabela 2).

Tabela 2 - Modelos para estimativa de volume do oco das toras de *Manilkara* spp.

Nº	Modelo	R^2_{ajust}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} (%)
1/2	$V_o = B_0 + B_1 * D_o + \varepsilon$	0,911	0,123	4,108
2/3	$V_o = B_0 + B_1 * D_o + B_2 * L + \varepsilon$	0,949	0,093	3,112
3/10	$V_o = B_0 + D_o^{B_1} + \varepsilon$	0,916	0,122	4,063

D_o = diâmetro do oco da tora.

Fonte: Danielli (2013). (Adaptado)

4.4 Custos das operações florestais

Os custos das atividades de exploração florestal madeireira diferem quando comparadas técnicas de EIR com a exploração convencional. Nesse sentido, Holmes *et al.* (2002), comparando os custos e os rendimentos da exploração convencional com a EIR, verificou que a extração é mais onerosa na exploração convencional (4,49 US\$/m³) do que na EIR (3,14 US\$/m³), considerando as atividades de derruba e traçamento, arraste e operações de pátio.

Em relação à presença de árvores ocas, Almeida (2018) e Minetti *et al.* (2000) comentam que a substituição destas árvores demanda mais tempo de trabalho das equipes, fato que pode influenciar nos custos das operações, principalmente em relação aos custos com funcionários e pela possibilidade de interferência na produtividade das atividades.

A ocorrência do oco é um problema que vem ocasionando um aumento nos custos do manejo florestal sustentável. Segundo Almeida (2018) e Minetti *et al.* (2000) a ocorrência e o volume do oco possuem relevância devido à sua interferência em alguns aspectos do manejo florestal, como a diminuição da produtividade da exploração florestal e, posteriormente, nas receitas da empresa com a comercialização da madeira. Além disso, Almeida (2018) comenta que os contratos de concessão florestal deveriam assegurar, tanto à empresa manejadora quanto ao órgão gestor, que o valor a ser pago pelo volume de madeira explorado seja efetivamente equivalente ao volume colhido e aproveitável, ou seja, com o desconto do oco.

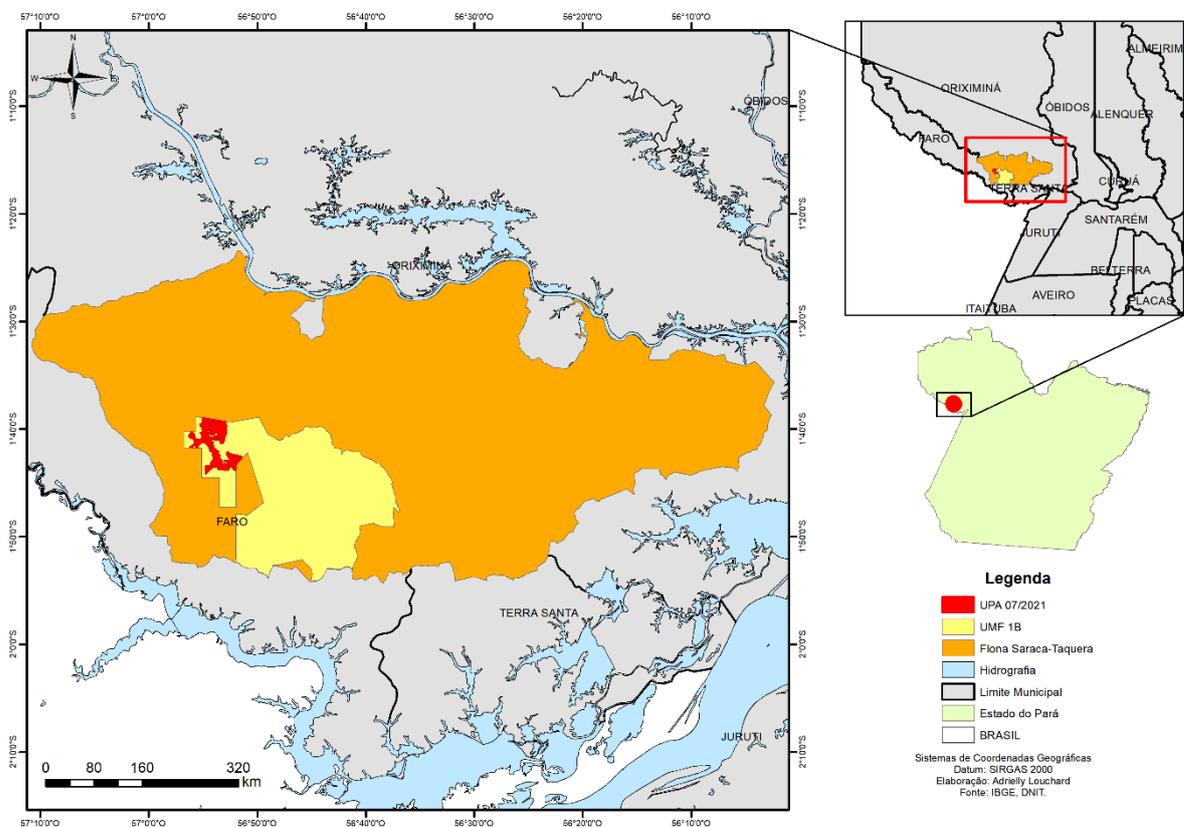
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional (Flona) de Saracá-Taquera no estado do Pará. A Flona de Saracá-Taquera foi criada pelo Decreto Federal nº 98.704, de 27 de dezembro de 1989, com área total de 429.600 ha. É uma unidade de conservação da categoria de Uso Sustentável, de acordo com o Art. 14º, inciso III, da Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil, 2000). A Flona está inserida nos municípios de Faro, Oriximiná e Terra Santa (Figura 1). Limita-se ao norte com a Reserva Biológica do Rio Trombetas e tem como limite geográfico, em sua maior parte, o Rio Trombetas.

O experimento foi instalado na Unidade de Produção Anual (UPA) 07/2021 da Unidade de Manejo Florestal (UMF) 1B, concessão outorgada à empresa SAMISE Indústria, Comércio e Exportação Ltda. O estudo foi conduzido nas Unidades de Trabalho (UT) Nº 28 e Nº 19. A UMF 1B da Flona de Saracá-Taquera está localizada nos municípios de Faro e Terra Santa.

Figura 1- Localização da Unidade de Manejo Florestal - UMF 1B na Flona de Saracá-Taquera, estado do Pará.



Fonte: A autora (2022).

5.2 Caracterização da Área de Estudo

5.2.1 Aspectos ambientais

O clima na Flona de Saracá-Taquera, de acordo com a classificação de Köppen, é Tropical Equatorial Af – moderadamente a muito chuvoso. Este clima possui dois períodos diferentes de precipitação na área da Flona: a estação chuvosa ou inverno amazônico, com início em dezembro e término em maio; e a estação seca ou verão amazônico, que inicia em junho e termina em novembro. A média pluviométrica anual varia de 2.200 e 2.500 mm. A umidade relativa do ar é superior a 80% quase o ano todo (LUZ *et al.*, 2013).

Na Flona de Saracá-Taquera, o tipo de solo predominante é o Latossolo Amarelo Distrófico, com textura argilosa ou muito argilosa, o qual inclui solos minerais em avançado estágio de intemperização. Na área da UMF 1B, os solos encontrados são Latossolo Amarelo Distrófico, Gleissolos, Neossolos e Argissolos (IBGE, 2008).

A Flona está inserida no sistema hidrográfico do rio Amazonas, na região Hidrográfica da Calha Norte, no Pará. A unidade de conservação é banhada pela bacia do rio Trombetas, que possui um papel importante nas atividades econômicas e sociais da área. Os principais rios são: Nhamundá, Trombetas, Urubu, Uatumã, Jatapu e Preto da Eva. Na UMF 1B a principal sub-bacia hidrográfica é a do rio Taquera, possuindo uma pequena parte do rio Jamari dentro da unidade, segundo o Edital de Concessão Florestal da Unidade de Conservação (2012).

A Flona de Saracá-Taquera é predominantemente constituída por Floresta Ombrófila Densa. De acordo com o Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS (2014) e o Edital de Concessão Florestal da Flona de Saracá-Taquera (2012), as tipologias presentes na UMF 1B são: i) a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, que ocupa quase a metade da área, com 28.692,30 hectares, representando 48,30% desta UMF; ii) a Floresta Ombrófila Densa Submontana, com 20.995,00 hectares, sendo 35,27% da área; iii) a Floresta Ombrófila Densa Submontana de Platôs, possuindo 8.520,02 hectares, o que representa 14,34% da Unidade de Manejo; iv) a Floresta Pioneira com Influência Fluvial com 1.236,80 hectares, representando 2,08% da área da UMF; e v) uma área antropizada de 3,7 hectares, correspondente a 0,01% da área total da UMF 1B.

5.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado no estudo foi o Inteiramente Casualizado (DIC), com três tratamentos (T) e sete repetições (R). Cada repetição do tratamento foi composta por uma área de nove hectares. A área total do experimento foi de 189 ha (3Tx7Rx9ha),

compreendendo as UTs N° 19 e N° 28, cuja aleatorização está ilustrada na Figura 2, com os tratamentos denominados T0 (controle), T1 e T2 descritos a seguir:

T0 (controle) – Exploração obedecendo todos os critérios estabelecidos na legislação, incluindo a substituição de árvores ocas.

T1 – Exploração obedecendo todos os critérios estabelecidos na legislação, porém sem rejeitar nem substituir as árvores ocas.

T2 – Exploração obedecendo todos os critérios estabelecidos na legislação, sem rejeitar árvores ocas e explorando uma árvore substituta para cada ocada, não extrapolando o volume máximo permitido pela legislação.

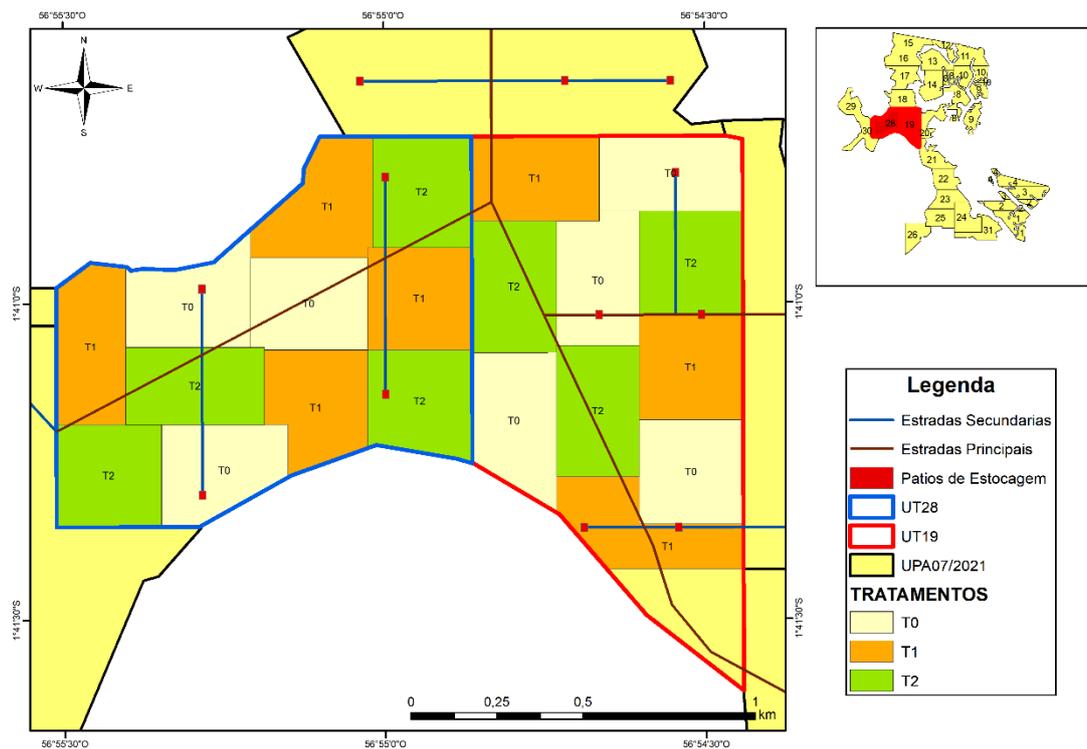
No tratamento T0 (controle) houve a substituição das árvores ocas, como ocorre atualmente na empresa responsável pelo manejo florestal sustentável.

No tratamento T1 foi utilizado o volume aproveitável das árvores ocas e não havendo a substituição de árvores.

No tratamento T2, o volume extraído foi composto do volume aproveitável das árvores ocas, complementado com o volume das árvores substitutas até o limite de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ conforme estabelecido no Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS da empresa concessionária ou até uma intensidade de corte próxima a esse limite. Na aplicação deste tratamento, para cada árvore ocada derrubada foi abatida também uma classificada como substituta.

Em todos os tratamentos foram contabilizados o volume de madeira final extraído, os resíduos de toras ocas geradas pela exploração, o rendimento volumétrico da exploração e os custos de operação, para posterior comparação. Os volumes dos resíduos de tronco ocas são relativos às toras não aproveitadas devido a presença do oco. Foi também registrado o tempo em horas para a execução das atividades foi registrado.

Figura 2 – Aleatorização dos tratamentos do experimento sobre as alternativas de exploração instalado nas UTs 19 e 28 na UMF 1B situada na Flona de Saracá Taquera, estado do Pará.



Fonte: A autora (2022).

5.4 Análise Estatística

Para verificar a existência de diferença estatística entre os tratamentos, em relação ao volume de madeira extraído e de resíduos ocós gerados, ao rendimento da exploração, bem como entre os custos de operação de cada tratamento, foi aplicada a análise de variância (ANOVA). Havendo diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

Para a validação dos resultados foram testados os seguintes pressupostos: igualdade das variâncias dos resíduos pelo teste de Levene, normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e independência dos resíduos por meio da análise gráfica.

Em todos os testes foi utilizado o nível de significância α igual a 5%.

Para análise do experimento foram formuladas as seguintes hipóteses:

H_0 : Não há diferença significativa entre as médias dos tratamentos, em relação ao volume extraído;

H_1 : Há diferença significativa em pelo menos uma das médias dos tratamentos, em relação ao volume extraído.

Em relação aos resíduos gerados pela exploração de árvores ocadas, foram formuladas as hipóteses:

H₀: Não há diferença significativa entre as médias dos tratamentos, em relação ao volume de resíduo ocado gerado pela exploração.

H₁: Há diferença significativa em pelo menos uma das médias dos tratamentos, em relação ao volume de resíduo ocado gerado da exploração.

Sobre o rendimento volumétrico da exploração, foram formuladas as seguintes hipóteses:

H₀: Não há diferença significativa entre as médias dos tratamentos, em relação ao rendimento volumétrico da exploração.

H₁: Há diferença significativa em pelo menos uma das médias dos tratamentos, em relação ao rendimento volumétrico da exploração.

Quanto aos custos de operação, as seguintes hipóteses foram formuladas:

H₀: Não há diferença significativa entre as médias dos tratamentos, em relação aos custos da exploração;

H₁: Há diferença significativa em pelo menos uma das médias dos tratamentos, em relação aos custos de exploração.

5.5 Critérios para a Seleção de Árvores

Os critérios para a seleção de árvores que foram exploradas seguiram o estabelecido pela IN MMA 05/2006 e foram aplicados a todos os tratamentos, sendo eles:

- Diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm;
- Manutenção de pelo menos 10 % do número de árvores por espécie, na área de efetiva exploração da UPA, respeitado o limite mínimo de manutenção de três árvores por espécie por 100 ha, em cada Unidade de Trabalho (UT).
- Para as espécies ameaçadas de extinção constantes na Portaria MMA 443/2014 (BRASIL, 2014), foram aplicados os critérios de seleção da Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente n° 01/2015, com a manutenção de pelo menos 15 % do número de árvores por espécie, na área de efetiva exploração da UPA, respeitado o limite mínimo de manutenção de quatro árvores por espécie por 100 ha, em cada UT;
- Manutenção de todas as árvores das espécies cuja abundância de indivíduos com DAP superior ao DMC seja igual ou inferior a três árvores por 100 ha de efetiva exploração da UPA em cada UT;
- Manutenção de todas as árvores das espécies cuja abundância de indivíduos com DAP superior ao DMC seja igual ou inferior a quatro árvores por 100 ha de efetiva exploração

da UPA em cada UT para espécies enquadradas no critério de seleção da IN MMA 01/2015;

- Manutenção de árvores ninho, isto é, aquelas que possuem ninhos de pássaros registradas durante o inventário realizado a 100% de intensidade.

5.6 Instalação do Experimento e Coleta de Dados

O experimento foi instalado em 189 ha, compreendendo as UTs 19 e 28 da Unidade de Produção Anual - UPA 7/2021. A exploração e a coleta de dados ocorreram nos meses de agosto e setembro de 2021.

O planejamento da exploração foi realizado com base no inventário a 100% e nos critérios já definidos anteriormente. Para isso, foram elaborados mapas de corte e arraste para cada repetição dos três tratamentos, constando a relação das árvores a serem derrubadas e as possíveis substitutas. Cada repetição de um tratamento foi dividida em dois mapas de corte e arraste, totalizando 42 mapas. Junto a cada mapa, havia uma ficha de campo para o controle das operações na qual foram indicadas as informações referentes às ações realizadas nas árvores contidas no mapa. O mapa (ANEXO A) e as fichas de campo para controle (ANEXO B) acompanharam as atividades de derruba, planejamento de arraste, traçamento e arraste.

A primeira atividade realizada foi a derruba. Sete dias após a derruba, foi realizado o planejamento de arraste. Este tempo é necessário para estabilizar o impacto da derruba e evitar acidentes como a queda de galhos ou de árvores que ficaram engatadas em outras. Com o planejamento de arraste foi feito o mapeamento dos pátios e do caminho que o trator florestal Skidder deveria percorrer até chegar a cada árvore. Sendo este caminho sinalizado por fitas coloridas, conforme padrão da empresa concessionária.

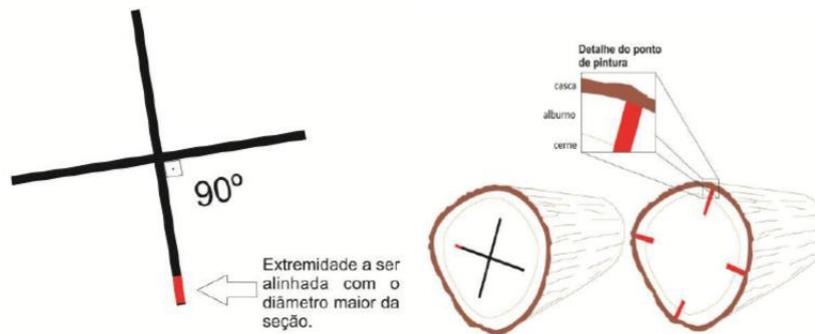
Os troncos das árvores derrubadas foram traçados (divididas em toras) ainda na área de derruba, ou seja, na própria floresta, de acordo com os comprimentos praticados pela empresa detentora do PMFS. Cada tora foi identificada pelo número recebido no censo florestal acrescido de uma letra correspondente à seção do tronco (toras). Esta identificação foi aplicada às toras e aos resíduos gerados. A identificação, por código, é composta da seguinte sequência: os cinco primeiros dígitos são referentes ao número da árvore; e o sexto dígito é uma letra, seguindo a ordem alfabética, a qual faz referência e indica a quantidade de partes (tora) em que o tronco foi dividido.

As dimensões das toras foram medidas nos pátios, como medida de segurança. Partes de troncos não utilizados devido à ocorrência do oco, foram medidas para quantificar o volume de madeira deixado como resíduo na floresta após a exploração.

5.6.1 Cubagem das toras

A cubagem seguiu a metodologia requerida pelo SFB. Foram medidos os diâmetros médios aritméticos da base e do topo de cada tora (Figura 3). Sendo medido também o seu comprimento total para a determinação do volume geométrico. A coleta destes dados ocorreu na etapa de romaneio, a qual foi realizada nos pátios de estocagem, utilizando o modelo de formulário encontrado no Apêndice A.

Figura 3 – Método de medição dos diâmetros das toras, conforme requerido pelo Serviço Florestal Brasileiro.



Fonte: SFB, 2012.

Os volumes das toras foram calculados pela Equação 3, indicada pelo Serviço Florestal Brasileiro – SFB.

$$V = \frac{\left[\left(Db^2 * \frac{\pi}{4} \right) + \left(Dt^2 * \frac{\pi}{4} \right) \right]}{2} * L \quad (3)$$

Na qual,

V: volume em m³;

Db: diâmetro da base da tora (média aritmética dos diâmetros obtidos perpendicularmente);

Dt: diâmetro do topo da tora (média aritmética dos diâmetros obtidos perpendicularmente);

L: comprimento da tora, em metros.

5.6.2 Cubagem do oco

Para calcular o oco, foi medido o maior diâmetro de oco e o diâmetro perpendicular a este nas extremidades visíveis do tronco descartado, sendo calculada a média aritmética destes diâmetros. Admitindo-se que o oco das árvores apresenta a forma de um tronco do cone, o volume do oco das toras foi calculado por meio da Equação 4 (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014):

$$V_{oco} = \frac{\pi h}{12} (Db^2 + DbDt + Dt^2) \quad (4)$$

Na qual.

V_{oco} : volume do oco, em m^3 ;

D_b : diâmetro da base do oco, em metros (média aritmética dos dois diâmetros obtidos perpendicularmente na base do oco);

D_t : diâmetro do topo do oco, em metros (média aritmética dos dois diâmetros obtidos perpendicularmente no topo do oco);

h : comprimento do oco, em metros.

Quando o comprimento do oco não atingiu as duas extremidades da tora, foi utilizada uma vara graduada em metros e centímetros, para medir o seu comprimento. Neste caso foi utilizada a Equação 5 (volume de um cone) para calcular o volume do oco (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

$$V_{oco_c} = \frac{\pi D^2 h}{12} \quad (5)$$

Na qual,

V_{oco_c} : Volume do oco, em m^3 ;

D : diâmetro do oco na extremidade visível, em metros (média aritmética dos dois diâmetros do oco obtidos perpendicularmente na extremidade visível);

h : comprimento do oco, em metros.

Foi calculado ainda o volume sólido (líquido) de cada tora, ou seja, foi subtraído o volume do oco do volume das toras, para obtenção do volume de madeira aproveitável e efetivamente explorado.

5.6.3 Cubagem de resíduos dos troncos ocos

Após as operações de extração, foram quantificados os resíduos de tronco, ou seja, das toras não aproveitáveis devido à presença e à dimensão dos ocos. Esta etapa foi realizada juntamente à atividade de romaneio (medição) das toras, na qual é executada também a classificação destas toras. Esta mensuração foi efetuada para estimar a quantidade de resíduos gerados pela derruba de árvores com ocos e para calcular o rendimento volumétrico líquido da exploração.

A cubagem dos resíduos de tronco ocos ocorreu durante a atividade de romaneio, nos pátios de estocagem. Contudo, nos casos indicados pelas equipes de derruba e arraste, ocorreu a medição dos resíduos de troncos ocos no local de derruba da árvore.

Para a quantificação do volume dos resíduos gerados, foram utilizadas a Equação 3 (Item 5.6.1), para quantificação do volume da tora não aproveitável, e a Equação 4 ou Equação 5 (Item 5.6.2), para a cubagem do oco existente na tora. Para obtenção dos dados empregados nas equações, foi utilizado o formulário disponibilizado no Apêndice B.

5.7 Volume de Madeira Extraído

Em cada repetição dos tratamentos aplicados foi registrado o volume de madeira extraído por hectare. Este volume foi obtido pela somatória dos volumes das toras, dividido pela área de cada repetição (9 ha), como indicado na Equação 6.

$$V_e = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{A} \quad (6)$$

Na qual,

V_e : volume de madeira extraído, por repetição, em $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

V_i : volume individual das toras, em m^3 ;

n : número de toras;

A : área de cada repetição (9 ha).

5.8 Cálculo do Rendimento Volumétrico da Exploração

Adicionalmente à análise dos tratamentos aplicados, foram calculados o Rendimento Volumétrico Bruto e o Rendimento Volumétrico Líquido para cada tratamento.

5.8.1 Rendimento Volumétrico Bruto

O rendimento volumétrico bruto da exploração foi calculado pela relação entre o volume bruto extraído, ou seja, sem descontar o volume do oco, e o volume planejado no POA e autorizado pelo órgão licenciador, (Equação 7).

$$RVB\% = \frac{\text{Vol bruto extraído (m}^3\text{)}}{\text{Vol planejado (m}^3\text{)}} \times 100 \quad (7)$$

Na qual,

$RVB\%$: rendimento volumétrico bruto da exploração, em porcentagem (%);

Vol bruto extraído: volume bruto total extraído, sem descontar o oco, em m^3 ;

Vol planejado: volume de madeira definido no POA, em m^3 .

5.8.2 Rendimento Volumétrico Líquido

O rendimento volumétrico líquido da exploração foi calculado pela relação entre o volume líquido extraído, ou seja, excluindo o volume do oco, e o volume planejado no POA (Equação 8).

$$RVL\% = \frac{Vol\ liq.\ extraido\ (m^3)}{Vol\ planejado\ (m^3)} \times 100 \quad (8)$$

Na qual,

RVL%: rendimento volumétrico líquido da exploração em porcentagem (%);

Vol líq. extraído: volume total líquido extraído, com desconto do oco, em m³;

Vol planejado: volume de madeira definido no POA, em m³.

5.9 Determinação dos Custos da Exploração

5.9.1 Considerações gerais

Esta parte do estudo visou a determinação de custos de produção por m³ em tora e por hectare, mas se restringindo a um recorte de atividades do processo da exploração. Para o cálculo dos custos da exploração, foram consideradas somente as atividades de derruba, planejamento de arraste, traçamento e arraste.

Vale ressaltar que a análise dos custos se concentrou nas atividades em que a ocorrência do oco tem um impacto plausível. No presente estudo não foi feita uma análise completa dos custos das operações da safra. Logo, custos indiretos como, por exemplo, alimentação, administração, veículos e pessoal de apoio não foram considerados. Isto se justifica, pois, custos deste tipo, assim como de outras atividades, como, por exemplo, do inventário florestal, independem da ocorrência de árvores ocas.

Para o levantamento dos dados referentes à análise dos custos foi aplicada parte da metodologia do Monitoramento Econômico de Operações Florestais – MEOF, desenvolvida no projeto Bom Manejo da Embrapa Amazônia Oriental (Embrapa, 2005). A análise dos dados foi realizada no software Excel ®.

Com intuito de evitar distorções nos resultados que poderiam ocorrer em função dos desempenhos diferentes entre equipes e/ou diferentes tipos de máquinas, cada atividade foi, na medida do possível, executada em toda a área pela mesma equipe e com as mesmas máquinas e equipamentos.

5.9.2 Levantamento de dados para cálculo dos custos junto ao setor contábil da empresa parceira

Para o cálculo dos custos da atividade de exploração, foram utilizados dados da empresa detentora do Plano de Manejo Florestal Sustentável da Flona. Dentre os valores relacionados à atividade estão os salários dos funcionários que atuam na exploração, os custos das máquinas utilizadas, incluindo depreciação, juros de capital, custos de manutenção e insumos como combustíveis e lubrificantes, e demais materiais de consumo. O levantamento das informações seguiu a seguinte estrutura:

A – Registro dos empregados e trabalhadores florestais

Para o cálculo dos custos de mão de obra, foram levantados junto ao setor administrativo da empresa os seguintes dados:

- Função;
- Salário bruto;
- Custos adicionais (taxas, INSS, FGTS etc.);
- Tipo de salário (pagamento por tempo, por produção etc.).

B – Registro de máquinas utilizadas

- Tipo de máquina;
- Marca;
- Valor de aquisição;
- Vida útil da máquina;
- Valor de sucata (valor de revenda);
- Custo de manutenção da máquina, segundo experiência da empresa;
- Valores de consumo de combustível, segundo experiência da empresa;
- Preço dos insumos;
- Taxa de juros de capital utilizado pela empresa.

5.9.3 Levantamento dos dados em campo

5.9.3.1 Documentação das atividades de exploração

Para o levantamento de dados das atividades de exploração, foi utilizado o formulário de equipe (APÊNDICE D) adaptado da metodologia descrita no Manual do usuário do software Monitoramento Econômico de Operações Florestais – MEOF (Embrapa, 2005). Nele constou a identificação da equipe de campo, para levantamento do custo de pessoal, registrando-se o tempo que cada integrante trabalhou naquela equipe executando a atividade monitorada em

cada tratamento. O formulário foi preenchido pelo líder da equipe de campo, sendo identificada a data e a localização, incluindo AMF, UPA, tratamento e repetição que estava sendo trabalhada no dia.

No formulário há um campo para registrar os eventos adversos ocorridos no dia, por exemplo, chuva, trator com defeito ou qualquer outro evento que implicasse na paralisação da atividade. Registrou-se a hora inicial e final da paralisação, ou seja, a hora que a equipe parou devido ao evento adverso e a hora que voltou a trabalhar. Isto possibilitou uma maior precisão nos cálculos de produtividade e de custo por hora de trabalho.

Registrou-se também o tempo de início e de finalização de todas as atividades, incluindo a jornada de trabalho, a produção efetiva, o transporte, paralisação para almoço e outros eventos.

O formulário inclui também o registro das máquinas que foram utilizadas pela equipe. Isso permitiu calcular a contribuição de cada máquina para os custos totais das atividades. O formulário de equipe possibilitou ainda calcular os custos por unidade produzida, descrever a atividade realizada pela equipe no dia e a produção total.

5.9.3.2 Documentação do consumo das máquinas

Os custos de máquinas são os mais altos em operações florestais de produção de madeira em tora em florestas ombrófilas amazônicas. Portanto, o registro do consumo de insumos das máquinas é de suma importância. Por essa razão a pesquisa abordou o assunto de duas maneiras: levantamento de informações junto à parte administrativa da empresa e, adicionalmente, uma documentação do consumo real das máquinas em campo.

Para o levantamento de dados sobre consumo, peças e materiais das máquinas, foi utilizado o formulário de consumo de peças e materiais (APÊNDICE C). O preenchimento do formulário seguiu a metodologia descrita no Manual do Usuário do software Monitoramento Econômico de Operações Florestais (Embrapa, 2005).

Neste formulário, foram registradas todas as peças e materiais empregados ou consumidos pela máquina, sendo um formulário para cada mapa e para cada atividade realizada, como motosserra utilizada na derruba, no traçamento, as máquinas pesadas, como o skidder usado no arraste. No presente trabalho, este formulário foi preenchido diariamente, e para cada repetição do experimento, em reunião com os operadores de máquinas e os líderes das equipes envolvidas no experimento.

No formulário de consumo cada máquina e seu operador foram identificados. Nele, foi registrado o dia em que a peça ou material foi utilizado, com a sua respectiva descrição de

unidade e quantidade, sendo também incluído o abastecimento com combustível. No formulário existe um campo destinado para registro do preço da peça ou do material que foi utilizado para o cálculo dos custos, posteriormente.

Não foi possível realizar a quantificação direta do consumo de combustível do trator florestal skidder e de outros insumos das máquinas utilizadas por repetição. Isso ocorreu, pois, a autonomia e o alcance dos equipamentos eram maiores do que exigia a execução de cada atividade monitorada por repetição com uma área de nove hectares. Portanto, foram somados os custos dos insumos por atividade e redistribuídos proporcionalmente às horas trabalhadas em cada repetição. As horas trabalhadas foram utilizadas como chave de distribuição, pois essa variável foi levantada com maior precisão.

Ao final das atividades de derruba, planejamento de arraste, traçamento e arraste, a quantidade de combustível, peças e materiais utilizados, foi registrada e discriminada por atividade e por tratamento, sendo multiplicada pelo valor de aquisição de cada material, para, finalmente, obter-se o custo de consumo e insumos com máquinas e equipamentos.

5.9.4 Cálculo dos Custos da Exploração Florestal

Para calcular os custos das atividades da exploração florestal em que o oco do tronco pode influenciar, os custos foram divididos em custos fixos e custos variáveis.

Os custos variáveis da produção foram calculados a partir dos valores gastos com mão de obra e com insumos, de acordo com o tempo gasto em cada observação dos três tratamentos aplicados. Como já descrito, foi necessário realizar a redistribuição dos custos de insumos para máquinas de forma proporcionalmente ao tempo trabalhado.

Os custos fixos dos equipamentos foram obtidos a partir dos dados disponibilizados pela empresa e, a partir deles, foram calculadas as variáveis necessárias. A depreciação foi calculada pelo tempo de vida útil do equipamento, estimando três anos para as motosserras e sete anos para o skidder. Para os custos de manutenção foram considerados os valores informados pela empresa parceira. Para calcular o custo de capital foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Custo de capital} = \frac{\text{valor de aquisição}}{2} \times \text{taxa de juros} \quad (9)$$

A taxa de juros foi fixada em 11%, considerando a taxa Selic atual.

O total dos custos fixos foi atribuído a cada máquina proporcionalmente à produção registrada em cada repetição do experimento.

Os cálculos dos custos das atividades foram realizados no Software Excel ®. Foi programada uma pasta de Excel que automatiza os cálculos dos custos após a digitação das

informações básicas sobre recursos humanos, máquinas, insumos e dos dados de campo obtidos pelos formulários de equipe e de máquinas. Os algoritmos de cálculo seguiram a metodologia MEOF (Embrapa, 2005) e a ferramenta foi elaborada e fornecida pelo projeto Bom Manejo fase 2, da Embrapa Amazônia Oriental.

6 RESULTADOS

6.1 Volume de Madeira Extraído

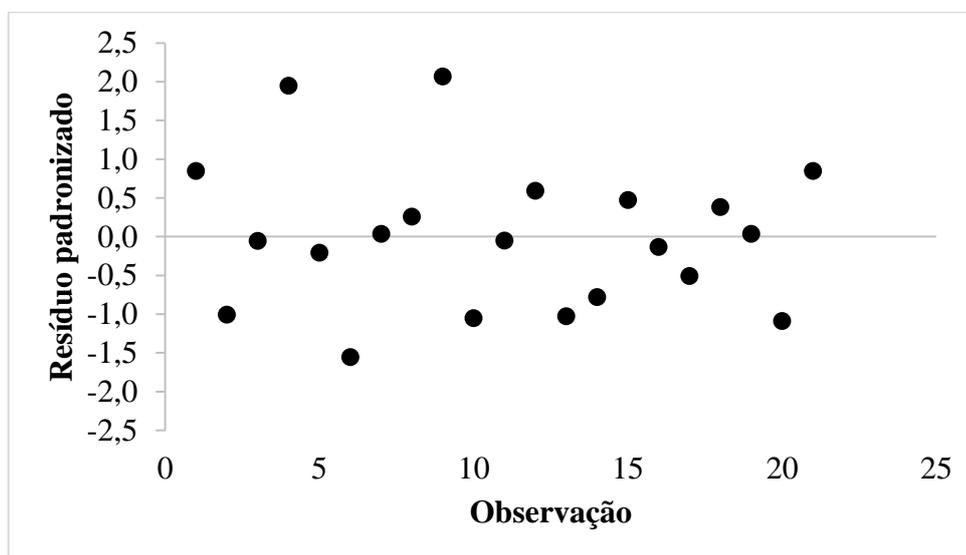
6.1.1 Validação dos resultados de volume de madeira extraído

Por meio da ANOVA resultante da aplicação do teste de Levene (APÊNDICE E), à uma probabilidade de 95%, nos dados de volume de madeira extraído, para análise da homogeneidade de variância, verificou-se a homogeneidade das variâncias, uma vez que o valor $-p$ foi maior do que 0,05, logo, a hipótese de nulidade não foi rejeitada.

A normalidade dos dados de volume de madeira extraído foi confirmada pelo teste de Shapiro Wilk (APÊNDICE F), à uma probabilidade de 95%. Como os resultados do teste apresentaram valor de $p(\text{normal})$ maiores do que 0,05, foi atestada a normalidade dos dados.

Quanto à análise gráfica dos resíduos dos valores de volume de madeira extraído, percebe-se que a distribuição não demonstra comportamento homogêneo, ou seja, não demonstra tendências ou distribuições homogêneas (Figura 4). Dessa forma, conclui-se que os resíduos de volume de madeira extraído são independentes, validando o resultado da análise de variância.

Figura 4 – Distribuição aleatória dos resíduos por ordem de observação dos valores de volume de madeira extraído nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

6.1.2 Análise descritiva dos dados de volume de madeira extraído

A análise descritiva dos valores de volume de madeira extraído para as sete observações de cada tratamento é apresentada na Tabela 3. No experimento foram exploradas 544 árvores,

distribuídas entre os tratamentos da seguinte forma: 160 árvores no T0; 183 árvores no T1; e 201 árvores T2.

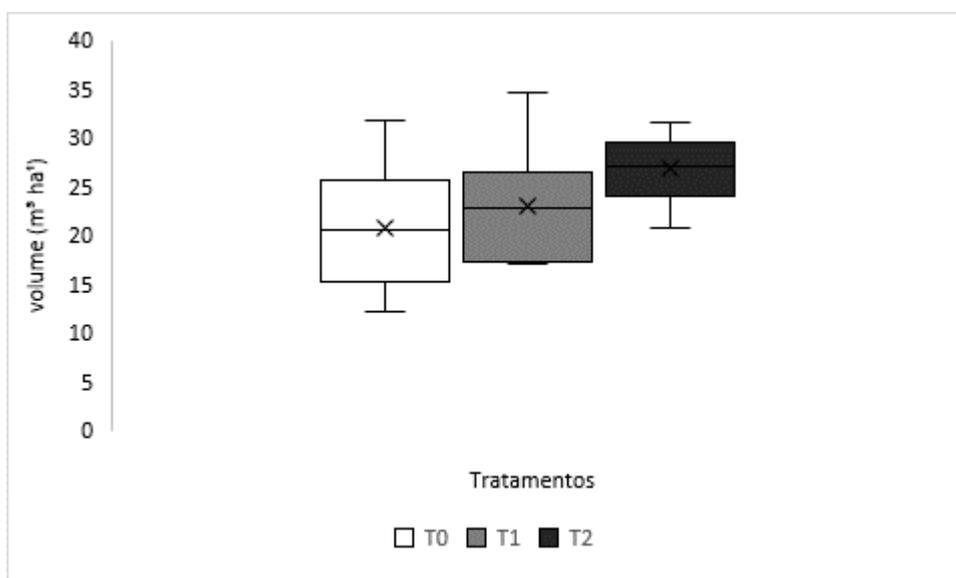
Tabela 3 – Análise descritiva dos volumes explorados ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) dos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

	T0	T1	T2
Mínimo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	12,131	17,209	20,826
Médio ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	20,886	23,136	26,952
Máximo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	31,844	34,765	31,709
CV (%)	28,78	25,11	12,59
Nº observações	7	7	7

Fonte: A autora (2022).

O volume máximo de madeira extraído por repetição foi obtido no T1 ($34,765 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$). Por outro lado, o volume mínimo por repetição ($12,131 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) foi verificado no T0 (controle), como demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – BoxPlot dos volumes de madeira extraído ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

O T2 apresentou a maior média encontrada, de $26,953 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, demonstrando uma diferença de $6 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ a mais quando comparado com o T0 e de $3,8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ quando comparado ao T1. A variação entre as observações dos tratamentos oscilou, mas não apresentou elevadas diferenças entre os tratamentos, porém o T2 apresentou a menor variação entre as alternativas aplicadas, com um desvio padrão de $3,394 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, correspondente a uma variação (CV%) de 12,59%. Por outro lado, o CV% apresentou diferenças perceptíveis entre os tratamentos, sendo

o menor valor de 12,59% para o T2, o maior de 28,78% no T0, tendo ainda um valor de 25,11%, no T1.

O volume de madeira extraído variou de 12,131 m³ ha⁻¹ a 31,844 m³ ha⁻¹ para o T0 (controle), revelando 19,713 m³ ha⁻¹ de amplitude, sendo a maior amplitude encontrada. O volume máximo extraído alcançou 34,765 m³ ha⁻¹ no T1, com amplitude de 17,556 m³ ha⁻¹. Já no T2, o volume extraído variou de 20,825 m³ ha⁻¹ a 31,709 m³ ha⁻¹, demonstrando a menor amplitude observada, com 10,885 m³ ha⁻¹. O menor coeficiente de variação CV% foi encontrado no T2 (12,59%) e a maior variação foi observada no T0 (28,78%). Sendo assim, as observações foram mais homogêneas no T2 do que nos outros dois tratamentos aplicados (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de volume explorado (m³ ha⁻¹) e quantidade de toras nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

Tratamento	Quantidade de árvores	Quantidade toras	Volume (m³ ha⁻¹)
T0	25	53	25,636
	15	33	15,223
	28	54	20,577
	36	75	31,844
	20	47	19,704
	14	31	12,131
	22	48	21,083
T1	27	55	24,583
	37	82	34,765
	19	38	17,209
	25	54	22,841
	28	64	26,455
	23	49	17,358
	24	48	18,737
T2	33	71	29,615
	28	68	26,186
	29	64	24,094
	31	74	29,096
	31	72	27,141
	18	44	20,824
	31	67	31,709

Fonte: A autora (2022).

Em todo o experimento, apenas uma árvore ocada derrubada não possibilitou volume aproveitável, devido ao tamanho e à extensão do oco. Esta árvore pertencia ao T1, o qual permitia a exploração de árvores ocas e não havia a substituição dessas. As demais árvores ocasas derrubadas no experimento permitiram o aproveitamento de, no mínimo, uma tora.

Uma explicação possível para a não ocorrência de diferença entre os volumes dos tratamentos aplicados é a quantidade de toras observadas em cada tratamento. No T0 (controle), foram contabilizadas 341 toras provenientes de 160 árvores exploradas. O T1 apresentou um total de 390 toras de 183 árvores. Já no T2 foram observadas 460 toras provenientes de 201 árvores derrubadas. Logo, a quantidade média de toras por árvore foi semelhante entre os três tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores totais de árvores, toras e relação de toras por árvore em cada tratamento aplicado na Flona de Saracá-Taquera.

	T0	T1	T2
Árvores	160	183	201
Toras	341	390	460
Toras/Árvore	2,13	2,13	2,29

Fonte: A autora (2022).

6.1.3 Análise estatística do volume de madeira extraído

A realização da Análise de variância – ANOVA (APÊNDICE G) para os dados de volume de madeira extraído ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) obtidos nos três tratamentos revelou que a hipótese nula formulada não foi rejeitada, ou seja, não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, em relação ao volume extraído, para uma probabilidade de 95%. Esta constatação foi feita por meio da análise do valor-p, que se mostrou maior do que 0,05. Assim como, pela análise do valor de F, sendo o F calculado menor do que o F crítico.

6.2 Resíduos ocasos

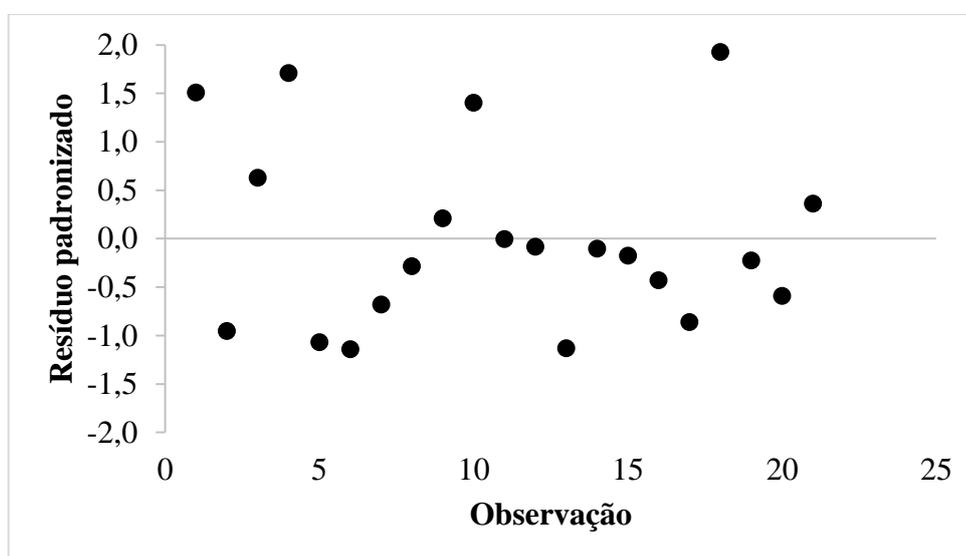
6.2.1 Validação dos resultados de resíduos ocasos

O resultado do teste de Levene (APÊNDICE H), à uma probabilidade de 95%, para os valores de resíduos ocasos gerados pela exploração atestou a igualdade de variância para esta variável, uma vez que o valor de F calculado é menor do que o F crítico, não rejeitando a hipótese de nulidade.

Os valores de resíduos ocós gerados demonstraram comportamento compatível com a normalidade, de acordo com o teste de Shapiro Wilk aplicado (APÊNDICE I), para uma probabilidade de 95%, visto que para todos os tratamentos o valor de $p(\text{normal})$ foi superior a 0,05.

No Figura 6 é possível verificar a distribuição dos resíduos padronizados (erros), dos dados de resíduos ocós gerados. De acordo com a análise do gráfico, foi atestado que a distribuição de ocorrência dos erros comportou-se de forma aleatória, ou seja, sem tendências, o que indica a independência dos erros das observações.

Figura 6 - Distribuição aleatória dos resíduos por ordem de observação dos valores de resíduos ocós gerados pela exploração nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

6.2.2 Análise descritiva dos dados de resíduos ocós

Os volumes referentes aos resíduos ocós gerados pela derruba de árvores ocadas estão descritos na Tabela 6. Os maiores valores de volume de resíduos ocós foram encontrados no T2, com uma média de $3,272 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. A diferença do T2 e do T1 para o T0 (controle) foi de $0,641 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $0,338 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. No T0, ocorreram volumes de resíduos ocós muito baixos, como $0,681 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $0,444 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $0,295 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sendo este último o menor observado em todo o experimento. Este resultado se justifica pelo fato de não ter havido a exploração de árvores ocas no T0. Entretanto, mesmo com o teste de oco e a avaliação do operador da motosserra, verificou-se a derruba de árvores com ocorrência de ocós, consequentemente, gerando resíduos ocados mais elevados, como visto nas demais repetições deste tratamento, $5,717 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, $6,127 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $3,918 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e um maior coeficiente de variação entre as repetições ($\text{CV}\% = 97,39\%$).

Tabela 6 – Volume de resíduos ocios gerados ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

Resíduos ocios gerados ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)			
	T0	T1	T2
	5,717	2,384	2,908
	0,681	3,394	2,390
	3,918	5,838	1,512
Resíduos ocios ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	6,127	2,960	7,212
	0,444	2,797	2,808
	0,295	0,655	2,063
	1,236	2,758	4,012
Mínimo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	0,295	0,655	1,51
Médio ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	2,631	2,969	3,272
Máximo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	6,127	5,838	7,212
CV%	97,39	51,78	52,79

Fonte: A autora (2022).

A variabilidade dos valores de resíduos ocios é um ponto a ser ressaltado. O T0 (controle) apresentou a variabilidade dos dados muito elevada, tendo um CV% de 97,39% e um desvio padrão de $2,562 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. O T1 foi o que apresentou uma variação menor dos dados, tendo um desvio padrão de $1,537 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, pouco mais de $1 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ menor do que o desvio padrão do T2 ($2,562 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$) e um CV% de 51,78%.

6.2.3 Análise estatística dos dados de resíduos ocios

A partir do resultado da ANOVA (APÊNDICE J) não foi rejeitada a hipótese de nulidade para os valores de resíduos ocios, evidenciando que não há diferença estatística entre os volumes de resíduos gerados nos três tratamentos ($p=0,8433$), à uma probabilidade de 95%, visto que o F calculado foi inferior ao F crítico.

6.3 Rendimento Volumétrico da Exploração

6.3.1 Rendimento Volumétrico Bruto (RVB%)

6.3.1.1 Validação dos resultados de RVB%

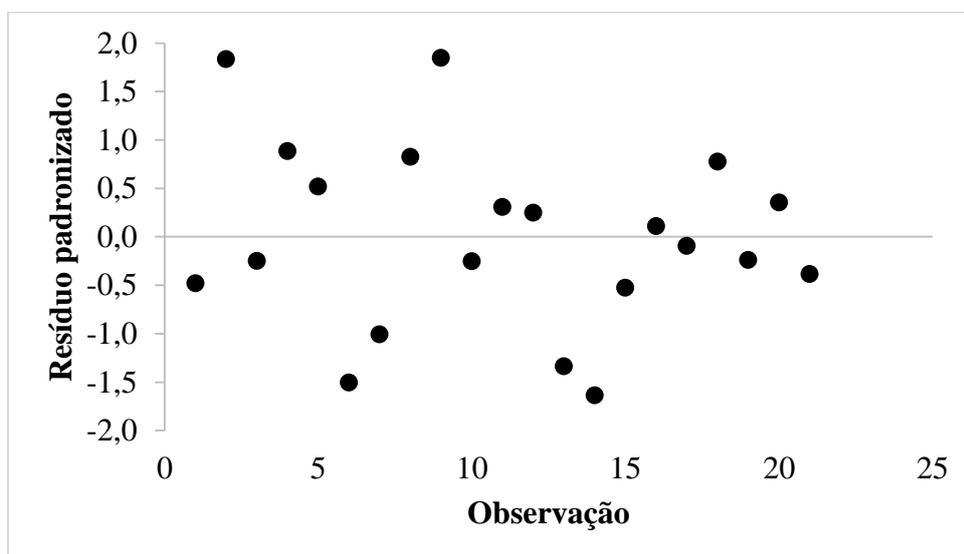
De acordo com o teste de Levene (APÊNDICE K), aplicado à uma probabilidade de 95%, nos valores de rendimento volumétrico bruto, para análise da igualdade de variância, foi

observado que a hipótese de nulidade não foi rejeitada, pois o F calculado foi menor do que o F crítico.

Os dados de rendimento volumétrico bruto demonstraram comportamento compatível com a normalidade, de acordo com o teste de Shapiro Wilk aplicado à uma probabilidade de 95% (APÊNDICE L). O teste demonstrou valores maiores do que 0,05 para todos os tratamentos, atestando a normalidade dos dados.

A independência dos resíduos foi confirmada por meio da análise gráfica, atestando que os erros, ou resíduos das variâncias, ocorrem aleatoriamente. No Figura 7 é possível verificar a distribuição dos resíduos de forma aleatória, sem tendências, o que confirma a independência destes, não comprometendo os resultados da análise de variância dos dados.

Figura 7 – Distribuição aleatória dos resíduos dos valores de RVB%, por ordem de observação nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

6.3.1.2 Análise descritiva dos dados de RVB%

A relação entre o volume efetivamente explorado em cada tratamento e o volume selecionado para corte, ou seja, a taxa de rendimento bruto está descrita na Tabela 7. No T0 e no T1, em uma das observações, o RVB% foi maior do que 100%, com 103,63% e 108,98%, respectivamente. Para o T2 o rendimento acima de 100% foi observado em duas ocasiões, com 100,49% e 104,42%. Com estes resultados, é possível inferir que em determinadas ocasiões, os volumes efetivamente explorados foram maiores do que o volume planejado para corte. Contudo, os rendimentos volumétricos brutos não excederam o limite permitido pela legislação e autorizado pelo órgão competente.

Tabela 7 – Valores de RVB% dos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

Rendimento Volumétrico Bruto (%)			
	T0	T1	T2
	81,95	99,39	92,24
	103,63	108,98	98,21
	84,11	89,31	96,28
RVB%	94,72	94,54	104,42
	91,31	94,00	94,92
	72,37	79,14	100,49
	77,03	76,34	93,57
Média	86,45	91,67	97,16
Mínimo	72,37	76,34	92,24
Máximo	103,63	108,98	104,42
Desvio padrão	10,00	10,49	3,92
CV%	12,49	12,36	4,36

Fonte: A autora (2022).

É perceptível a diferença dos valores médios absolutos de RVB%. A diferença entre o RVB% do T1 e o controle (T0) é de aproximadamente 5%. Já o T2 apresentou um RVB% maior do que RVB% do T0 em mais de 10%. Outro ponto que merece atenção é a variação dos dados. O T2 demonstrou a menor variação entre os tratamentos aplicados, com um desvio padrão de 3,92 m³ ha⁻¹ e um CV% de 4,39%, o que significa que não houveram elevadas variações entre as observações do T2 quando comparada à média do tratamento.

6.3.1.3 Análise estatística do RVB%

A análise de variância – ANOVA dos valores de RVB% (APÊNDICE M) para os diferentes tratamentos aplicados demonstrou que não há diferença estatística entre os tratamentos ($p = 0,1298$), logo, a hipótese nula também não foi rejeitada para a variável RVB%.

6.3.2 Rendimento Volumétrico Líquido (RVL%)

6.3.2.1 Validação dos resultados de RVL%

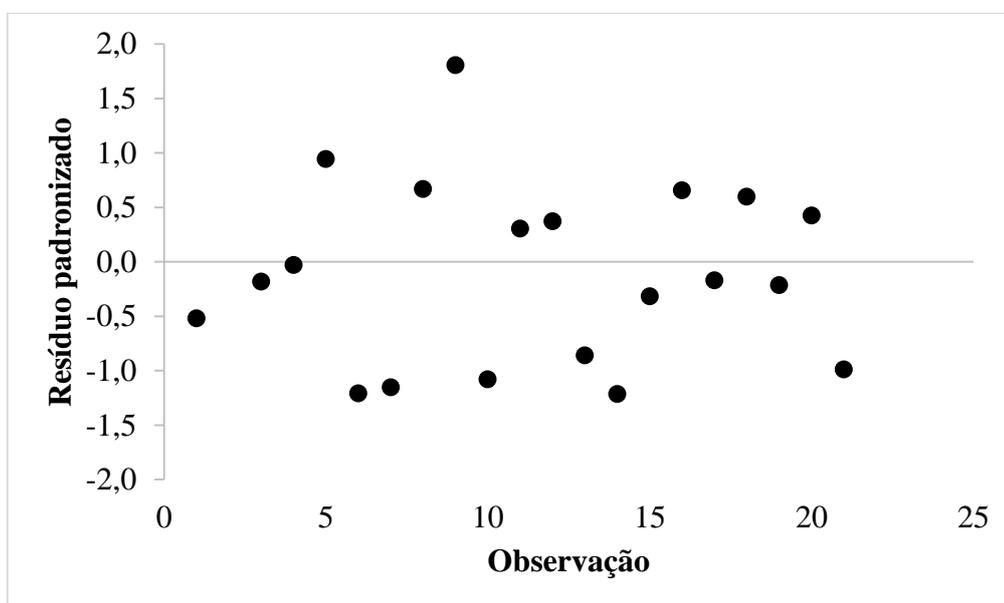
De acordo com o resultado da aplicação do teste de Levene nos valores de rendimento volumétrico líquido (APÊNDICE N), para análise de independência dos resíduos, verificou-se que o valor de F calculado foi inferior ao valor de F crítico, para uma probabilidade de 95%,

fazendo com que não fosse rejeitada a hipótese de homogeneidade de variância para os resíduos de RVL%.

A normalidade dos dados de RVL% foi confirmada pelo resultado do teste de Shapiro Wilk (APÊNDICE O), para uma probabilidade de 95%, apresentando os valores do teste foram maiores do que 0,05, atestando assim a normalidade dos dados.

Por meio da análise gráfica, foi confirmada a independência dos resíduos dos valores de RVL%. No Figura 8 é possível verificar a distribuição aleatória dos resíduos, indicando que eles são variáveis independentes, ou seja, os erros das observações não possuem relação com a forma que os dados foram coletados.

Figura 8 - Distribuição aleatória dos resíduos por ordem de observação dos valores de RVL% para os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

6.3.2.2 Análise descritiva dos dados de RVL%

Os valores da relação entre o volume de madeira efetivamente explorado com o desconto do volume do oco e o volume de madeira planejado para a exploração, ou seja, os rendimentos volumétricos líquidos (RVL%) observados são demonstrados na Tabela 8. Estes valores são inferiores aos valores de rendimento volumétrico bruto (RVB%). Dessa forma, em apenas uma das observações o volume de madeira extraído, mesmo com o desconto do volume do oco, foi maior do que o volume planejado para corte.

Tabela 8 – Valores de RVL% dos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

Rendimento Volumétrico Líquido (%)

	T0	T1	T2
	74,43	91,37	87,97
	98,05	101,47	96,61
	77,44	75,85	89,29
RVL%	78,78	88,15	96,11
	87,44	88,74	88,89
	68,32	77,81	94,57
	68,81	74,67	82,02
Média	79,04	85,44	90,78
Mínimo	68,32	74,67	82,02
Máximo	98,05	101,47	96,61
Desvio padrão	10,61	9,80	5,28
CV%	13,42	11,47	5,81

Fonte: A autora (2022).

É possível verificar algumas diferenças absolutas nos rendimentos volumétricos líquidos – RVL% que devem ser ressaltadas. O rendimento do T2 (90,78%) foi aproximadamente 10% maior do que o T0 (79,04%). Ademais, a variação de rendimento entre os tratamentos aplicados foi menor no T2, o qual apresentou um desvio padrão de 5,28 m³ ha⁻¹ e um CV% de 5,81%, ou seja, houve uma maior regularidade dos valores de RVL% nas observações do tratamento em que foram exploradas árvores ocadas e árvores substitutas. No T0 a variação entre as observações foi a mais elevada entre os tratamentos, com um desvio padrão de 10,61 m³ ha⁻¹ e CV% de 13,42%, demonstrando valores de desvio padrão e CV% duas vezes maiores que os encontrados no T2.

6.3.2.3 Análise estatística do RVL%

De acordo com a análise de variância – ANOVA dos dados de RVL% (APÊNDICE P), não foi rejeitada a hipótese de nulidade formulada para esta variável ($p = 0,0713$), sendo assim, não existe diferença significativa entre as alternativas de exploração aplicadas, quando se trata do RVL%.

6.4 Custo das Operações da Exploração Florestal

6.4.1 Custos gerais da exploração florestal por atividade

Os custos gerais da exploração florestal madeireira, no experimento considerando parte da safra, foi de R\$ 73.928,50, correspondente a uma produção volumétrica de 4.471,38 m³ de

madeira. Os custos totais distribuídos por atividade nos três tratamentos são apresentados na Tabela 9. De acordo com a distribuição do custo total por atividade, foi possível verificar que a atividade mais onerosa na exploração florestal foi o arraste, com um custo total de R\$ 52.306,00. O T2, exploração com árvores ocas e árvores substitutas, foi o tratamento mais caro, com R\$ 27.403,28 distribuído entre as atividades, porém quando analisado o custo médio, o T2 foi o menor, com R\$16,14. Os custos médios por m³ de madeira explorada mostram diferenças mínimas entre os três tratamentos, quando analisado os valores gerais por atividade, sendo de R\$/m³ 16,66, R\$/m³ 16,88 e R\$/m³ 16,14, para o T0, T1 e T2, respectivamente.

Tabela 9 – Custo geral por atividade (R\$ e R\$/m³) em cada tratamento aplicado na Flona de Saracá-Taquera.

	T0		T1		T2		Total	
	R\$	R\$/m ³						
Derruba	2.942,11	2,24	3.456,17	2,37	3.796,71	2,24	10.194,99	2,28
Traçamento	2.305,80	1,75	2.605,59	1,79	2.696,71	1,59	7.608,09	1,71
Planejamento de Arraste	1.234,69	0,94	1.366,77	0,94	1.217,96	0,72	3.819,42	0,86
Arraste	15.438,80	11,73	17.175,30	11,78	19.691,90	11,60	52.306,00	11,70
Total	21.921,40	16,66	24.603,82	16,88	27.403,28	16,14	73.928,50	16,56

Fonte: A autora (2022).

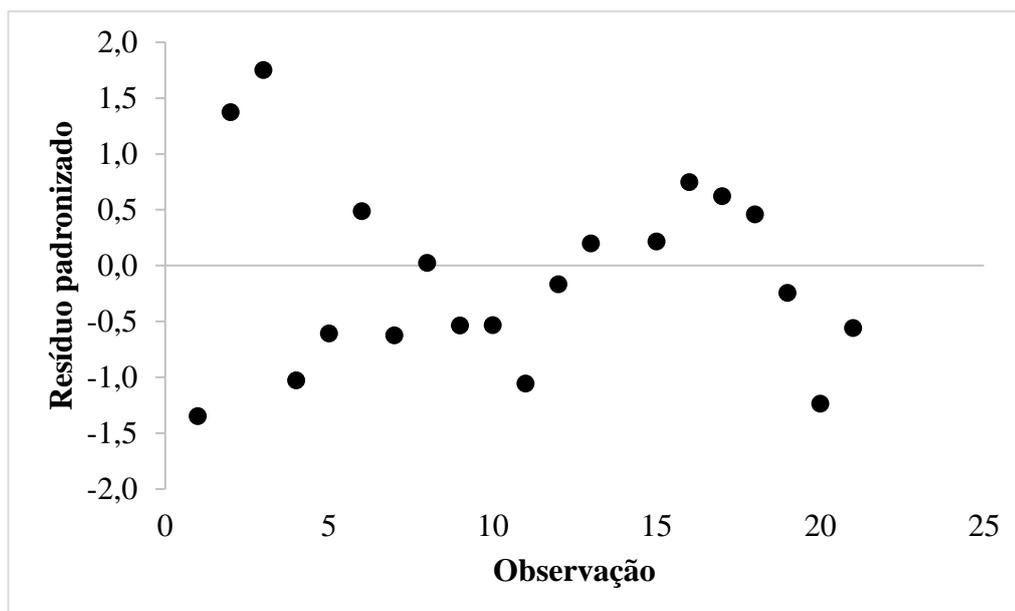
6.4.2 Validação dos resultados de custo da exploração florestal

De acordo com o resultado do teste de Levene para os valores dos custos das operações de exploração florestal (APÊNDICE Q), em reais por metro cúbico (R\$/m³), atestou-se a igualdade de variância dos dados, à uma probabilidade de 95%, haja vista que o F calculado foi menor do que o F crítico.

A normalidade dos valores de custo da exploração foi confirmada pelo resultado do teste de Shapiro Wilk (APÊNDICE R), à uma probabilidade de 95%. De acordo com a análise, os valores de p(normal) foram maiores do que 0,05 para os três tratamentos.

A independência dos resíduos foi atestada por meio de análise gráfica. No Figura 9 é possível verificar a distribuição dos resíduos sem tendências, confirmando assim a que a ocorrência deles não possui dependência com a forma que os dados foram coletados.

Figura 9 – Distribuição aleatória dos resíduos pela ordem de observação dos dados de custo da exploração florestal para os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.



Fonte: A autora (2022).

6.4.2 Análise descritiva dos dados de custo da exploração florestal

Os custos da exploração florestal, em reais por metro cúbico (R\$/m³) são apresentados na Tabela 10 e representam a soma dos custos das quatro atividades, em cada repetição dos tratamentos aplicados. Os custos de operação do T0 apresentaram uma amplitude de R\$/m³ 7,33, variando entre R\$/m³ 13,95 e R\$/m³ 21,28. Já o T2 apresentou a menor amplitude dos dados, com R\$/m³ 4,69, apresentando custos entre R\$/m³ 13,16 e R\$/m³ 17,85. Por outro lado, o T1 apresentou a maior amplitude, de R\$/m³ 7,4, com custos entre R\$/m³ 14,58 e R\$/m³ 21,98. O tratamento T2 apresentou o menor valor observado, de R\$/m³ 16,09, já o T0 apresentou o maior valor, de R\$ 17,14 a cada metro cúbico de madeira extraído.

Tabela 10 – Valores de custo da exploração florestal, em R\$/m³, dos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

	Custo total (R\$/m ³)		
	T0	T1	T2
	13,95	17,13	16,60
	20,39	15,81	17,85
	21,28	15,82	17,55
Custo total (R\$/m ³)	14,71	14,58	17,17
	15,70	16,68	15,51
	18,29	17,55	13,16
	15,66	21,98	14,76
Mínimo (R\$/m ³)	13,95	14,58	13,16
Médio (R\$/m ³)	17,14	17,08	16,09
Máximo (R\$/m ³)	21,28	21,98	17,85

CV%	15,48%	12,87%	9,79%
-----	--------	--------	-------

Fonte: A autora (2022).

O T2 foi o que apresentou a menor variação entre os valores de custo da exploração florestal, tendo um desvio padrão de R\$/m³ 1,57 e um CV% de 9,79%. Por outro lado, o T0 foi o que apresentou a variação dos dados mais elevada, com um desvio padrão de R\$/m³ de 2,65 e um CV% de 15,48%. Já o T1 apresentou variação intermediária entre os outros dois tratamentos, com um desvio padrão de R\$/m³ 2,20 e um CV% de 12,87%.

6.4.3 Análise estatística dos dados de custo da exploração florestal

Como resultado da ANOVA (APÊNDICE S) não foi rejeitada a hipótese de nulidade para os valores de custo da exploração florestal, demonstrando que não há diferença estatística significativa entre os custos dos três tratamentos, à uma probabilidade de 95%, visto que o valor-p foi de 0,6523 e o F calculado foi inferior ao F crítico.

7 DISCUSSÃO

Na Amazônia adota-se um sistema silvicultural policíclico, que objetiva a produção de madeira em ciclos contínuos, com a manutenção do ecossistema e de seus bens e serviços (DIONISIO *et al.*, 2017). A adoção das técnicas de Exploração de Impacto Reduzido – EIR auxiliam para o alcance desse objetivo. Contudo, a rejeição de árvores ocas e a substituição por árvores sãs, pode ser vista como uma seleção negativa na floresta, uma vez que somente são retiradas da floresta as árvores com elevada qualidade, deixando para os próximos ciclos de corte uma floresta mais empobrecida, pois a quantidade de árvores com defeitos, incluindo as árvores ocas, tende a aumentar.

7.1 Produção volumétrica

Uma vez que neste trabalho não foram encontradas diferenças volumétricas estatisticamente significativas entre a exploração incluindo árvores ocas e a exploração com a substituição destas, a preocupação com o manejo florestal se volta à sustentabilidade dos ciclos de corte e à sanidade futura da floresta. É provável que muitas árvores ocas que estão sendo rejeitadas e substituídas nos cortes atuais, continuarão na floresta nos próximos ciclos de corte e também serão rejeitadas e substituídas. Contudo, como há uma tendência de aumento da ocorrência de árvores ocadas com o passar do tempo (CORREIA; PERUQUETTI, 2020), outras árvores nestas condições surgirão. Dessa forma, deve haver uma atenção para a quantidade e a qualidade do volume de madeira comerciável disponível nos próximos ciclos de corte, para que o manejo florestal sustentável não seja inviabilizado com o passar do tempo.

Neste trabalho, os valores médios de 20,886 m³ha⁻¹, 23,136 m³ha⁻¹ e 26,952 m³ha⁻¹, encontrados para T0, T1 e T2, respectivamente, foram elevados. Em geral, os volumes máximos autorizados não são atingidos quando a exploração é realizada obedecendo a legislação. Este fato pode estar relacionado à precisão das equações de volume para árvores em pé e ao descarte de árvores por apresentarem algum defeito.

Um ponto importante a ser ressaltado sobre a inexistência de diferença estatística entre resíduos ocas gerados é que, mesmo com a substituição de árvores ocas, algumas árvores com a presença desse defeito em dimensões consideradas aceitáveis pelo operador são derrubadas, gerando também resíduos ocados. Contudo, a avaliação pelo teste de oco é realizada somente em um ponto da árvore, podendo ser realizado em no máximo dois pontos, o que não acusa com precisão a qualidade do fuste da árvore em pé (LIRA, 2016), podendo este defeito se estender até a copa ou se extinguir em alguns metros. Por este motivo, foi verificado uma variação alta nos dados, com um CV% de 97,39 para o T0 (controle), o que indica que o teste do oco e a

avaliação do operador da motosserra fizeram com que a quantidade e a frequência de árvores ocadas ou com grandes dimensões de oco fosse mais baixa. Entretanto, em algumas repetições verificou-se a ocorrência de volumes de resíduos ocas elevados, possibilitando a inferência que o teste do oco pode não ter sido eficiente para a avaliação da árvore, fazendo com que os resultados das repetições fossem extremos, com valores muito elevados ou valores muito baixos. Nos tratamentos T1 e T2, nos quais houve a exploração de árvores ocas, esta elevada variação não foi constatada.

Secco (2011) afirma que o oco inviabiliza economicamente a exploração madeireira, sendo este defeito inversamente proporcional à viabilidade econômica, ou seja, quanto maior for o defeito, mais inviável economicamente será a exploração. Entretanto, o presente trabalho apresenta resultados que se opõem a afirmação de Secco. Como visto no presente estudo, mesmo com a exploração de árvores ocadas, não foi verificada diferença significativa entre os volumes explorados, o rendimento da exploração, nem sobre os resíduos ocas gerados.

Pereira (2020), analisando o rendimento volumétrico da exploração em planos de manejo na Amazônia, verificou que o rendimento de planos de manejo em florestas privadas foi de 91,19%, em média, estatisticamente diferente do rendimento médio encontrado em florestas públicas, este sendo de 64,96% em florestas públicas federais e 58,57% em florestas públicas estaduais. Esse autor ressalta que em florestas privadas, via de regra, o volume autorizado é sempre atingido, não sofrendo interferência devido às diferenças nas estimativas dos volumes de árvores em pé ou pela ocorrência de árvores ocas. Mesmo com a substituição sendo permitida, dificilmente se alcança o volume autorizado, pois a substituição é limitada ao número de árvores autorizadas. E ressalta que em florestas públicas, onde a fiscalização em relação ao manejo florestal é mais rigorosa, o rendimento da exploração é comumente menor do que os rendimentos encontrados nas explorações de florestas privadas, mesmo sem diferenças significativas no número de árvores exploradas, sugerindo que este rendimento em floresta privadas pode ser pouco discutível.

O rendimento volumétrico bruto (RVB%) encontrado no presente estudo, de 86,45% no T0, tratamento no qual a exploração é realizada da maneira usual, foi superior aos rendimentos de 64,96% e 58,57% encontrados por Pereira (2020) para planos de manejo em florestas públicas federais e estaduais, respectivamente, na Amazônia Oriental. Os rendimentos dos tratamentos T0 e T1, aplicados nesta pesquisa, são semelhantes aos valores encontrados para planos de manejo de florestas privadas com UPA única (93,69%), com mais de uma UPA (87,39%) e em floresta comunitária (91,19%). Todavia, o rendimento médio encontrado no T2 desta pesquisa, se mostrou maior do que todos os valores de rendimento de planos de manejo

observados pelo referido autor. Contudo, vale a pena ressaltar que a aplicação dos tratamentos utilizados na Flona de Saracá-Taquera, neste estudo, foi realizada apenas em parte da área de manejo florestal – AMF da empresa parceira, ou seja, em escala experimental, não levando em consideração o volume total da safra. Os tratamentos T1 e T2 diferem da exploração que é realizada normalmente nas áreas de manejo florestal, devido a exploração de árvores ocas.

Neste cenário, os rendimentos volumétricos brutos e líquidos da exploração encontrados por Almeida (2018) para PMFS na Flona de Saracá-Taquera foram de 80,67% e 78,90%, respectivamente, levando em consideração uma safra. A autora encontrou estes valores considerando as árvores substitutas utilizadas, ou seja, no trabalho desenvolvido não houve a exploração de árvores ocas. Isso pode ser verificado pela pequena diferença entre o volume bruto e o volume líquido da exploração (1,77%). No presente trabalho, as diferenças entre o RVB% e o RVL% foram de 7,41%, 6,23% e 6,38%, para T0, T1 e T2, respectivamente, indicando que houve um desconto maior do volume do oco nos rendimentos da exploração.

Segundo Danielli (2013) alguns autores e pesquisadores são contra a exploração de árvores ocas por não acreditarem na viabilidade da exploração destas árvores. Medeiros (2019) afirma ainda que este posicionamento está ligado ao rendimento volumétrico e à alta geração de resíduos. No entanto, esses autores não apresentam dados que confirmem as afirmações. No presente trabalho, verificou-se que a geração de resíduos entre a exploração de árvores ocas e a substituição destas árvores proporcionou volumes de resíduos semelhantes estatisticamente. Logo, de acordo com os resultados deste trabalho, a exploração de árvores ocas não deve ser inviabilizada pela suposta geração de resíduos. Contudo, devem ser realizadas mais pesquisas nesta vertente para indicar a exploração ou a continuidade da substituição destas árvores, principalmente em áreas maiores.

O T2, exploração com a utilização de árvores ocas e árvores substitutas, demonstrou características favoráveis para aplicação em grande escala em áreas de manejo florestal na Amazônia. Possibilitando um método de utilização e exploração de árvores ocas, diminuindo a chamada seleção negativa da floresta e melhorando a qualidade do estoque futuro de madeira para os próximos ciclos de corte.

A alternativa de exploração florestal aplicada no T2 foi a que apresentou a maior homogeneidade dos dados, quando considerado o volume de madeira extraído (ou intensidade da exploração), os resíduos ocos e os rendimentos brutos e líquidos. Fato que normalmente não acontece em estudos com florestas tropicais, haja vista a complexidade da floresta. O T2 apresentou maiores valores absolutos em todas as variáveis, mesmo não havendo diferenças estatísticas significativas entre os valores obtidos. Porém, esta alternativa poderia contribuir em

termos volumétricos, com a melhor utilização da floresta no primeiro ciclo de corte, e em termos ecológicos, visando a qualidade do estoque futuro da floresta.

Entretanto, uma implicação do método de exploração de uma árvore oca e uma substituta está relacionada à autorização dos planos de manejo florestal, pois atualmente, o Ibama controla, além do volume de madeira explorado, a quantidade de árvores exploradas por espécie. Logo, a aplicação desta forma de exploração poderia ultrapassar o número de árvores autorizado.

Há uma vertente de pesquisa que indica a retirada de árvores ocas da floresta, para possibilitar às árvores saudáveis maior disponibilidade de nutrientes para o seu desenvolvimento. Higuchi (2010) defende a ideia de que as árvores ocas não devem ser mantidas na floresta, para que as árvores que compõem o estoque futuro consigam crescer e se desenvolver com as novas ofertas de água, luz e nutrientes a partir da retirada daquela árvore oca. O autor afirma ainda que as árvores ocas podem afetar negativamente o balanço de trocas de carbono entre a biosfera e a atmosfera, pois, de forma geral, as árvores ocas emitem mais carbono do que sequestram da atmosfera.

Um fator relatado por alguns pesquisadores que influencia no descarte de árvores ocas é o baixo rendimento das toras ocas na serraria. O presente trabalho não avaliou o rendimento das toras ocas na serraria, porém, Danielli (2013) analisando o rendimento na serraria da espécie *Manilkara* spp verificou que o rendimento entre toras ocas e toras não ocas da referida espécie não diferiram estatisticamente em relação ao rendimento na serraria, apresentando um rendimento de 28,07% para toras ocas e 31,65% para toras não ocas.

Na exploração com árvores ocas, um aspecto importante a ser levantado é a segurança da execução da atividade. No estudo, 11 árvores ocas (cerca de 2% do total de árvores do experimento) não foram derrubadas devido à avaliação do operador da motosserra indicar um alto risco na operação de derruba, o que poderia ocasionar acidentes devido à mudança de direção de queda da árvore ou a possibilidade de quebra no momento do corte.

Uma problemática frequente nas pesquisas com manejo florestal é em relação às áreas para o desenvolvimento dos experimentos. Como, para esta atividade, as áreas a serem estudadas devem ser grandes, para que possam permitir a captação da variabilidade da floresta, haja vista a complexidade destas. No presente trabalho, o tamanho das repetições de cada tratamento pode não ter sido suficiente para captar as diferenças entre os tratamentos. Por isso, os resultados devem ser tratados com cautela. Então, em estudos futuros para a verificação da viabilidade da exploração de árvores ocas, deve-se utilizar uma área de amostragem maior para cada tratamento.

7.2 Custos da exploração

Os custos da exploração florestal considerando os funcionários e as máquinas encontrados no T0 (R\$/m³ 17,14) do presente trabalho foi maior do que o encontrado por Pokorny e Steinbrenner (2005) de R\$/m³ 12,03 (US\$ 2,19), considerando os custos com pessoal e com máquinas. Os procedimentos de exploração adotados no estudo foram os mesmos, em relação às árvores ocas, dos praticados no T0. Os custos dos tratamentos com a exploração de árvores ocas T1 e T2, R\$/m³ 17,08 e R\$/m³ 16,09, respectivamente, encontrados neste estudo também foram notavelmente superiores ao encontrado pelos autores. Na publicação de Pokorny e Steinbrenner, os valores foram calculados em dólar americano (US\$) e transformados em real brasileiro (R\$) com o atual câmbio comercial (US\$ 1,00 equivalente a R\$ 5,5). A metodologia utilizada pelos autores foi a MEOF, porém aplicada para a safra inteira, tendo um número muito maior de árvores processadas.

Holmes *et al.* (2002) levantaram custos de exploração de R\$/m³ 10,23 (US\$ 1,86) em áreas de EIR, considerando as atividades de derruba, traçamento e arraste. No presente trabalho, foram levantadas as atividades de derruba, traçamento, planejamento de arraste e arraste, e os custos destas operações, de R\$/m³ 17,14 (T0), R\$/m³ 17,08 (T1) e R\$/m³ 16,09 (T2) foram maiores do que as encontradas por Holmes *et al.* (2002). Na publicação de Holmes *et al.* (2002) os valores foram apresentados em US\$ e transformados para R\$ com a atual câmbio comercial.

Os custos da exploração florestal mais elevados encontrados no presente trabalho, quando comparados com os custos encontrados por outros autores, pode ter sofrido interferência da inflação atual. Assim como, a alteração dos custos com mão de obra, como salário dos funcionários baseados no salário mínimo, e os custos com insumos, como preço de gasolina e diesel, na época de realização dos trabalhos eram inferiores aos praticados atualmente.

Embora no presente estudo não tenha havido diferenças significativas entre os custos por metro cúbico da exploração com a derruba de árvores ocas e com o descarte delas, foi constatada uma diferença de R\$/m³ 1,05 entre o T0 (R\$/m³ 17,14) e o T2 (R\$/m³ 16,09).

A variação dos custos no T0 (controle) foi a maior entre as alternativas aplicadas, com um CV% de 15,48% e um desvio padrão de R\$/m³ 2,65, isso pode ser sofrido influência do tamanho da área de cada repetição (9 ha).

O levantamento dos custos com a exploração de árvores ocas deve ser realizado em áreas de maior extensão, uma vez que será possível conhecer, com maior precisão, o consumo de máquinas e equipamentos em cada alternativa de exploração aplicada.

Um possível custo adicional que pode ser levado em consideração, caso a exploração com a utilização de árvores ocas seja adotada, é o custo com a qualificação da equipe de derruba,

oferecendo um treinamento mais específico para esses trabalhadores, além daquele que os operadores de motosserra e os ajudantes já possuem. Para a derruba de árvores ocas, o operador deve ser experiente e bem treinado, para avaliar a possibilidade de derrubar a árvore, assim como executar a atividade de forma correta e segura.

8 CONCLUSÕES

Nas condições estudadas no presente trabalho, a exploração florestal com a utilização de árvores ocas não prejudicou a produção volumétrica quando comparada à exploração com a substituição dessas árvores.

O volume de madeira extraído com a exploração de árvores ocas não difere do volume extraído quando a exploração foi realizada da forma atual, ou seja, com o descarte e a substituição de árvores ocas.

O rendimento bruto da exploração não foi afetado nas alternativas em que as árvores ocas foram derrubadas. Quando descontado o volume do oco da produção volumétrica, caracterizado como rendimento líquido da exploração, o rendimento também não sofreu interferência da exploração dessas árvores.

Houve geração de resíduos de toras ocas em todos os tratamentos aplicados, mesmo naquele em que ocorreu a substituição de árvores ocas.

Os custos da exploração florestal, considerando as atividades de derruba, traçamento, planejamento de arraste e arraste, quando houve a substituição de árvores ocas, foi cerca de R\$/m³ 1,00 maior do que quando houve a exploração das árvores ocas e substitutas, porém sem diferenças estatísticas.

O estudo indicou que a exploração de árvores ocas pode ser realizada para diminuir a chamada seleção negativa da floresta, melhorando o estoque futuro de madeira e viabilizando a exploração nos próximos ciclos de corte, pois não há a geração de resíduos ocas maior do que já é gerado com a exploração efetuando a substituição de árvores ocas.

O estudo aponta que uma possível alternativa de exploração para reduzir o empobrecimento da floresta seria a exploração de árvores ocas mais árvores substitutas na proporção de 1:1.

9 RECOMENDAÇÕES

Os resultados desse trabalho podem ter sido influenciados pela reduzida área de cada repetição. Por esta razão, estudos posteriores considerando áreas maiores devem ser estimulados. Deve-se incentivar ainda estudos que considerem as atividades pós romaneio, como transporte até a serraria, para verificar a viabilidade da utilização de árvores ocas.

Estudos posteriores também devem considerar o efeito de diferentes alternativas de exploração, em relação à ocorrência de árvores ocas, sobre as receitas da venda da madeira em tora, uma questão de elevado interesse para os manejadores florestais.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. R.; GARCIA, M. L. Estimativas volumétricas para plano de manejo florestal na Amazônia Oriental. **Nature and Conservation**, v. 14, n. 1, p.149-157, 2021.

ALMEIDA, V. B. **Impacto da ocorrência de oco no rendimento volumétrico e financeiro da colheita de madeira na Floresta Nacional de Saracá-Taquera, Pará**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA, 2018.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia. **Imazon**. Belém, 1998. 130 p.

APOLINARIO, F. E.; MARTIUS, C. Ecological role of termites (Insecta, Isoptera) in tree trunks in central Amazonian rain forests. **Forest Ecology and Management**, 194, p. 23-28. 2004.

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Custos e benefícios do manejo florestal para a produção de madeira na Amazônia Oriental. **Série Amazônia**, n. 10. Belém: Imazon, 1998.

BARROS, P. L. C.; SILVA JUNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. **Revista Ciências Agrárias**, n. 51, p. 115-126. Belém, 2009.

BLAZATTI, S. C.; SCOOTI, M. S. V.; BRITO JUNIOR, J. F.; MORA, R.; CARDOZO, G. H. Eficiência de métodos para estimativa volumétrica de espécies nativas na Amazônia Ocidental. **Revista Nativa**, v. 8, n. 2, p. 253-259. 2020.

BLANCHETTE, R. A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 46. p. 189-204. 2000.

BRASIL. **Lei de gestão de florestas públicas nº 11.284/2006 de 2 de março de 2006**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm. Acesso em: 27 mar. 2020.

BRASIL. **Portaria MMA Nº 443, de 17 de dezembro de 2014**. Reconhecer como espécies da flora brasileira de extinção aquelas da “Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção”. Brasília, 2014. Disponível em: http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/static/pdf/portaria_mma_443_2014.pdf. Acesso em: 27 mar. 2020.

BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N.; ARAUJO, H. J. B.; MIRANDA, E. M. **Plano de exploração sob critérios de manejo florestal de baixo impacto**. Embrapa-CPAF/AC. Circular Técnica, n. 27. Rio Branco, 1998.

BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

BROWN, S.; LUGO, A. E. **Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon.** *Interciência*, v. 17, n. 1, p. 8-18, 1992.

CONAMA. **Resolução nº 411, de 6 de maio de 2009.** Dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria. 2009.

CORREIA, F. C. S.; PERUQUETTI, R. C. Ocorrência de ocos em fustes de interesse comercial provenientes de planos de manejo florestal sustentável em madeiras de Rio Branco, AC. **Revista de Ciências Ambientais**, v.14, n.1. Canoas, 2020.

COSTA FILHO, P. P.; COSTA, H. B.; AGUIAR, O. R. Exploração mecanizada da floresta tropical úmida sem babaçu. **Embrapa-CPATU.** Circular Técnica, n. 9. Belém, 1980.

COSTA FILHO, P. P.; LIMA, J. M. Noções de exploração mecanizada para floresta de terra firme – caso Curuá-Una. **Embrapa-CPATU.** Documentos, n. 64. Belém, 1992.

CRISOSTOMO, J.; PEREIRA, C.; ROQUE, E.; JORGE, L.; PITARMA, R. Análise da salubridade de árvores através da termografia por infravermelhos. *In: 11th National Congress on Experimental Mechanics*, 2018, Porto. **Anais [...]**. Porto, 2018.

DANIELLI, F. E. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp (SAPOTACEA) em serraria na nova fronteira madeira do estado de Roraima, Brasil.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, 2013.

DANTAS, A. G. S. O. **Estimativa do Volume de Oco em Árvores de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Oriental Brasileira.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de PÓS – GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

DIONISIO, L. F. S. Efeitos a médio prazo da exploração seletiva no crescimento, mortalidade e recrutamento de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. em uma floresta amazônica. **Scientia Forestalis**, v. 48, n.125, e3154. Piracicaba, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.21>. Acesso em: 19 abr. 2021.

DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G.; MAZZEI, L.; LOPES, J. C.; SANTOS, G. G. A.; OLIVEIRA, F. A. Mortality of stocking commercial trees after reduced impact logging in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 401, p.1-7. Amsterdam, 2017.

DOLCE, O. POMPEO. J. **Fundamentos de Matemática Elementar: geometria espacial.** 5ª ed. v. 10. São Paulo, 1993

EDITAL. **Edital de Licitação para Concessão Florestal – Floresta Nacional Saracá-Taquera/PA-Lote Sul.** Brasília, 2012.

ESPADA, A. L. V.; PIRES, I. P.; LENTINI, M. A. W.; BITTENCOURT, P. R. G. Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de exploração da Amazônia. **Instituto Floresta Tropical – IFT.** Informativo Técnico 1. 2014.

FIGUEREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira.** 1983. Dissertação

(Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1983.

HIGUCHI, N.; RAMM, C. W. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). **Commonwealth Forestry Review**, v. 64, n. 1, p. 33-41. Oxford, 1985.

HIGUCHI, N. Setor madeireiro e desenvolvimento sustentável na Amazônia. *In* **GEEA: Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos**. TOMO III. Caderno de Debates. INPA. Manaus, 2010.

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

HOLMES, T. P.; BLATE, G. M. ZWEEDE, J. C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. Custos e Benefícios Financeiros da Exploração Florestal de Impacto Reduzido em Comparação à Exploração Florestal Convencional na Amazônia Oriental. **Fundação Floresta Tropical**, 2º edição. Belém, 2002. 66p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pedologia**: Mapa esquemático de Solos. Brasília, 2008. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_pedologia.pdf. Acesso em: 10 fev. 2020.

JARDIM, F. C. S.; QUADROS, L. C. L. Estrutura de uma floresta tropical dez anos após a exploração de madeira em Moju, Pará. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 427-435, 2016.

KERSHAW JR, J. A.; DUCEY, M. J.; BEERS, T. W. HUSCH, B. **Forest mensuration**. 5º ed. John Wiley & Sons. Chichester, 2017.

LEITE, F. S.; REZENDE, A. V. Estimativa do volume de madeira partindo do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 69-79. Santa Maria, 2010.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. Fatos florestais da Amazônia. **Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia**. Belém, 2005. Disponível em: <http://amazon.org.br/PDFamazon/Portugues/livros/atos-florestais-da-amazonia-2005.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

LIRA, J. N. **Qualidade do lenho de duas espécies amazônicas com base na densidade básica, anatomia e por método não destrutivo de ondas de tensão em área de manejo florestal**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2016. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/5296/2/Disserta%20a7%20a3o%20Jackelin%20N.%20Lira.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LUZ, L. M.; RODRIGUES, J. E. C.; PONTE, F. C.; SILVA, C. N. **Atlas geográfico escolar do estado do Pará**. 1º ed. GAPTA/UFGA. Belém, 2013.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed., 2. reimp. Guarapuava: UNICENTRO, 2014. 316 p.

MEDEIROS, S. H. S. **Proposta de utilização de toras ocas de espécies arbóreas da Amazônia para o manejo florestal sustentável**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

MINETTI, L. J.; OLIVEIRA FILHO, R. F.; PINTO, L. A. A.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Análise técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de terra-firme na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v.24, n.4, p.429-435. Viçosa, 2000. Disponível em: <http://revistaarvore.org.br/1977-2002/24-4-2000/>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MOURA, J. B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994.

NOGUEIRA, E. M.; NELSON, B. W.; FEARNSIDE, P. M. Volume and biomass of trees in central Amazonia: influence of irregularly shaped and hollow trunks. **Forest Ecology and Management**, n. 227, p. 14-21. 2006.

NOGUEIRA, M. M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M. W. **Manejo de Florestas Naturais da Amazônia: Corte, Traçamento e Segurança**. Manual técnico 2 – IFT. Belém, 2011.

PEREIRA, D. C. P. **Produção e rendimento da exploração em florestas públicas e privadas na Amazônia Oriental**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

PINARD, M. A.; PUTZ, F. E. Retaining Forest Biomass By Reducing Logging Damage. **Biotropica**, n. 28, v. 3, p. 278-295. 1996.

PMFS. **Plano de Manejo Florestal Sustentável de Uso Múltiplo da Floresta Nacional de Saracá-Taquera UMF 1B**. Belém, 2014.

POKORNY, B.; STREINBRENNER, M. Collaborative Monitoring of Production and Costs of Timber Harvest Operation in the Brazilian Amazon. **Ecology and Society**, n. 1, v. 10. 2005.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. **Monitoramento Econômico de Operações Florestais – MEOF**. Manual do Usuário. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2005. Disponível em: http://bommanejo.cpatu.embrapa.br/arquivos/2-MEOF-Manual_usuario.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

RIBEIRO, F. C.; GOMES, L. F. Ocorrência de árvores ocas por tipologia florestal em planos de manejo no estado do Acre. **In: X Congresso de Ecologia do Brasil**. São Lourenço, 2011.

RODRIGUES, M. I. **O manejo florestal na Amazônia e a viabilidade financeira dos ciclos de corte**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SABOGAL, C.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C. A. Diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia Brasileira. **EMBRAPA – CIFOR**. Belém, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63188/1/Oriental-Doc64.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SANTOS, M. F.; FIGUEREDO FILHO, A.; GAMA, J. R. V.; RETSLAFF, F. A. S.; COSTA, D. L.; GOMES, K. M. A.; CRUZ, G. S.; ALMEIDA, B. R. S. Eficiência de equações

volumétricas para *Manilkara* spp. em floresta manejada na Amazônia Oriental. **Revista Nativa**, v. 7, n. 5, p. 621-628. 2019.

SECCO, C. B. **Deteção de oco em toras utilizando métodos de propagação de ondas ultrassônicas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

Serviço Florestal Brasileiro – SFB. **Guia para medição de produtos e subprodutos florestais madeireiros das concessões florestais**. Brasília-DF, 2012. 48 p. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/1800-guia-para-medicao-de-produtos-e-subprodutos-florestais-madeireiros-das-concessoes-florestais/file>. Acesso em: 12 fev. 2020.

SILVA, E.; APPANAH, S. Forestry management sustainable development. *In* **EDI policy seminar report**, n. 32. The Word Bank. Washington, 1993.

SILVA, J. N. M. Manejo florestal. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia oriental. **Embrapa-SPI**. Brasília, 1996.

SILVA, R. C.; MELO, L. O.; XIMENES, L. C.; SILVA, R. B. Ajuste de equações volumétricas para diferentes seccionamentos de tora em uma floresta sob manejo florestal comunitário. **Acta Tecnologica**, v. 12, n. 2. 2017.

SOUZA, D. V.; CARVALHO, J. O. P.; MENDES, F. S.; MELO, L. O.; SILVA, J. N. M.; JARDIM, F. C. S. Crescimento de espécies arbóreas em uma floresta natural de terra firme após a colheita de madeira e tratamentos silviculturais, no município de Paragominas, Pará, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 873-883, 2015.

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Estudo da viabilidade técnico –econômica da exploração mecanizada em floresta de Terra Firme região de Curuá-Una**. SUDAM, IBDF, PRODEPEF. Belém, 1978.

VIDAL, E. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia Oriental**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

APÊNDICE C – Formulário de campo para levantamento do consumo de combustíveis e materiais das máquinas e equipamentos.

FORMULÁRIO 2 - Consumo de Peças e Materiais de Máquinas					
				atividade:	mapa:
1. Identificação:					
AMF:	UPA:	UT:	TRAT:	REP:	
Máquina:	Nº	Descrição			
Operador / Responsável:	Nº	Nome			
2. Detalhes:					
Data	Item (Peça/Material/Combustível)	Unidade	Quant	Unit (R\$)	Total (R\$)
3. Assinaturas					
Responsável Preenchimento		Encarregado		Digitador	
__/__/__	_____	__/__/__	_____	__/__/__	_____
Data	Assinatura	Data	Assinatura	Data	Assinatura

APÊNDICE D – Formulário de equipe para preenchimento das atividades diárias.

FORMULÁRIO 1 - EQUIPE

1. Data e Local						
Data (dd/mm/aaaa)		AMF	UPA	UT	TRAT	REP Nº MAPA
Formulário N°:						
2. Equipe			3. Horários do dia		4. Fatores adversos	
Nome	% dedicação	R	Início	Fim	Problema	Início Fim
			Jornada			
			Produção			
			Almoço			
5. Máquinas				6. Produção		
Nome / N°	Descrição / Nome		Atividade		Qtde.	Unidade
7. Observações						
8. Assinaturas						
Responsável Preenchimento		Encarregado		Digitador		
__/__/__	_____	__/__/__	_____	__/__/__	_____	
Data	Assinatura	Data	Assinatura	Data	Assinatura	

APÊNDICE E – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de volume de madeira extraído nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,52E-20	2	4,76E-20	1,504E-21	1	3,5546
Dentro dos grupos	569,838	18	31,6577			
Total	569,838	20				

APÊNDICE F – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de volume de madeira extraído nos três tratamentos aplicados.

	T0	T1	T2
Shapiro Wilk W	0,9664	0,8923	0,9745
p(normal)	0,8715	0,2871	0,929

APÊNDICE G – ANOVA dos valores de volume de madeira extraído ($m^3 ha^{-1}$) entre os três tratamentos aplicados.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	131,7057	2	65,85284	2,0802	0,1539	3,5546
Dentro dos grupos	569,8382	18	31,65768			
Total	701,5439	20				

APÊNDICE H – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de resíduos ocos gerados nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,52E-20	2	4,76E-20	1,14E-20	1	3,5546
Dentro dos grupos	75,3363	18	4,1854			
Total	75,3363	20				

APÊNDICE I – Resultados do teste de Shapiro Wilk e confirmação da normalidade dos valores de resíduos ocos gerados nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

	T0	T1	T2
Shapiro-Wilk W	0,8215	0,8957	0,8168
p(normal)	0,06641	0,3058	0,05985

APÊNDICE J – ANOVA dos volumes de resíduos ocos gerados ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,4401	2	0,7201	0,1720	0,8433	3,5546
Dentro dos grupos	75,3363	18	4,1854			
Total	76,7764	20				

APÊNDICE K – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos dos dados de RVB% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,52E-20	2	4,76E-20	5,43E-18	1	3,5546
Dentro dos grupos	0,1578	18	0,0088			
Total	0,1578	20				

APÊNDICE L – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de RVB% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

	T0	T1	T2
Shapiro Wilk W	0,9778	0,9611	0,9559
p(normal)	0,9479	0,8283	0,783

APÊNDICE M – ANOVA dos valores de RVB% entre os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0402	2	0,0201	2,2919	0,1298	3,5546
Dentro dos grupos	0,1578	18	0,0088			
Total	0,1980	20				

APÊNDICE N – ANOVA resultante da aplicação do teste de Levene para os resíduos de RVL%.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5,5E-35	2	2,75E-35	3,49E-33	1	3,5546
Dentro dos grupos	0,1419	18	0,0079			
Total	0,1419	20				

APÊNDICE O – Resultados do teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade dos dados de RVL% nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

	T0	T1	T2
Shapiro Wilk W	0,9095	0,9132	0,9136
p(normal)	0,3923	0,4182	0,4215

APÊNDICE P – ANOVA dos valores de RVL% entre os três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0484	2	0,0242	3,0689	0,0713	3,5546
Dentro dos grupos	0,1419	18	0,0079			
Total	0,1903	20				

APÊNDICE Q – Resultado da aplicação do teste de Levene com a análise de variância dos resíduos para os valores de custo das operações de exploração.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	9,52E-20	2	4,76E-20	8,53E-21	1	3,5546
Dentro dos grupos	100,438	18	5,5799			
Total	100,438	20				

APÊNDICE R – Resultados do teste de Shapiro Wilk e confirmação da normalidade dos valores de custo das operações nos três tratamentos aplicados.

	T0	T1	T2
Shapiro-Wilk W	0,8985	0,8373	0,9241
p(normal)	0,3218	0,09372	0,5017

APÊNDICE S – ANOVA dos valores de custo da exploração florestal nos três tratamentos aplicados na Flona de Saracá-Taquera.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-p</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,883	2	2,4415	0,4376	0,6523	3,5546
Dentro dos grupos	100,4377	18	5,5799			
Total	105,3207	20				

12 ANEXOS

ANEXO A – Mapa de Corte e Arraste utilizado em todas as atividades.

