

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

VOLUMETRIA E RASTREABILIDADE DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA
AMAZONIA LEGAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DA INTEGRIDADE E
IRREGULARIDADES NO MANEJO FLORESTAL COM DADOS DO SINAFLOR E
DOF (2009-2024)

CRISTIANO CORREA DA SILVA

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JULHO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

VOLUMETRIA E RASTREABILIDADE DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA
AMAZONIA LEGAL: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DA INTEGRIDADE E
IRREGULARIDADES NO MANEJO FLORESTAL COM DADOS DO SINAFLOR E
DOF (2009-2024)

CRISTIANO CORREA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha

RIO BRANCO-AC, BRASIL

JULHO DE 2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- S586v Silva, Cristiano Correa da, 1990 -
Volumetria e rastreabilidade da exploração madeireira na Amazonia Legal: uma análise quantitativa da integridade e irregularidades no manejo florestal com dados do SINAFLOR e DOF (2009-2024) / Cristiano Correa da Silva; orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha. - 2025.
68 f.:il.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Mestre em Ciência Floresta. Rio Branco, 2025.
Inclui referências bibliográficas.
1. Rastreabilidade Florestal. 2. Seleção de Espécies. 3. Desvio Percentual Volumétrico
(DPV). I. Cunha, Thiago Augusto da (orientador). II. Título.

CDD: 621



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ- REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL - PPGCIFLOR



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE CRISTIANO CORRÊA DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO, STRICTO SENSU, EM CIÊNCIA FLORESTAL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE.

Às oito horas e nove minutos do dia trinta do mês de julho de 2025, realizou-se, de forma online, por meio da plataforma Google Meet, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação, intitulada: **“Volumetria e rastreabilidade da exploração madeireira Legal: uma análise quantitativa da integridade e irregularidade no Manejo Florestal com dados do SINAFLORE e do DOF (2009-2024)”**, de autoria do mestrando **Cristiano Corrêa da Silva**, discente do Programa de Pós - graduação em Ciência Florestal, da Universidade Federal do Acre - UFAC, em nível de Mestrado. Na ocasião, a Banca Examinadora esteve constituída pelos membros: **Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha (Presidente - orientador - CCBN - UFAC); Prof. Dr. Evandro Ferreira da Silva (Membro Externo - UFPA); Prof. Dr. Tarcísio José Gualberto Fernandes (CCBN - UFAC)**. Logo após a exposição oral, houve arguição pelos Examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, o discente foi considerado **APROVADO** pela Banca Examinadora. E, ao término, foi lavrada a presente Ata, que será assinada pelos avaliadores.

Documento assinado digitalmente
gov.br THIAGO AUGUSTO DA CUNHA
Data: 30/07/2025 13:02:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha
(Presidente - Orientador - CCBN - UFAC)

Documento assinado digitalmente
gov.br EVANDRO FERREIRA DA SILVA
Data: 30/07/2025 15:14:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Evandro Ferreira da Silva
(Membro Externo - UFPA);

Documento assinado digitalmente
gov.br TARCISIO JOSE GUALBERTO FERNANDES
Data: 19/08/2025 08:25:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tarcísio José Gualberto Fernandes
(CCBN - UFAC)

“A ciência florestal não se limita ao cálculo de volumes: ela é, sobretudo, um instrumento de justiça socioambiental e de proteção dos bens comuns.”

— *Leão et al. (2021)*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de sabedoria e força, por me sustentar durante esta jornada acadêmica.

À minha família, em especial a minha mãe e à minha esposa Naele de Sousa Dourado, pelo amor incondicional, paciência e incentivo em todos os momentos. Ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha, pela orientação criteriosa, disponibilidade e incentivo para que este trabalho atingisse seu melhor nível.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, por compartilharem conhecimento e contribuírem para minha formação. Aos colegas de turma e amigos de pesquisa, pelo companheirismo, discussões enriquecedoras e apoio nos momentos desafiadores.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, seja com palavras de incentivo, apoio logístico ou colaboração técnica.

Lista de Figura

Figura 1 – Ponto das Autex do estudo.....	22
Figura 2 Evolução do número de Autex exploradas por ano no estado do Acre	27
Figura 3- Evolução da representação dos municípios conforme importância de número de Autex (UPAs) autorizadas no estado do Acre.	28
Figura 4- Volumetria autorizada e explorada por ano para Plano de Manejo Florestais no Acre.	29
Figura 5 - Números de cargas e destino no Acre.....	30
Figura 6 - Mapa de Calor das Autex no estado do Acre no período.	31
Figura 7- Volume Transportado por origem e destino no Acre.	32
Figura 8 – Volumetria por períodos conforme o destino das toras no Acre.....	33
Figura 9– Índice de exploração (%), para espécies do Grupo A no Acre.	36
Figura 10 - Distribuição das Upas exploradas em Planos de Manejo Florestal Sustentável no período de 2018-2024 nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima	45
Figura 11-A quantidade de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indício de fraude, em seis estados da Amazônia Legal	54
Figura 12 - Evolução temporal de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indício de fraude.	56
Figura 13 - Evolução temporal por estado de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude.	57
Figura 14 - Desvio Percentual Volumétrico (DPV) superior a 10%, classificadas por grupo comercial (A, B e C) e por estado	58
Figura 15 - Evolução temporal por estado de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude	59
Figura 16- Mapa com a distribuição do Índice de Divergência na região do estudo.	61
Figura 17 - Municípios com os maiores scores de indicio de fraude em manejo florestais.	62

Lista de Quadro

Quadro 1 - Variáveis consideradas para análise dos dados de transporte de madeira em tora.....	23
Quadro 2 - Modelo exemplo de agrupamento das espécies no estudo.....	23
Quadro 3 – Classificação das faixas de intensidade de exploração de corte (IE)	26
Quadro 4 - Número de Unidades de Produção Anual e arvores exploradas avaliadas no estudo.....	44
Quadro 5 - Modelo de como se juntaram as espécies e gêneros no estudo.....	46
Quadro 6 - Faixas de tolerância para o Desvio Percentual Volumétrico (DPV) de acordo ao Sinaflor-Lab.....	48
Quadro 7 - Grupos avaliados para comparação.....	50
Quadro 8.- As 6 principais espécies do Grupo A por Estado da Amazônia Legal.....	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Grupo A de espécie no Acre por Pareto	34
Tabela 2 - Quantidade de arvores e volume explorados o e por ano por estado na Amazônia Legal.	51
Tabela 3 - Espécies mais exploradas na região do estudo de 2018 a 2024.	52
Tabela 4 - Quantitativo de espécies de cada grupo de importância de acordo ao princípio de Pareto.	52
Tabela 5- Intensidade de Exploração nas UPAs sorteadas de Rondônia e Amazonas.....	63
Tabela 6 - Teste de Dunn com correção de Bonferroni.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Acre

AM – Amazonas

AP – Amapá

AUTEX – Autorização de Exploração Florestal

CIFLOR – Centro de Ciências Florestais

CODIGOSPP. – Código da Espécie Padronizado

DDDM – Data-Driven Decision Making

DPV – Desvio Percentual Volumétrico

DOF – Documento de Origem Florestal

EIR – Exploração de Impacto Reduzido

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IE – Intensidade de Exploração

MFS – Manejo Florestal Sustentável

PMFS – Plano de Manejo Florestal Sustentável

PROC SQL – Structured Query Language no SAS

QGIS – Quantum Geographic Information System

RO – Rondônia

RR – Roraima

SAS – Statistical Analysis System

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

SINAFLOR – Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais

SPCODE – Código da Espécie

RESUMO

SILVA, Cristiano Corrêa. Universidade Federal do Acre, Julho de 2025. **Volumetria e Rastreabilidade da Exploração Madeireira na Amazônia Legal: Uma Análise Quantitativa da Integridade e Irregularidades no Manejo Florestal com Dados do Sinaflor e DOF (2009–2024)**. Orientador: Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha. A exploração florestal na Amazônia Legal constitui atividade estratégica para a economia regional, mas marcada por desafios de gestão, rastreabilidade e sustentabilidade. Esta dissertação analisou dados de Autorizações de Exploração Florestal (AUTEX) e Documentos de Origem Florestal (DOF) de 2009 a 2023 no Acre e, posteriormente, expandiu o escopo para os estados do Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima entre 2018 e 2024. O estudo teve como objetivos caracterizar a volumetria, avaliar a seletividade de espécies, calcular a intensidade de exploração (IE) e mensurar a divergência entre volumes autorizados e transportados, propondo indicadores de inconsistência para apoiar o Manejo Florestal Sustentável (MFS). A metodologia envolveu a padronização taxonômica e consolidação dos dados em Microsoft Excel, análises estatísticas no SAS Studio 9.4 (PROC MEANS, PROC UNIVARIATE e PROC SQL) e classificação de espécies pelo princípio de Pareto. A distribuição espacial da exploração foi avaliada com mapas de Estimativa de Densidade Kernel (KDE) no QGIS, enquanto a intensidade de exploração foi calculada como a razão percentual entre volumes explorados e autorizados. O Desvio Percentual Volumétrico (DPV) foi aplicado como métrica para identificar indícios de fraude e irregularidades em Planos de Manejo Florestal. No Acre, registraram-se 5,81 milhões de m³ autorizados e 3,23 milhões de m³ transportados, com intensidade média de 62,3%. Apenas 16 espécies responderam por 78,9% do volume transportado, revelando forte seletividade. Além disso, verificou-se deslocamento espacial da atividade, antes concentrada em Bujari, Sena Madureira e Rio Branco, em direção a Feijó e Tarauacá. O segundo capítulo ampliou a escala de análise para a Amazônia Legal, investigando a divergência entre volumes inventariados e explorados em seis estados. Os resultados evidenciaram alta frequência de DPVs acima de 10%, sugerindo inconsistências técnicas e legais, associadas a indícios de fraudes e fragilidades nos processos de monitoramento. Essa abordagem comparativa demonstrou que irregularidades não se restringem ao Acre, mas configuram padrão estrutural no setor madeireiro regional. Conclui-se que a integração de métricas de volumetria, intensidade e divergência fornece subsídios técnicos para fortalecer a fiscalização e aperfeiçoar políticas de controle florestal, contribuindo para a efetividade do MFS e a conservação da Amazônia Legal.

Palavras-chave: Rastreabilidade Florestal, Seleção de Espécies, Desvio Percentual Volumétrico (DPV), Controle Ambiental.

ABSTRACT

SILVA, Cristiano Corrêa. Federal University of Acre, July 2025. **Timber Volume and Traceability of Logging in the Brazilian Amazon: A Quantitative Analysis of Integrity and Irregularities in Forest Management Using Sinaflor and DOF Data (2009–2024).** Advisor: Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha. Timber exploitation in the Brazilian Amazon constitutes a strategic activity for the regional economy, yet it is marked by challenges related to governance, traceability, and sustainability. This dissertation analyzed data from Logging Authorizations (AUTEX) and Forest Origin Documents (DOF) between 2009 and 2023 in Acre, and subsequently expanded the scope to the states of Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, and Roraima from 2018 to 2024. The study aimed to characterize logging volumes, evaluate species selectivity, calculate harvesting intensity (HI), and measure discrepancies between authorized and effectively transported volumes, proposing inconsistency indicators to support Sustainable Forest Management (SFM). The methodology involved taxonomic standardization and data consolidation in Microsoft Excel, statistical analyses in SAS Studio 9.4 (PROC MEANS, PROC UNIVARIATE, and PROC SQL), and species classification using the Pareto principle. Spatial distribution of logging was assessed through Kernel Density Estimation (KDE) in QGIS, while harvesting intensity was calculated as the percentage ratio between harvested and authorized volumes. The Volumetric Percentage Deviation (VPD) was applied as a metric to identify signs of fraud and irregularities in forest management plans. In Acre, 5.81 million m³ were authorized and 3.23 million m³ were transported, resulting in an average harvesting intensity of 62.3%. Only 16 species accounted for 78.9% of the transported volume, revealing high selectivity. Moreover, a geographic shift was observed, with logging activities moving from Bujari, Sena Madureira, and Rio Branco toward Feijó and Tarauacá. The second chapter expanded the analysis to the broader Amazon region, investigating discrepancies between inventoried and harvested volumes across six states. Results revealed a high frequency of VPDs above 10%, suggesting technical and legal inconsistencies associated with indications of fraud and weaknesses in monitoring processes. This comparative approach demonstrated that such irregularities are not limited to Acre but represent a structural pattern in the regional timber sector. It is concluded that integrating metrics of volumetry, harvesting intensity, and discrepancies provides technical support to strengthen monitoring and improve forest governance policies, thereby contributing to the effectiveness of SFM and the conservation of the Amazon.

Keywords: Forest Traceability, Species Selectivity, Volumetric Percentage Deviation (VPD), Environmental Control.

SUMÁRIO

1. Introdução Geral	14
1.1 Pergunta de pesquisa	16
1.2 Objetivos.....	17
Geral	17
Específicos:.....	17
1.3 Hipóteses	17
Referências Bibliográficas.....	17
Artigo 1: Exploração Madeireira no Acre (2009–2023): Intensidade de Exploração no Manejo Florestal Sustentável, Volumetria, e Transporte	19
Resumo	19
Abstract.....	19
Introdução.....	20
Material e Métodos.....	22
Resultados e Discussão.....	27
Conclusão	37
Referências Bibliográficas.....	38
Artigo 2: Divergências entre Volume Inventariado e Explorado na Amazônia: Subsídios ao Controle com Dados do Sinaflor	41
Resumo	41
Abstract.....	42
Introdução.....	42
Material e Métodos.....	44
Resultados e Discussão.....	51
Conclusão	65
Referências Bibliográficas.....	66

1. Introdução Geral

As florestas tropicais desempenham um papel fundamental na preservação da biodiversidade, na regulação climática global e na produção de madeira de alta qualidade (Avila et al., 2017). Contudo, atividades como a exploração madeireira insustentável, a expansão agrícola e o aumento da incidência de incêndios florestais, exacerbados pelas mudanças climáticas, têm acelerado a degradação desses ecossistemas, levando a uma redução crítica das espécies e ao desequilíbrio das funções naturais das florestas tropicais (Lewis, Maslin, 2015; Lamanana, Martin, 2017; Watson et al., 2018).

Para enfrentar esses desafios, o manejo florestal sustentável (MFS) se destaca como uma prática essencial e responsável, cuja premissa é alinhar a exploração de recursos madeireiros à conservação ambiental, promovendo um uso equilibrado e renovável da floresta; (Zimmerman, Kormos, 2012) e a sua implementação de sistemas silviculturais policíclicos e a exploração madeireira de impacto reduzido (EIR) têm mostrado melhorias na produção de madeira (Schwartz, Falkowski, Peñaclaros, 2017).

O MFS, entretanto, encontra desafios significativos em sua implementação, especialmente na região amazônica e pode apresentar. Irregularidades técnicas e legais em planos de manejo têm sido frequentes, refletindo em uma prática insustentável e contínua nos ecossistemas e suas dinâmicas (Dearmond et al., 2022) e, muitas vezes, ilegal. Assim, pesquisas indicam que cerca de 72,8% dos planos de manejo florestal sustentável (PMFS) na Amazônia Legal apresentaram movimentação fraudulenta de créditos de madeira, e que 82,3% destes referem-se a autorizações para unidades de produção anual (UPA) únicas, o que facilita a exploração irregular e a consequente degradação ambiental (COSTA et al., 2024). Na região Sul do Amazonas, por exemplo, 81% dos 83 PMFS examinados apresentaram indícios de fraude, demonstrando que as práticas ilegais estão profundamente enraizadas no setor madeireiro (Perazonni, Bacelar-Nicolau, Painho, 2020) e ainda que atividades ilegais podem ocorrer em todas as fases da cadeia produtiva florestal, desde a extração até a exportação (Tacconi et al., 2016; Kleinschmit et al., 2021).

Esse cenário de irregularidades está associado a um modelo de exploração seletiva que pressiona determinadas espécies e gêneros, criando um ciclo de vulnerabilidade ecológica e econômica. O Acre e outros estados, a exploração florestal revela um padrão de concentração em poucas espécies e gêneros, demonstrando uma situação de pressão do mercado externo consumidor, isso é uma situação que pode afetar a continuidade e a regeneração das florestas (Sabogal et al., 2005). Dados indicam que entre 2007 e 2012, apenas dez gêneros foram responsáveis por mais de 50% do volume total autorizado para

extração (Silva et al., 2015). Essa falta de diversidade nas espécies exploradas, reforça a necessidade de monitoramento dos dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLOR) e Documento de origem Florestal (DOF), podendo criar espaço para a ocorrência de fraudes (Câmara et al., 2023). *Higuchi* (1994) observa que a sustentabilidade no manejo depende de uma exploração sustentável e de uma administração que vá além da extração da madeira, assegurando a preservação dos serviços ecossistêmicos e da capacidade de regeneração da floresta.

Portanto, ressalta-se a necessidade de práticas de manejo florestal efetivas e de instrumentos que aumentem a transparência e a fiscalização em áreas licenciadas e não-licenciadas para o manejo florestal.

Entretanto, devido à complexidade para o combate à exploração ilegal, torna-se o monitoramento e controle minuciosos sendo um desafio que pode ser apoiado pelo uso de tecnologias de sensoriamento remoto e análises dos dados produzidos pelo manejo florestal (Brancalion et al., 2018).

Embora grandes volumes de dados sejam gerados anualmente pelas atividades de manejo florestal, a extração de conhecimento útil para subsidiar decisões ágeis e precisas ainda representa um desafio. Essa limitação compromete a eficácia do monitoramento e da análise das operações realizadas (Câmara et al., 2023). No entanto, a incorporação de variáveis como a distância entre as áreas de exploração e os centros industriais permite identificar regiões mais remotas que, por sua dificuldade de acesso e fiscalização, podem estar sob maior pressão para a ocorrência de práticas ilegais (Costa et al., 2024).

Essa abordagem fortalece os princípios do Data-Driven Decision Making (DDDM), ao promover decisões baseadas em dados concretos, contribuindo para uma atuação mais preventiva e eficiente dos órgãos de fiscalização. Nesse contexto, surgem lacunas e desafios que motivam questionamentos fundamentais: quais espécies e gêneros concentram os maiores volumes explorados e como essa seletividade afeta a diversidade e a sustentabilidade do estoque florestal? Qual é a intensidade média de exploração (IREF) observada nos planos de manejo do Acre e como ela varia entre espécies? Qual é o grau de divergência (DPV) entre os volumes autorizados e efetivamente explorados, e em que medida essa divergência pode indicar irregularidades ou potenciais fraudes? Quais são os padrões espaciais de origem e destino da madeira transportada e como eles podem indicar deslocamento de frentes de exploração ou concentração da atividade em áreas de maior risco ambiental?

Portanto, este estudo analisou o volume de madeira em tora transportado durante as operações de exploração de impacto reduzido em planos de manejo florestal sustentável de seis estados da Amazônia. A análise, baseada em dados do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor) de 2018-2024, utiliza uma abordagem orientada por dados para gerar informações que auxiliem a tomada de decisão de gestores ambientais.

Assim, a análise desenvolvida no Artigo 1 " Exploração Madeireira no Acre (2009–2023): Volumetria, Transporte e Intensidade de Exploração no Manejo Florestal Sustentável", ao caracterizar de forma detalhada a volumetria, a intensidade de exploração e a logística de transporte da madeira no estado do Acre, evidenciou padrões que em contexto estadual e suscitaram reflexões acerca da consistência e da transparência dos dados de manejo florestal na Amazônia (Câmara et al., 2023). As discrepâncias identificadas entre os volumes autorizados e efetivamente transportados, bem como a forte concentração da produção em um número restrito de espécies comerciais, motivaram a ampliação do escopo da investigação para além das fronteiras acreanas (Costa et al., 2024). Nesse sentido, o Artigo 2 “Divergência entre Volume Inventariado e Explorado na Amazônia Legal: Análise com Dados do Sinaflor.”, foi concebido como uma continuidade e um aprofundamento das questões emergentes, expandindo a análise para a escala da Amazônia Legal e utilizando os dados do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor) para avaliar a divergência entre volumes inventariados e explorados. Essa abordagem integrada possibilitou comparações inter-regionais e forneceu subsídios mais robustos para a compreensão dos desafios e das oportunidades relacionados ao fortalecimento do manejo florestal sustentável em escala regional (BRANCALION et al., 2018), sendo uma abordagem integrada reforça a identificação de padrões de inconsistência e contribui para o aprimoramento das estratégias de controle e gestão florestal na região.

1.1 Pergunta de pesquisa

Quais padrões podem ser observados na volumetria das espécies exploradas, nos percursos de transporte da madeira e na intensidade de corte nos planos de manejo florestal no Acre, e de que forma as discrepâncias entre os volumes inventariados e os efetivamente explorados podem indicar possíveis indícios de fraude ou ineficiência nos processos de manejo florestal sustentável no Acre e em outros estados da Amazônia Legal?

1.2 Objetivos

Geral

Criar indicadores sobre a volumetria, intensidade de corte e o transporte florestal em Unidades de Produção Anual de seis estados da Amazônia Legal, utilizando dados do Sinaflor a fim de apoiar estratégias de controle, fiscalização e gestão para o manejo florestal sustentável.

Específicos:

- i) Determinar a variação temporal e espacial dos locais de exploração, o volume de madeira em tora autorizado e efetivamente explorado no Acre (2009–2023);
- ii) Avaliar a seletividade da exploração florestal, identificando as espécies florestais mais exploradas e determinar sua intensidade de exploração;
- iii) Avaliar o transporte da madeira em tora e sua relação com a logística distribuição;
- iv) Propor indicadores de inconsistência em plano de manejo florestal sustentável com base na divergência entre volume autorizado e volume transportado.

1.3 Hipóteses

H1: Acima de 90% da intensidade de corte está associada a indícios de fraudes em Planos de manejo florestal;

H2: A exploração florestal nos estados está concentrada em um número reduzido de espécies, refletindo preferências de mercado e limitações ecológicas;

Referências Bibliográficas

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v.108, p. 9-26,1998

BRANCALION, P. H. S.; DE ALMEIDA, D. R. A.; VIDAL, E.; MOLIN, P. G.; SONTAG, V. E.; SOUZA, S. E. X. F.; SCHULZE, M. D. Fake legal logging in the Brazilian Amazon. **Science Advances**, v. 4, n. 8, p. eaat1192, 2018

COSTA, V. O. B.; KOEHLER, H. S.; ROBERT, R. C. G.. Characterization of technical and legal irregularities in management plans in the Brazilian Amazon. **Trees, Forests and People**, v. 16, p. 100548, 2024.

DE AVILA, A.L., SCHWARTZ, G., RUSCHEL, A.R., LOPES, J.D.C., SILVA, J.N.M., CARVALHO, J.O.P. D., DORMANN, C.F., MAZZEI, L., SOARES, M.H.M., BAUHUS, J., 2017. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. **Forest Ecology Management** v.385, p225–235, 2017

DEARMOND, D.; FERRAZ, J. B. S.; MARRA, D. M.; AMARAL, M. R. M.; LIMA, A. J. N., HIGUCHI, N. Logging intensity affects growth and lifespan trajectories for pioneer species in Central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 522, p. 120450, 2022.

HIGUCHI, N., Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. **Acta Amazonica** 24 (3–4), 275–288, 1994.

KLEINSCHMIT, D.; FERRAZ ZIEGERT, R.; WALTHER, L. Framing Illegal Logging and Its Governance Responses in Brazil: A Structured Review of Diagnosis and Prognosis. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 624072, 2021

LAMANNA, J. A.; MARTIN, T. E. Logging impacts on avian species richness and composition differ across latitudes and foraging and breeding habitat preferences. **Biological Reviews**, v. 92, n. 3, p. 1657-1674, 2017.

PERAZZONI, F.; BACELAR-NICOLAU, P.; PAINHO, M. Geointelligence against illegal deforestation and timber laundering in the Brazilian Amazon. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 398, 2020.

SILVA, F. A. P. DA R. C. E et al. Quantificação e Avaliação das Principais Espécies Florestais Licenciadas no Estado do Acre de 2005 a 2012. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 567–574, 23 out. 2015.

SCHWARTZ, G., FALKOWSKI, V., PEÑA-CLAROS, M. Natural regeneration of tree species in the Eastern Amazon: Short-term responses after reduced-impact logging. **Forest Ecology and Management**. 385, 97–103. 2017.

TACCONI, Luca et al. Defining illegal forest activities and illegal logging. In: KLEINSCHMIT, Daniela et al. (ed.). *Illegal logging and related timber trade – dimensions, drivers, impacts and responses: a global scientific rapid response assessment report*. Viena: IUFRO, 2016. cap. 2, p. 23–36. (World Series, v. 35).

UHL, C.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A.; BARROS, A. C.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; SOUZA, C. **Uma abordagem integrada de pesquisa sobre o manejo dos recursos naturais na Amazônia: A Expansão Madeireira na Amazônia**. 2. ed. Belém, Pará: Imazon, p. 143. 2002.

WATSON, J.E.M. et al. The exceptional value of intact forest ecosystems. **Nat. Ecol. Evol.** 2, 599–610. 2018.

ZIMMERMAN, B. L.; KORMOS, C. F. Prospects for sustainable logging in tropical forests. **BioScience**, v. 62, n. 5, p. 479-487, 2012

Artigo 1: Exploração Madeireira no Acre (2009–2023): Intensidade de Exploração no Manejo Florestal Sustentável, Volumetria e Transporte.

Chapter 1: Timber harvesting in Acre (2009–2023): Volume, Transport, and Exploitation Intensity in Sustainable Forest Management

Cristiano Corrêa da Silva¹, Thiago Augusto da Cunha²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, UFAU, Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

¹Autor para correspondência: cristiano.corea@gmail.com

Resumo

A exploração madeireira na Amazônia é importante à economia regional, mas enfrenta entraves de gestão, identificação taxonômica e qualidade de dados. Este estudo quantifica e analisa a exploração madeireira no Acre (2009–2023) com base em 457 AUTEX (volumes autorizados) e DOF (volumes efetivamente transportados), padronizando nomenclatura científica, segmentando espécies por Pareto (Grupos A–C) e estimando a Intensidade de Exploração. A variação espacial foi avaliada por mapas de densidade (KDE) no QGIS; análises descritivas e classificações foram conduzidas no SAS 9.4. De 2009 a 2023, totalizaram-se 5.810,595 m³ autorizados dos quais 3.232,424 m³ foram efetivamente explorados na floresta gerando uma intensidade de exploração (IE) média do período de 62,3%. Do total de volume explorado, 78,9% esteve concentrado e, 16 espécies florestais com destaque para *Dipteryx spp.*, *Apuleia leiocarpa* e *Ceiba spp.*. Observou-se deslocamento geográfico dos polos de manejo, antes concentrados em Bujari, Sena Madureira e Rio Branco, em direção a Feijó e Tarauacá, com Rio Branco, Porto Acre, Sena Madureira e Feijó como principais destinos/logísticos. A IE apresentou forte heterogeneidade: medianas acima de 80% para *Dipteryx spp.* e *Couratari spp.*, e patamares entre 30–50% para *Hura crepitans*, *Eschweilera spp.* e *Castilla ulei*. Resultados indicam gargalos de identificação, limitações operacionais/mercadoológicas e potenciais riscos de superexploração em táxons de alto valor. Recomenda-se (i) estudos para a diversificação o uso madeireiro ampliando o leque de espécies; (ii) integrar a IE como métrica de alerta em Sinaflor/DOF+ e sistemas estaduais acima de 90%.

Palavras-chave: controle florestal, intensidade de exploração, espécies prioritárias, logística madeireira, dinâmica espacial.

Abstract

Timber harvesting in the Amazon is crucial to the regional economy but faces persistent challenges related to management, taxonomic identification, and data quality. This study quantifies and analyzes timber harvesting in Acre (2009–2023) based on 457 AUTEX permits (authorized volumes) and DOF records (effectively transported volumes), standardizing scientific nomenclature, segmenting species according to the Pareto principle (Groups A–C), and estimating Harvesting Intensity (HI). Spatial variation was assessed using kernel density (KDE) maps in QGIS, while descriptive analyses and classifications

were performed in SAS 9.4. From 2009 to 2023, a total of 5.81 million m³ were authorized, of which 3.23 million m³ were effectively harvested, resulting in a mean HI of 62.3% for the period. Of the total harvested volume, 78.9% was concentrated in 16 species, notably *Dipteryx odorata*, *Apuleia leiocarpa*, and *Ceiba pentandra*. A geographic shift in logging hubs was observed, initially concentrated in Bujari, Sena Madureira, and Rio Branco, and later expanding toward Feijó and Tarauacá, with Rio Branco, Porto Acre, Sena Madureira, and Feijó serving as major logistical destinations. Harvesting intensity showed marked heterogeneity: median values above 80% for *Dipteryx odorata* and *Couratari* spp., and levels between 30–50% for *Hura crepitans*, *Eschweilera* spp., and *Castilla ulei*. The results indicate taxonomic identification bottlenecks, operational and market constraints, and potential risks of overexploitation in high-value taxa. It is recommended to: (i) promote studies aimed at diversifying timber use by broadening the range of exploited species; and (ii) integrate HI as an alert metric in Sinaflor/DOF+ and state-level systems whenever values exceed 90%.

Key words: forest control, harvesting intensity, priority species, timber logistics, spatial dynamics.

Introdução

A exploração de madeira tropical na Floresta Amazônica configura-se como uma das principais atividades econômicas da região (Serviço Florestal Brasileiro, 2018; Valdiones et al., 2022). Entretanto, a gestão eficiente dos recursos florestais ainda representa um grande desafio governamental (Brancaion et al., 2018). Dentre as estratégias voltadas à promoção do uso sustentável da floresta, destaca-se o Manejo Florestal Sustentável (MFS), que visa gerenciar o recurso florestal e minimização dos impactos causados pela exploração madeireira, por meio da adoção de práticas que assegurem a conservação dos recursos durante a exploração seletiva de espécies com valor comercial (Cysneiros et al., 2017; Brancaion et al., 2018).

O MFS deve ser capaz de fornecer estimativas confiáveis e precisas do volume de madeira a ser explorado. Contudo, a elevada diversidade natural da Floresta Amazônica, caracterizada por espécies com distintas formas, tamanhos e densidades, que impõe desafios adicionais ao planejamento e à execução do manejo do florestal (Cardoso et al. 2017; Damasco et al. 2021). Essa complexidade ecológica exige maior rigor na identificação das espécies, na estimativa volumétrica e na identificação precisa das espécies a serem exploradas, esses fatores têm se constituído como um dos principais entraves para o MFS (Daly, 2007). A ausência de uma taxonomia consistente acarreta uma série de problemas, como a superexploração de espécies raras, a superestimação da abundância de populações comerciais e a vulnerabilidade nas transações comerciais de produtos florestais (Gauí, 2013), tornando o manejo uma atividade que demanda constante aprimoramento técnico.

Estima-se que cerca de 40% da madeira serrada comercializada nas regiões tropicais tenha origem em florestas naturais (Brancalion et al., 2018). O Brasil, nesse contexto, destaca-se como um dos principais produtores de madeira tropical em tora do mundo, respondendo por aproximadamente 81 milhões de metros cúbicos ao ano, que representa 48% da produção global (Lima et al., 2019; Ferreira da Silva et al., 2020).

Contudo, estudos recentes indicam que a manutenção da produção de madeira tropical, em longo prazo, dependerá de alterações estruturais, como: i) a substituição de espécies atualmente exploradas por espécies de menor densidade (Reis et al., 2010); ii) a ampliação do número de espécies aceitas pelo mercado, a fim de reduzir a pressão sobre grupos específicos (Piponiot et al., 2019); e iii) o fortalecimento da fiscalização e do monitoramento por meio de dados mais precisos provenientes do sistema DOF/IBAMA (Câmara et al., 2023).

Além do que a escassez e a inconsistência dos dados disponíveis sobre o setor florestal dificultam a elaboração de diagnósticos confiáveis e, conseqüentemente, a formulação de políticas públicas efetivas (Hummel, 2001; Cardoso et al. 2017; Câmara et al., 2023). Como é observado em toda Amazônia, onde se notasse a ausência de transparência no que tange às informações sobre as principais espécies florestais licenciadas e os volumes explorados ao longo do tempo. Essa falta de dados compromete o controle e o acompanhamento da exploração florestal, dificultando a gestão e controle eficiente dos recursos em uma perspectiva de longo prazo, assim dando efetividade ao MFS.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivos específicos: i) determinar a variação temporal e espacial dos locais de exploração, o volume de madeira em tora autorizado e efetivamente explorado no Acre entre 2009 e 2023; ii) avaliar a seletividade da exploração florestal, identificando as espécies mais exploradas e determinando sua intensidade de exploração no Estado; e iii) identificar locais de origem e destino da madeira em tora.

Os resultados permitirão identificar padrões na volumetria de espécies exploradas, nos percursos de transporte e na intensidade de corte nos planos de manejo florestal, fornecendo dados estratégicos para:

- Aprimorar o monitoramento da exploração madeireira, com base em tendências espaciais; e
- Direcionar a fiscalização de espécies sob maior pressão de corte.

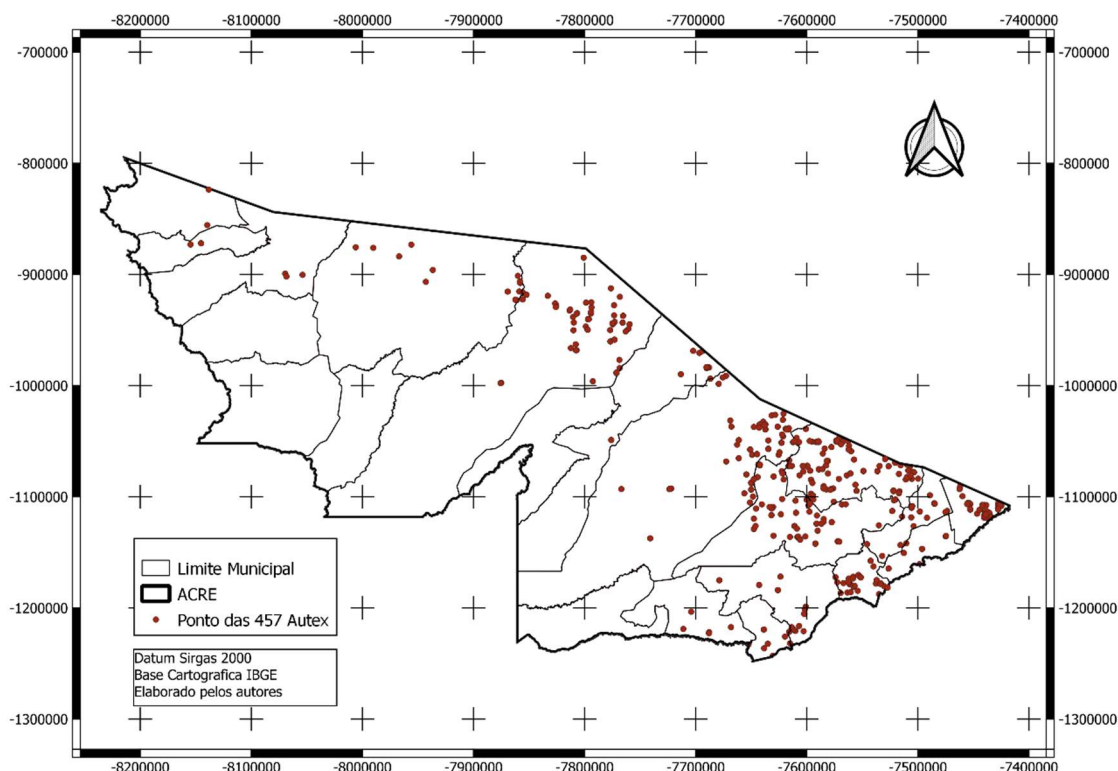
Material e Métodos

O estudo foi realizado no estado do Acre, situado no sudoeste da Amazônia. Com uma área de 164.221,36 km² (16.422.136 ha) distribuída entre 22 municípios, o Acre está localizado entre as latitudes 7°7'S e 11°8'S e as longitudes 66°30'W e 74°0'W (IBGE, 2023). Essa extensão territorial compreende 445 km no sentido norte-sul e 809 km entre os extremos leste-oeste. A cobertura florestal do Estado corresponde a Floresta Ombrófila Aberta e Densa que se divide em 18 tipologias florestais (ACRE, 2010) e com uma área basal média que varia de 15,23 a 27 m² ha⁻¹ (Funtac, 1990; Oliveira; Ribas; Oliveira, 2005; D'oliveira; Braz, 2006).

Origem dos dados, consolidação e variáveis de análise

Os dados utilizados neste estudo correspondem a uma fonte de dados: Autorização de Exploração Florestal (AUTEX) obtidas a partir do Dados Abertos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA,2025), foram obtidas informações sobre o as espécies e o volume autorizado para exploração no estado do Acre entre os anos de 2009-2023. A segunda parte de dados são do Dados Abertos (IBAMA,2025), utilizados para determinar o real volume transportado de madeira em tora para cada Autex considerada.

Figura 1 – Ponto das Autex do estudo



Fonte: Os autores

A análise foi realizada sobre dados de volume de madeira comercial autorizado (em m³) e volume transportado de madeira em tora, extraídos de planos de manejo florestal sustentável (PMFS) autorizados, em florestas públicas e privadas no Acre, no período de 2009 a 2023. Sendo organizados conforme o Quadro 1.

Para uma melhor visualização e análise dos dados foi dividido em três quinquênios: (2009-2013), (2014-2018) e (2019-2023), para avaliar se houve mudanças na variação espacial.

Quadro 1 - Variáveis consideradas para análise dos dados de transporte de madeira em tora.

	Nome da Variável	Descrição
Intensidade de Exploração	AnoAUTEX	Ano de emissão da AUTEX.
	Num_Serie_AUTEX	Número de identificação do documento de autorização (AUTEX).
	Nom Popular	Nome popular da espécie registrada na AUTEX.
	Nom-Científico	Nome científico da espécie florestal.
	Sp Corrigido	Nome científico corrigido e/ou agrupado.
	Codigospp.	Código da espécie (três primeiras letras do gênero e epíteto).
	VolAutoriz_m3	Volume de madeira autorizado via AUTEX.
	VolTransp_m3	Volume de madeira transportado registrado no DOF.
	Intensidade de exploração	Percentual do volume transportado em relação ao autorizado.
Transporte	Munic_Origem	Município de origem da Unidade de Produção Anual (UPA).
	Munic_Destino	Município de destino das toras transportadas.
	Lat_Origem	Latitude de origem da UPA.
	Lon_Origem	Longitude de origem da UPA.
	VolTransp_m3	Volume transportado registrado no DOF.

Fonte: Os autores

A variável “Codigospp.” foi elaborada com o propósito de agrupar espécies com mesmo gênero e que apareciam tanto no DOF como na Autex, mas que correspondiam a sinônimo botânico ou a nomenclatura científica das espécies florestais registradas, agregando gêneros com elevada diversidade específica e corrigindo divergências nos epítetos, bem como substituindo sinônimos utilizados nos documentos oficiais por denominações taxonomicamente aceitas.

No Quadro 2, exemplificou o que foi feito para padronização conforme a nomenclatura vigente na literatura científica especializada.

Quadro 2 - Modelo exemplo de agrupamento das espécies no estudo.

SpCorrigido	Codigospp.	Espécies registradas na Autex e DOF???	Nome vulgar
-------------	------------	--	-------------

<i>Dipteryx spp.</i>	DIPODO	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms.; <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.; <i>Dipteryx polyphylla</i> Huber.; <i>Dipteryx ferrea</i>	Cumaru-ferro
<i>Apuleia leiocarpa</i>	APULEI	<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Benth.; <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr; <i>Apuleia</i> sp.	Garapeira
<i>Ceiba spp.</i>	CEIPEN	<i>Ceiba petandra</i> (L.) Gaertn.; <i>Ceiba samauma</i> K. Schum.; <i>Ceiba sellowiana</i> ; <i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) Gibbs e Semir	Samaúma
<i>Eschweilera spp.</i>	ESCSPP.	<i>Eschweilera compressa</i> (Vell.) Miers; <i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith; <i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers.; <i>Eschweilera amazonica</i> ; <i>Eschweilera coriacea</i> (DC) S. A. Mori; <i>Eschweilera odora</i> (Poepp. Ex O. Berg) Miers; <i>Eschweilera juruensis</i> ; <i>Eschweilera</i> sp.	Matamatá

Fonte: Os autores.

Adicionalmente, identificou-se a presença, nos documentos analisados, de espécies que de acordo com a bibliografia consultada (REFLORA, 2025), não ocorrem na região de estudo ou não são consideradas espécies madeireiras.

A variável “VolTransp_m3” refere-se ao volume de madeira, em metros cúbicos, efetivamente transportado com base nas AUTEX. O registro dessa variável será realizado por meio do DOF. Dessa forma, o volume total transportado por espécie foi obtido por meio do somatório dos valores registrados em “VolTransp_m3”.

Cabe ressaltar que, em diversas situações, o volume de madeira autorizado por uma AUTEX não é integralmente transportado no mesmo ano de sua emissão. Observou-se, portanto, que o transporte da madeira em tora pode se estender por até dois anos subsequentes à emissão da autorização inicial.

O pré-processamento dos dados foi realizado no software Microsoft Excel, abrangendo etapas fundamentais para a organização e estruturação da base de dados. Foram efetuadas a exclusão de registros duplicados ou incompletos, o agrupamento das espécies com nomenclatura corrigida e a realização de análises descritivas, considerando os volumes autorizados e transportados por espécie e por ano, com foco em variáveis relacionadas à eficiência e ao rendimento da exploração florestal.

Variação espacial da exploração florestal

As informações sobre as Unidades de Produção Anual (UPAs), incluindo sua localização geográfica, foram organizadas em três períodos distintos; (2009–2012), (2013–2018) e (2019–2023), de modo a refletir alterações normativas e operacionais ao longo do tempo. Com base nesses dados, foram elaborados mapas de distribuição espacial utilizando

a técnica de Estimativa de Densidade por Kernel, que permite identificar áreas com maior concentração de exploração madeireira e visualizar a evolução dos focos de atividade.

As análises foram realizadas no software QGIS, com parâmetros calibrados de largura de banda (bandwidth) para assegurar a precisão na representação da densidade espacial.

Seletividade e intensidade de exploração das espécies

Para identificar e agrupar as espécies florestais conforme sua relevância no volume total de madeira em tora transportado, foi adotado o princípio de Pareto (Regra 80/20). Tal abordagem permitiu identificar os 20% de espécies que, em conjunto, respondem por aproximadamente 80% do volume total transportado.

A análise considerou os dados de transporte de toras provenientes de 142 espécies exploradas em diferentes (UPAs), no período de 2009 a 2023 no estado do Acre. Inicialmente, os dados foram organizados por espécie (variável SPCODE), e o volume total transportado foi somado para cada uma delas. Em seguida, as espécies foram ordenadas em ordem decrescente de volume transportado e calculou-se o percentual acumulado de participação de cada espécie em relação ao total geral.

Com base no percentual acumulado, as espécies foram classificadas em três categorias de importância comercial:

Grupo A: espécies que, juntas, compõem aproximadamente os primeiros 80% do volume total transportado. Neste caso, considerou-se essas espécies como as de maior importância operacional e estratégica para manejo florestal.

Grupo B: espécies responsáveis pelos 15% seguintes do volume acumulado (até atingir 95%), classificadas como de importância intermediária.

Grupo C: espécies restantes, que contribuem com os últimos 5% ou menos do volume total transportado, caracterizadas por baixa representatividade comercial no período analisado.

A aplicação desse critério permitiu uma segmentação prática das espécies, útil para fins de priorização de manejo e análises de eficiência na emissão e uso de autorizações de exploração florestal (AUTEX).

A Intensidade de Exploração (IE) foi calculada para expressar a razão percentual entre o volume de madeira efetivamente explorado (transportado) e o volume estimado de

corte para cada espécie, conforme a metodologia descrita por Almeida et al. (2021). A intensidade de exploração (IE) foi calculada por meio da Equação 1:

$$IE = \frac{VolTransp_m3}{VolAutoriz_m3} \cdot 100$$

em que:

VolTransp_m3= Volume declarado para transporte no sistema DOF. Esse volume corresponde ao Volume Efetivamente Explorado baseado em cubagem rigorosa;

VolAutoriz_m3=Volume autorizado conforme AUTEX. Esse volume equivale ao Volume Estimado de Corte correspondente ao volume das árvores ainda em pé proveniente do Inventário Florestal 100%.

Essa métrica possibilitou a identificação das espécies com maior aproveitamento da volumetria autorizada, permitindo análises comparativas do desempenho da exploração entre diferentes espécies.

Com base nos valores obtidos, as espécies foram organizadas em classes de intensidade, definidas em intervalos de 20%, no Quadro 3, com o intuito de facilitar a interpretação e a categorização dos dados. A adoção desses intervalos permitiu uma análise estruturada, evidenciando gradualmente os níveis de aproveitamento da exploração.

Quadro 3 – Classificação das faixas de intensidade de exploração de corte (IE)

Faixa de Intensidade (%)	Descrição
0 a < 20	Baixa intensidade
20 a < 40	Intensidade moderadamente baixa
40 a < 60	Intensidade intermediária
60 a < 80	Intensidade moderadamente alta
> 80%	Alta intensidade

Fonte: Os autores

Essa categorização contribuiu para uma análise clara da distribuição das intensidades entre as espécies, permitindo a identificação de padrões e eventuais gargalos no processo de exploração e transporte da madeira.

Análise estatística e solução analítica

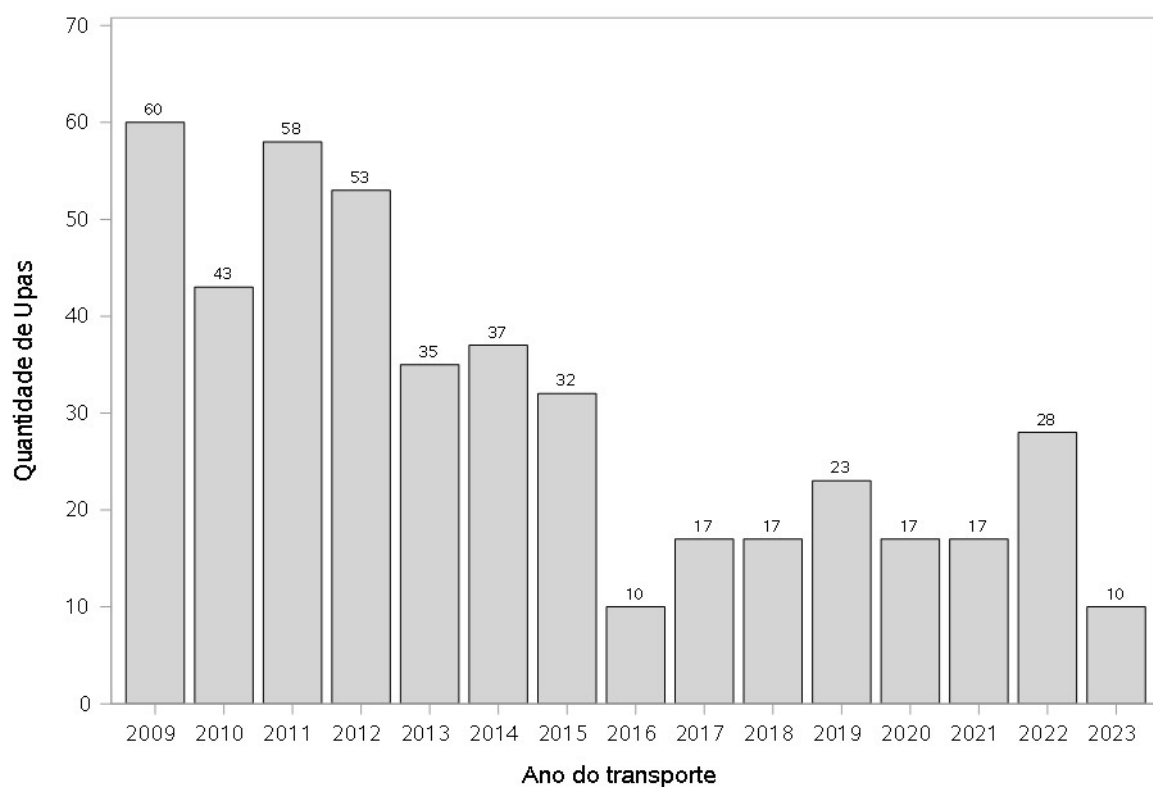
A análise exploratória e estatística dos dados foi conduzida no SAS Studio On Demand for Academics versão 9.4 (Sas Institute Inc.,2012), utilizando-se os procedimentos estatísticos PROC MEANS e PROC UNIVARIATE para a obtenção de medidas descritivas e distribuição dos dados. A classificação das espécies foi implementada no PROC SQL, com base na proporção acumulada de cada espécie.

Para os testes de hipótese, considerou-se o nível de significância de 0,05.

Resultados e Discussão

Conforme ilustrado na Figura 2, foram avaliadas 457 AUTEX. Os anos com maior número de explorações foram 2009, 2011 e 2012, com 60, 58 e 53 autorizações, respectivamente. Por outro lado, os anos com menor número de emissões foram 2016 e 2023, ambos com apenas 10 autorizações exploradas. Ademais observa-se que durante o período avaliado, o transporte de madeira em tora no Acre ocorreu em 98,5% em até dois anos decorridos da emissão da AUTEX sendo que apenas 8 UPAs o transporte ocorreu até 3 anos da emissão da AUTEX.

Figura 2 Evolução do número de Autex exploradas por ano no estado do Acre

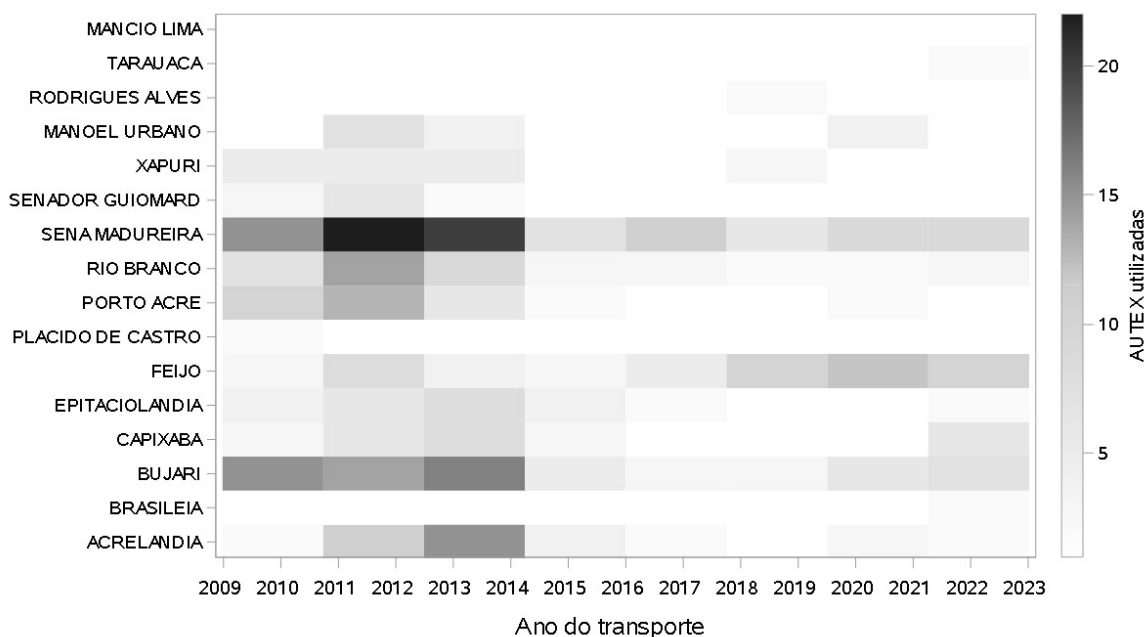


Fonte: Os autores

A Figura 3 mostra que o município com maior número de UPAs exploradas foi Sena Madureira que destacou-se com intensa atividade madeireira, especialmente entre 2011 e 2014. Bujari apresentou relevância entre 2009 e 2012 mantendo uma constância no período, e Rio Branco entre 2018 e 2020. Municípios como Feijó tiveram atividades mais relevantes, notadamente nos anos de 2018 e 2023, enquanto Mâncio Lima, Rodrigues Alves e Manoel Urbano registraram baixa intensidade ao longo do período analisado. Esses resultados

indicam a necessidade de estratégias locais diferenciadas para monitoramento e gestão florestal no Estado.

Figura 3- Evolução da representação dos municípios conforme importância de número de Autex (UPAs) autorizadas no estado do Acre.

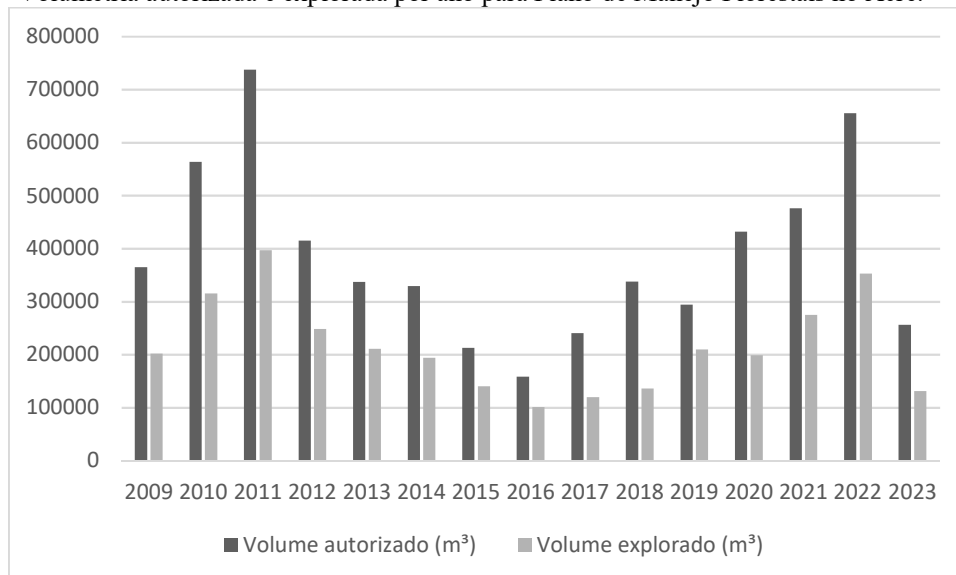


Fonte: Os autores

Conforme demonstrado na Figura 4, o volume anual de madeira em tora autorizado e efetivamente explorado apresentou crescimento entre 2009 e 2011, alcançando 737.601 m³ autorizados e 397.510 m³ explorados em 2011. A partir desse ano, observou-se uma redução significativa até 2016, quando foram registrados apenas 158.572 m³ autorizados e 101.024 m³ explorados, que representa uma queda de 78,5% no volume autorizado e 74,5% no volume explorado em relação ao pico de 2011. Em seguida, os volumes voltaram a crescer, atingindo em 2022 um total de 665.576 m³ autorizados e 352.723 m³ explorados. No entanto, em 2023 houve nova queda acentuada, com 256.160 m³ autorizados e 131.340 m³ efetivamente explorados. No acumulado do período analisado, o estado do Acre totalizou 5.810.595 m³ de madeira autorizada para exploração e 3.232.424 m³ efetivamente explorados em Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Esse comportamento temporal é compatível com a consolidação de PMFS e de instrumentos de fomento no início da série, quando cadeias curtas entre áreas de corte e polos industriais reduziram custos de transporte e favoreceram a execução (SFB, 2018; Hummel et al., 2010); a combinação de choque macroeconômico e aperto regulatório entre 2012 e 2016, recessão nacional, revisão

de procedimentos após o novo Código Florestal (2012) e maior escrutínio sobre créditos e rastreabilidade (BRANCALION et al., 2018).

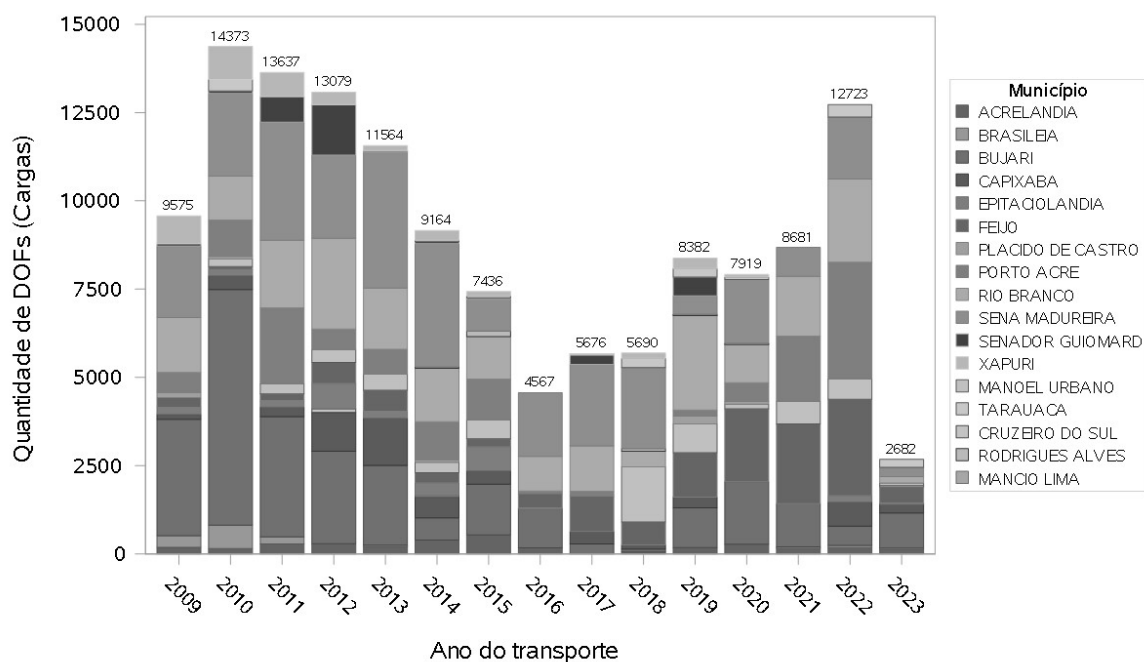
Figura 4- Volumetria autorizada e explorada por ano para Plano de Manejo Florestais no Acre.



Fonte: Os autores

A Figura 4 ilustra a evolução anual da quantidade de DOFs emitidos para o transporte de madeira no estado do Acre, segmentada por município de origem. Observa-se um pico de atividade no período de 2010 a 2012, com destaque para o ano de 2010, que registrou 14.373 cargas emitidas, seguido por declínio contínuo até 2016, atingindo o mínimo de 4.567 cargas. A partir de 2017, verifica-se uma retomada gradual, culminando em um segundo pico em 2022 (12.723 cargas), antes de nova queda em 2023 (2.682 cargas). Os municípios de Rio Branco, Bujari, Feijó e Sena Madureira concentram os maiores volumes de emissão ao longo de todo o período, com variações marcadas entre os anos.

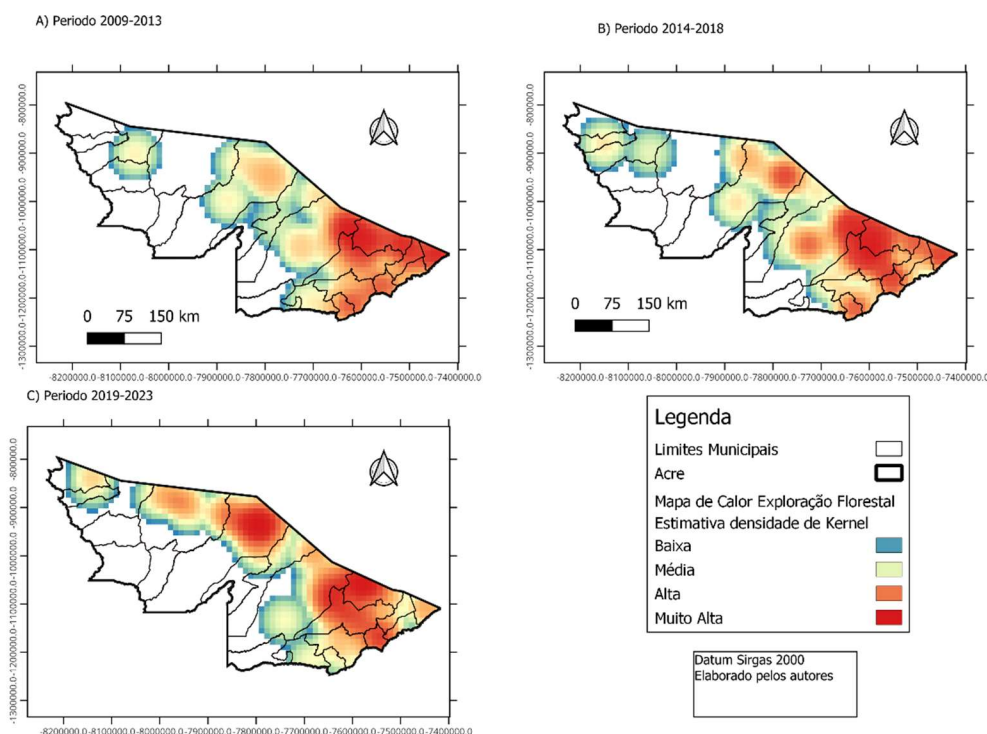
Figura 5 - Números de cargas e destino no Acre



Fonte: Os autores

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial da atividade florestal no Acre, com base na localização dos registros de AUTEX ao longo de três períodos distintos: 2009–2013, 2014–2018 e 2019–2023. No primeiro período (A), a atividade estava concentrada nos setores sudeste e central do estado, especialmente nos entornos de Alto Acre e Baixo Acre. No segundo período (B), observou-se dispersão da atividade para áreas do centro-oeste e sudoeste, rumo ao Purus, indicando uma diversificação das frentes de exploração. No terceiro período (C), nota-se uma concentração mais nítida no centro-norte do Estado, região dos municípios de Feijó e Tarauacá apresentando uma mudança de foco espacial, relacionada à exaustão de áreas anteriormente exploradas ou a novas autorizações em regiões menos acessadas. E mostrando que Silva (2022), afirmava que para obtenção de lucro o empreendimento florestal no Acre deveria estar a menos 125 km da sua matéria prima e corroborando com a análise conduzida pelo IMAFLORA evidenciou que mais de 80% da produção madeireira encontra-se atualmente concentrada na região central da Amazônia, fenômeno associado ao esgotamento progressivo da oferta de matéria-prima nas fronteiras tradicionais de exploração (Lentini et al., 2019).

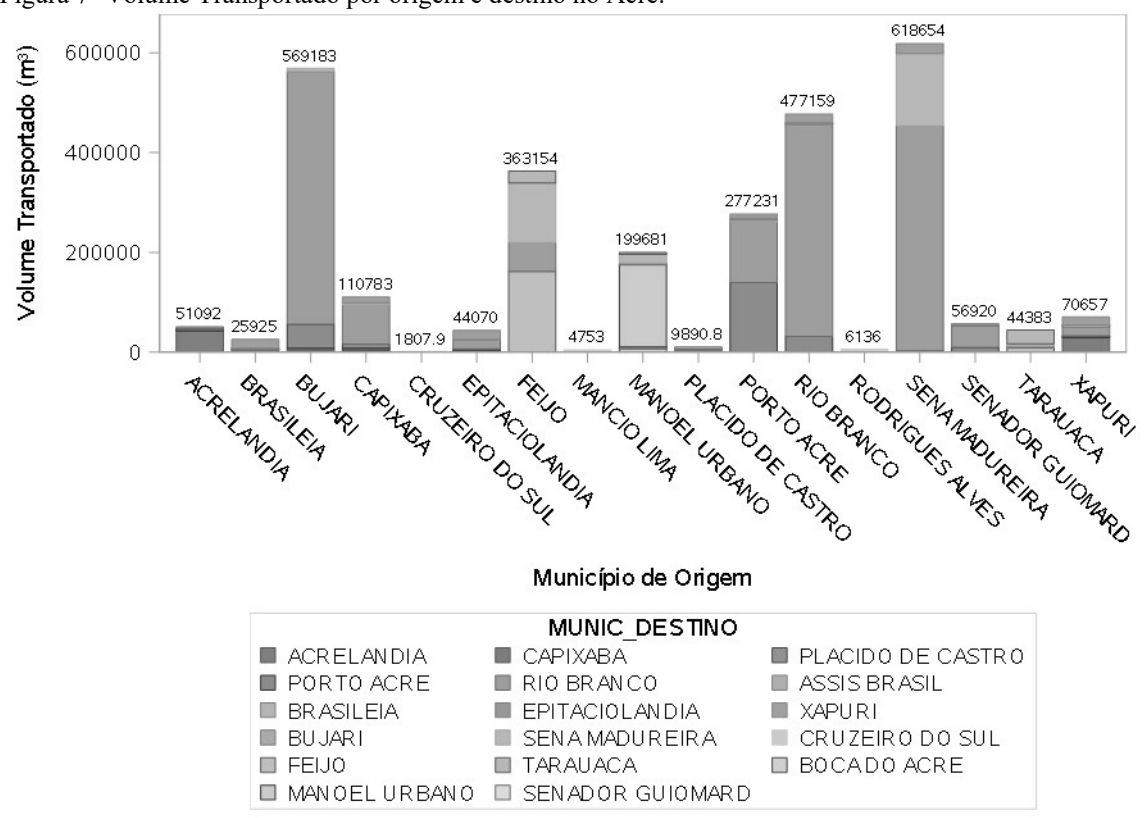
Figura 6 - Mapa de Calor das Autex no estado do Acre no período.



Fonte: Os autores

A Figura 7 apresenta o volume total de madeira transportado (em m³) entre os municípios do Acre ao longo do período estudado. Destaca-se Sena Madureira como principal município de origem, com mais de 618 mil m³ explorados, seguido por Bujari (519 mil m³), Rio Branco (477 mil m³) e Feijó (363 mil m³). Quanto aos destinos, observa-se forte concentração em Rio Branco, Sena Madureira, Porto Acre e Feijó, que funcionam como polos logísticos regionais. A predominância de fluxos unidirecionais entre pares específicos sugere padrões logísticos estruturados e possível centralização do processamento industrial da madeira em determinados municípios.

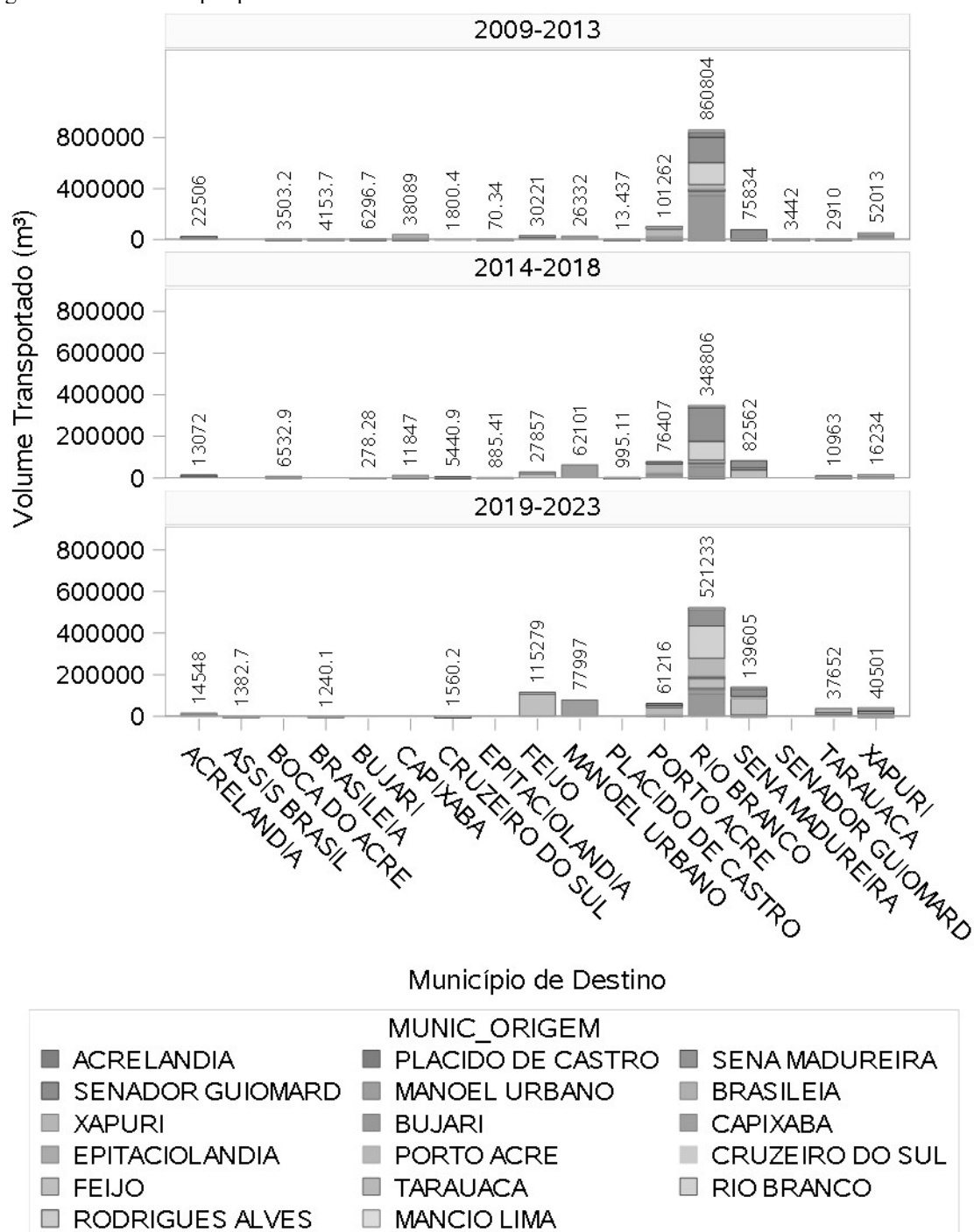
Figura 7- Volume Transportado por origem e destino no Acre.



Fonte: Os autores.

A Figura 8 apresenta a evolução dos fluxos de madeira transportada (em m³) entre os municípios do Acre, discriminados por período quinquenal (2009–2013, 2014–2018 e 2019–2023), sendo que os fluxos de madeira transportada no Acre variaram significativamente entre os períodos analisados. No intervalo 2009–2013, os principais destinos foram Rio Branco (869.604 m³), Porto Acre (101.262 m³) e Sena Madureira (75.834 m³), destacando a capital estadual como o principal polo receptor. No período seguinte (2014–2018), houve redução geral do volume, mantendo-se a liderança de Rio Branco (348.806 m³), seguido por Sena Madureira (82.562 m³) e Porto Acre (76.407 m³) e pelo surgimento de Manoel Urbano (62.101 m³) entre os destinos principais. No período recente (2019–2023), continuando em primeiro lugar Rio Branco (548.905 m³), seguido por Sena Madureira (139.605 m³) e agora por Feijó (115.279 m³). Essa mudança indica uma reorganização da logística regional, com descentralização parcial das atividades madeireiras. Vem corroborando com Silva (2015), que afirma que o máximo que uma indústria tem que estar do local é de 282 km, no Acre, sendo pouquíssimas viagens registradas nos períodos.

Figura 8 – Volumetria por períodos conforme o destino das toras no Acre



Fonte: Os autores

A análise da volumetria das espécies florestais exploradas no período em estudo revelou uma forte concentração em poucas espécies, demonstrado pela aplicação da metodologia de Pareto conforme na Tabela 1. Das 142 espécies registradas, apenas 16 espécies (11,3%) foram responsáveis por 78,9% do volume total explorado, caracterizando

o chamado Grupo A. Assim a indústria madeireira regional mantém elevado grau de seletividade, direcionando sua produção majoritariamente para um conjunto restrito de apenas 20 espécies (Andrade et al., 2022). Este grupo é composto pelas seguintes espécies: *Dipteryx spp.*, *Apuleia leiocarpa*, *Ceiba spp.*, *Couratari spp.*, *Hymenaea spp.*, *Eschweilera spp.*, *Copaifera spp.*, *Hura crepitans*, *Parkia spp.*, *Cedrela odorata*, *Brosimum spp.*, *Amburana acreana*, *Clarisia racemosa*, *Phyllocarpus riedelii*, *Castilla ulei* e *Manilkara spp.*. Podendo salientar a existência de grandes inconsistências como os casos de exploração de *Mauritia flexuosa* uma palmeira, *Tamarinus indica* árvore do continente asiático e *Lantana camara* um arbusto, denotando falha do técnico responsável e do órgão licenciador.

Destacam-se as espécies *Dipteryx odorata* (512.047,2 m³; 17,6%), *Apuleia leiocarpa* (350.904,7 m³; 12,1%) e *Ceiba pentandra* (285.415,7 m³; 9,8%), que juntas correspondem a quase 40% do total explorado. Essa concentração em poucas espécies demonstra elevada seletividade na exploração florestal, padrão que se assemelha aos ciclos econômicos anteriores identificados por Higuchi et al. (1994) e Silva et al. (2015), os quais também indicavam a predominância de táxons de alto valor comercial.

As demais espécies foram organizadas em dois outros grupos conforme sua representatividade: o Grupo B incluiu 20 espécies, totalizando 16,0% do volume, e o Grupo C, mais diversificado, agregou 106 espécies, representando apenas 5,1% do volume total explorado. Este padrão ressalta uma alta seletividade na exploração florestal e aponta a necessidade de estratégias para ampliar a diversidade explorada.

Tabela 1 - Grupo A de espécie no Acre por Pareto.

Espécies	Volume	Porcentagem	Porcentagem Acumulada
Grupo A	(m ³)	(%)	(%)
<i>Dipteryx spp.</i>	512.047,2	17,6	17,6
<i>Apuleia leiocarpa</i>	350.904,7	12,1	29,7
<i>Ceiba spp.</i>	285.415,7	9,8	39,5
<i>Couratari spp.</i>	150.931,4	5,2	44,7
<i>Hymenaea spp.</i>	128.152,7	4,4	49,1
<i>Eschweilera spp.</i>	107.977,0	3,7	52,8
<i>Copaifera spp.</i>	99.289,4	3,4	56,3
<i>Hura crepitans</i>	94.022,9	3,2	59,5
<i>Parkia spp.</i>	82.251,7	2,8	62,3
<i>Cedrela odorata</i>	79.198,4	2,7	65,1
<i>Brosimum spp.</i>	76.658,6	2,6	67,7
<i>Amburana acreana</i>	74.106,3	2,6	70,2
<i>Clarisia racemosa</i>	69.285,6	2,4	72,6
<i>Phyllocarpus riedelii</i>	63.563,5	2,2	74,8

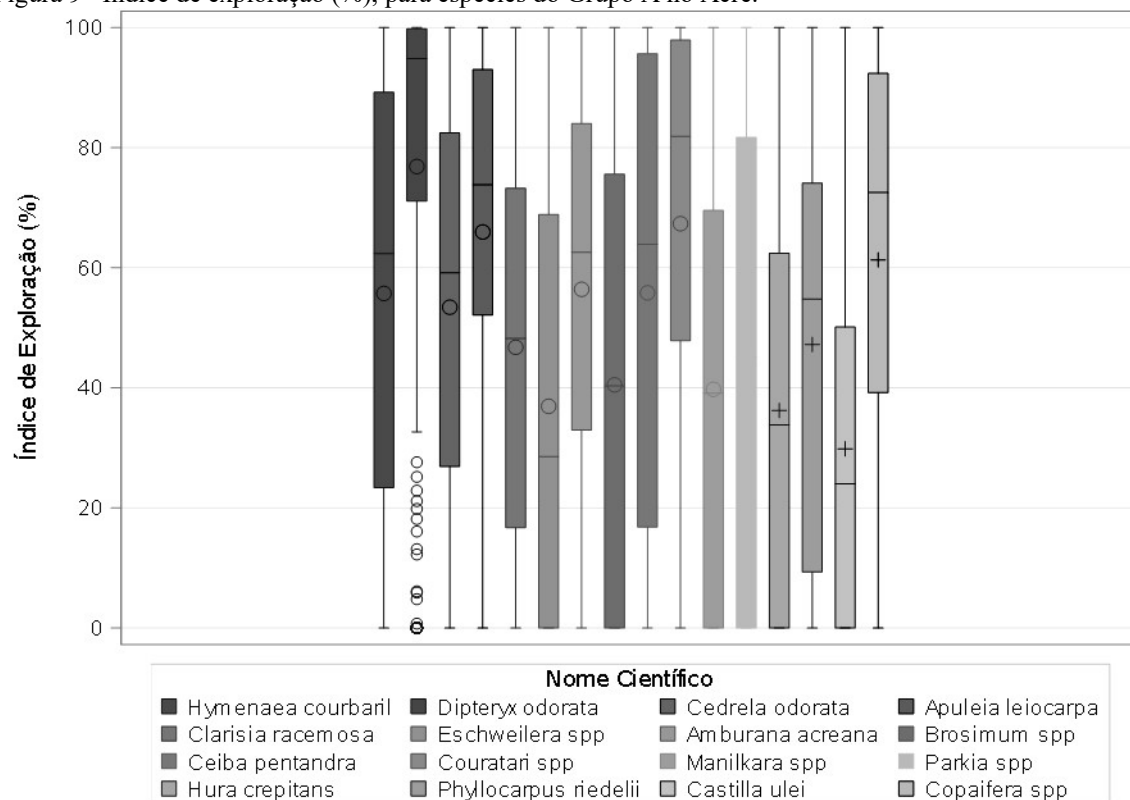
<i>Castilla ulei</i>	61.922,8	2,1	76,9
<i>Manilkara spp.</i>	57.029,8	2,0	78,9
Grupo B (20 espécies)	465.490,8	16,0	94,9
Grupo (C 106 espécies)	147.198,5	5,1	100,0

Fonte: Os autores

Comparativamente aos dados históricos apresentados por Araújo (2014), verifica-se uma significativa alteração nas espécies exploradas entre os anos de 1990 e 2007. *Dipteryx spp.* manteve-se como a espécie mais explorada desde então, refletindo uma consolidação de mercado e alta abundância natural (Araújo, Silva, 2014). No entanto, espécies como *Cedrela odorata* e *Amburana acreana* tiveram participação reduzida, enquanto *Apuleia leiocarpa* e *Ceiba spp.* aumentaram expressivamente sua participação no volume explorado como mostrado no estudo de Santos (1991) e a *Apuleia leiocarpa* vem tomando segundo lugar de 2005 como Araújo (2007) . Tais mudanças destacam o dinamismo no perfil de exploração e ressaltam uma preocupante tendência à concentração em poucas espécies.

Conforme ilustra a Figura 9, a análise da intensidade de exploração por espécie, expressa pelo Índice de Exploração (%), revelou padrões distintos entre os principais táxons do Grupo A, conforme ilustrado no boxplot da Figura 10. A mediana dos valores por espécie indicou uma tendência de maior intensidade para algumas espécies de elevado valor comercial. Observou-se que *Dipteryx spp.* e *Couratari spp.* apresentaram as maiores medianas de intensidade de exploração, situando-se consistentemente acima de 80%, sugerindo que, para esses táxons, o volume efetivamente explorado aproxima-se do volume autorizado de forma sistemática nos diferentes planos de manejo, assim corroborando com estudo de áreas privadas por Pereira (2020), onde IE médios acima de 90% foram observados em PMFS com UPA única. Já no Acre em média a IE é 62,3%, a metade do apresentado por outros estudos, o que pode se levar em conta a dificuldades de exploração, identificação incorreta nos inventários ou espécies de pouco interesse de mercado.

Figura 9– Índice de exploração (%), para espécies do Grupo A no Acre.



Fonte: Os autores

Entretanto, em contrapartida, espécies como *Hura crepitans*, *Eschweilera spp.* e *Castila ulei*, demonstraram medianas mais baixas, variando entre aproximadamente 40% e 60%, acompanhadas de amplitudes interquartis mais elevadas. Esse comportamento aponta para uma menor regularidade nos índices de aproveitamento dessas espécies, o que pode refletir limitações de mercado, baixa demanda, restrições operacionais, ou mesmo estratégias específicas de manejo adotadas para mitigar impactos sobre táxons menos abundantes. As *Hura crepitans* e *Castila ulei*, apesar de amplamente distribuída, possui madeira de baixa resistência mecânica, o que reduz seu aproveitamento industrial e resulta em maior descarte durante a exploração (Ferreira, Paraense, 2016). Já a *Eschweilera spp.* apresenta alta tortuosidade no fuste, o que dificulta a operação de corte e arraste, comprometendo a extração eficiente do volume autorizado.

Tais limitações físicas são, de fato, apontadas por diversos autores como fatores que influenciam significativamente a eficiência da exploração florestal. Estudos como o de Almeida (2018) e Buchmann (2016) mostram que a ocorrência de ocos, podridão e más condições de derruba são responsáveis por uma parcela significativa das árvores não exploradas, impactando diretamente a IE. Especificamente, árvores ocas representaram até 38% da perda de volume em florestas públicas (Almeida, 2018) e cerca de 24% das árvores autorizadas deixaram de ser exploradas devido a essas condições (Buchmann, 2016).

Pereira (2020) reforça que, embora planos de manejo em florestas privadas apresentem maior IE em média (acima de 90%), isso não pode ser automaticamente interpretado como resultado de melhor acurácia ou eficiência técnica. A presença de substituições não documentadas de árvores, ocorrência de oco e o uso de equações de volume genéricas são fatores que afetam igualmente os planos públicos e privados. Além disso, há a possibilidade de superestimação proposital dos volumes para justificar "excedentes" virtuais, prática recorrente em fraudes conhecidas como "esquentamento" de madeira (França et al. 2023; Brancalion et al., 2018; Richardson, Peres, 2016), assim tendo que tomar cuidado especial no estado do Acre com as espécies *Dipteryx spp.*, *Apuleia spp.*, *Copaifera spp.* e *Couratari spp.*

Portanto, os resultados indicam que espécies como *Hura crepitans*, *Eschweilera spp.* e *Castila ulei*, mesmo figurando entre as mais abundantes, não são necessariamente as mais aproveitadas comercialmente, o que afeta negativamente sua IE. Esse fato chama atenção para a importância de considerar atributos ecológicos e comerciais das espécies no planejamento do manejo, para que a estimativa de volume seja mais precisa e o aproveitamento mais eficiente.

Conclusão

O MFS no observou-se uma tendência de deslocamento geográfico das atividades de manejo, inicialmente concentradas nos municípios de Bujari, Sena Madureira e Rio Branco, com posterior expansão para as regiões de Feijó e Tarauacá, refletindo mudanças nos polos de exploração e eventuais processos de esgotamento de áreas anteriormente manejadas.

Constatou-se uma forte concentração em um grupo reduzido de espécies: 16 táxons responderam por aproximadamente 80% do volume total transportado no período analisado sendo: *Dipteryx spp.*, *Apuleia leiocarpa*, *Ceiba spp.*, *Couratari spp.*, *Hymenaea courbaril*, *Eschweilera spp.*, *Copaifera spp.*, *Hura crepitans*, *Parkia spp.*, *Cedrela odorata*, *Brosimum*

spp., *Amburana acreana*, *Clarisia racemosa*, *Phyllocarpus riedelii*, *Castilla ulei* e *Manilkara spp.* representando 80% do explorado.

A análise IE demonstrou que há variações significativas no aproveitamento entre as espécies, com destaque para *Dipteryx spp.* e *Coarataria spp.*, que apresentaram mediana de alta intensidade de exploração acima 80% em média. Em contrapartida, espécies como *Hura crepitans*, *Eschweilera spp.* e *Castilla ulei*, apresentaram mediana de IE abaixo de 40%. Já Acre apresenta índice médio intensidade de exploração de 62,3%.

Também, foi possível identificar os principais locais de origem e destino da madeira em tora no Acre. Os municípios de Sena Madureira, Bujari, Rio Branco e Feijó concentraram os maiores volumes de origem, enquanto Rio Branco, Porto Acre, Sena Madureira e Feijó se consolidaram como os principais polos de recebimento e processamento da madeira.

Diante desses achados, recomenda-se: (i) o aprofundamento de estudos sobre os grupos taxonômicos sob maior pressão de exploração, com vistas à diversificação do uso madeireiro e à proposição de espécies alternativas; (ii) a adoção do índice de intensidade de exploração como métrica de alerta e possível indício de irregularidade, com sua integração às plataformas Sinaflor, DOF+ e sistemas estaduais; e (iii) a realização de análises de custo-benefício para explorações em áreas distantes dos polos industriais, a fim de orientar decisões técnicas e políticas para o manejo florestal sustentável na Amazônia..

Referências Bibliográficas

ANDRADE, M. B. T.; ZENID, G. J.; LENTINI, M. W.; SANTOS, H.; NUNES, F.; COSTA, J. N. Espécies madeireiras nativas menos comercializadas: uma oportunidade para produção e conservação na Amazônia brasileira. **Boletim Técnico Timberflow**, n. 9. Piracicaba: Imaflora, set. 2022. 19 p.

Araújo, H. J. B.. **Diagnóstico das indústrias de serraria do Estado do Acre**. Rio Branco, AC:FUNTAC. 1991,238 p.

ARAÚJO, H. J. B.; SILVA, Y. F. Restauração de florestas acreanas exploradas seletivamente. In: **Conferência da Terra – Planeta Vivo, 2016**. Anais [...]. Rio Branco: Embrapa Acre, 2016.

ALMEIDA, B. R. S, et al. Índices de Produtividade do Corte De Árvores em Uma Área de Manejo Florestal Comunitário na Amazônia Brasileira. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1271-1278, 2021.

BRANCALION, P. H. S.; DE ALMEIDA, D. R. A.; VIDAL, E.; MOLIN, P. G.; SONTAG, V. E.; SOUZA, S. E. X. F.; SCHULZE, M. D. Fake legal logging in the Brazilian Amazon. **Science Advances**, v. 4, n. 8, p. eaat1192, 2018

- BUCHMANN, H. M. **Exploração florestal e seus impactos em áreas de primeiro e segundo ciclo de corte do manejo florestal na Amazônia oriental, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2016.
- CARDOSO, D.; SÄRKINEN, T.; ALEXANDER, S.; AMORIM, A.M.; BITTRICH, V.; CELIS, M.. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. **Ecology** v. 114, p. 10695–10700, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1706756114>. Acesso em: 22 maio 2025.
- CYSNEIROS, V. C. et al. Cluster and discriminant analyses for stem volume modelling of tree species groups in an Amazon rainforest. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 29, n. 3, p. 325–333, 2017. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/44272910>. Acesso em: 22 maio 2025.
- COSTA, V. O. B.; KOEHLER, H. S.; ROBERT, R. C. G.. Characterization of technical and legal irregularities in management plans in the Brazilian Amazon. **Trees, Forests and People**, v. 16, p. 100548, 2024.
- COSTA, V. O. B., FERNANDES, M. S., SANTOS, F. G., KOEHLER, H. S., & ROBERT, R. C. G.. An approach to timber monitoring in the Brazilian Amazon through transport elements. **Southern Forests: A Journal of Forest Science**, 1–10.2025. <https://doi.org/10.2989/20702620.2024.2385810>
- DALY, D. C. The local branch: Toward better management of production forests in Amazonia. **Public Garden**, v. 22, n. 2, p. 12-15, 2007.
- DAMASCO, G. et al. Revisiting the hyperdominance of Neotropical tree species under a taxonomic, functional and evolutionary perspective. **Scientific Reports**, v. 11, p. 1–11, 2021.
- DA SILVA, E. A. **Tecnologia e geoinformação: conceitos, técnicas e aplicações**. Ed. UnB, 2017
- D'OLIVEIRA, Marcus Vinicio Neves; BRAZ, Evaldo Muñoz. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 177–182, 2006. DOI: 10.1590/S0044-59672006000200007
- D'OLIVEIRA, Marcus Vinicio Neves; RIBAS, Luciano Arruda; OLIVEIRA, Luís Cláudio. **Estudo da dinâmica de florestas manejadas e não manejadas para a produção sustentada de madeira na Floresta Estadual do Antimary no estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. 76 p.
- FERRANTE, L.; ANDRADE, M. B. T.; FEARNSIDE, P. M. Land grabbing on Brazil's Highway BR-319 as a spearhead for Amazonian deforestation. **Land Use Policy**, v. 108, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105559>.
- FERREIRA, J. E. DA S.; PARAENSE, V. DE C. Controle de qualidade no processo de derruba em área de manejo florestal comunitário no projeto de desenvolvimento sustentável virola jatobá, Anapu – PA. Autores e infomación del artículo. **Observatorio de la economía Latinoamericana**, n. 224, 2016.
- FRANÇA, C. S. S.; PERSSON, U. M.; CARVALHO, T.; LENTINI, M. Quantifying timber illegality risk in the Brazilian forest frontier. **Nature Sustainability**, v. 6, n. 11, p. 1485–1495, 2023

FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE - RTF-3. **Inventário Florestal e Diagnóstico da Regeneração Natural**. Rio Branco, AC, 1990.

Gauí, T. D., 2013. **Mudança na composição de espécies arbóreas em uma floresta de terra firme explorada experimentalmente há 25 anos na Amazônia central**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus – AM. 70p.

HUMMEL, A.C. et al. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e Mercados**. Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) – Belém, PA. 2010.

LENTINI, M. W.; SOBRAL, L.; PLANELLO, M.; VIEIRA, R.; CERIGNONI, F.; NUNES, F.; GUIDOTI, V. O que mudou no perfil da atividade madeireira na Amazônia nas últimas duas décadas (1998–2018)? **Boletim Técnico Timberflow**, n. 1. Piracicaba: Imaflora, jul. 2019. 9 p.

PEREIRA, D. C. P. **Produção e rendimento da exploração em florestas públicas e privadas na Amazônia Oriental**. 2020. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

PIPONIOT, C. EL AL. Can timber provision from Amazonian production forests be sustainable? **Environ. Res. Lett** 2019

REIS, L.P., ET AL., Evaluating potential timber species at the Tapajos National Forest in Para state, Brazil, 28 years after logging. **Braz. J. Forest. Res.** 30, 265–281. 2010.

RICHARDSON, V. A.; PERES, C. A. Temporal decay in timber species composition and value in amazonian logging concessions. **PLoS ONE**, 2016.

SANTOS, R. C. **Resíduos da indústria madeireira do Acre**. Rio Branco, AC: FUNTAC, 2007. 65 p..

SAS INSTITUTE INC. **SAS® Studio 9.4: OnDemand for Academics**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2012. Disponível em: <https://odamid.oda.sas.com>

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. Sistemas de Monitoramento. SFB. 2018. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/monitoramento>.

SILVA, F. A. P. R. C. e et al. Quantificação e avaliação das principais espécies florestais licenciadas no estado do Acre de 2005 a 2012. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 567–574, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.026212>.

SILVA, Z. A. G. P. G. Economic aspects of the demand for commercial Forest land in the state of Acre, Brazil. **Forest Policy and Economics**, v. 138, p. 102704, 2022

SILVA, Z. A. G. P. G. Raio econômico como um indicativo para a definição de concessões florestais: um estudo de caso no estado do Acre. **3º lugar – Categoria Profissional. In: II Prêmio Economia e Mercado Florestal**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2015.

Artigo 2: Divergências entre Volume Inventariado e Explorado na Amazônia: Subsídios ao Controle com Dados do Sinaflor *

Cristiano Corrêa da Silva^{1,3}, Thiago Augusto da Cunha²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre (UFAC), Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

²Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Ufac, Caixa postal 500, 69920-900, Rio Branco, AC, Brasil

³Autor para correspondência: cristiano.corea@gmail.com

Resumo

Este estudo avaliou 1.409 autorizações de exploração florestal (AUTEX) cadastradas no Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLORE) entre 2018 e 2024, em seis estados da Amazônia Legal. Foram analisadas divergências entre volumes autorizados e volumes efetivamente explorados, associadas a indícios de fraudes em Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Para isso, aplicou-se a métrica Desvio Percentual Volumétrico (DPV), identificando que as maiores incidências de inconsistências ocorrem nos estados de Rondônia e sul do Amazonas. A Intensidade de Exploração (IE) também foi avaliada como indicador de irregularidade, observando-se que manejos empresariais com indícios de fraude apresentaram IE média de 97,07%, significativamente superior aos demais grupos (concessões públicas: 76,34%; manejos sem indícios: 81,39%). O estudo constatou que espécies como *Manilkara spp.*, *Dinizia excelsa*, *Couratari spp.*, *Dipteryx odorata*, *Hymenaea coubaril*, *Apuleia spp.* e *Goupia glabra* concentram 41% do volume explorado, evidenciando forte seletividade na atividade madeireira. Também foi observada maior ocorrência de indícios de fraude em UPAs com volumes autorizados menores, embora essa relação seja estatisticamente fraca. Os resultados reforçam a necessidade de aprimorar as estratégias de monitoramento recomendando-se estabelecer um limite prudencial de 90% para a IE, com auditorias obrigatórias em unidades que ultrapassem esse valor.

Palavras-chave: controle florestal, manejo florestal sustentável, intensidade de exploração, espécies prioritárias, auditoria pós-exploratória.

Abstract

This study assessed 1,409 forest logging authorizations (AUTEX) registered in Brazil's National System for the Control of Forest Product Origins (SINAFLOR) from 2018 to 2024, covering six states in the Brazilian Amazon. It analyzed discrepancies between authorized and harvested timber volumes linked to potential fraud in Sustainable Forest Management Plans (PMFS). The Volumetric Percentage Deviation (DPV) metric was applied, showing that the highest inconsistency rates occurred in Rondônia and southern Amazonas. Harvesting Intensity (IE) was also evaluated as a fraud indicator: management units with fraud signs presented an average IE of 97.07%, significantly higher than public forest concessions (76.34%) and management units without signs of irregularity (81.39%). The study found that species such as *Manilkara spp.*, *Dinizia excelsa*, *Couratari spp.*, *Dipteryx odorata*, *Hymenaea coubaril*, *Apuleia spp.* and *Goupia glabra*. accounted 41% of the harvested volume, evidencing strong selectivity in timber extraction. Units with smaller authorized volumes were more likely to show signs of fraud, although the correlation was weak. These findings underscore the need to improve monitoring strategies, recommending the establishment of a prudential 90% threshold for IE, above which mandatory post-harvest audits should be conducted.

Key words: forest control, sustainable forest management, harvesting intensity, priority species, post-harvest auditing.

Introdução

A Amazônia, maior floresta tropical do mundo, destaca-se por sua incomparável biodiversidade, abrigando cerca de 16 mil espécies arbóreas (TER STEEGE et al., 2013) e desempenhando papel essencial na regulação do clima global. Entre as principais atividades econômicas da região, a produção de madeira tropical se sobressai, embora a gestão sustentável dos recursos florestais ainda represente um grande desafio (BRANCALION et al., 2018; DA SILVA et al., 2020). De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2023), o Brasil ocupa a oitava posição entre os maiores exportadores mundiais de madeira serrada tropical.

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) configura-se como uma das estratégias centrais para conciliar conservação e produção, por meio da adoção de técnicas que buscam minimizar os impactos da exploração seletiva de espécies comerciais (CYSNEIROS et al., 2017; BRANCALION et al., 2018; DOS SANTOS et al., 2020; LEÃO et al., 2021). Além de atender à crescente demanda internacional por produtos de origem legal e sustentável, o MFS ganha relevância diante de exigências mais rigorosas, como a nova legislação europeia

sobre produtos livres de desmatamento (EUDR, 2023), que impõe maior transparência na rastreabilidade e legalidade dos produtos florestais (NOGUERON et al., 2018; WALDHOFF, VIDAL, 2015).

Entretanto, estudos recentes evidenciam fragilidades nas estimativas volumétricas dos planos de manejo, em especial devido ao uso de equações genéricas e à superestimação sistemática de volumes, o que compromete a acurácia dos inventários (CARDOSO et al., 2023; CYSNEIROS et al., 2017). Apesar dos avanços normativos no controle florestal, ainda persistem mecanismos que permitem a inserção de informações inverídicas nos sistemas oficiais, o que favorece a comercialização de madeira ilegal sob a fachada de legalidade (RICHARDSON, PERES, 2016; BRANCALION et al., 2018).

A falsa declaração de volumes explorados pode resultar em excedentes artificiais de madeira “legalizada”, que são posteriormente utilizados para encobrir produtos oriundos de extração ilegal. Essa prática torna a atividade ilegal mais economicamente atrativa, ao reduzir custos de operação e ampliar o acesso a estoques de alto valor comercial (AZEVEDO-RAMOS et al., 2015; LIMA et al., 2018). Segundo Brancalion et al. (2018), o impacto da exploração ilegal na Amazônia é tão expressivo quanto o do desmatamento, exigindo políticas ambientais mais eficazes e abrangentes.

Além disso, madeira oriunda de fontes ilegais continua sendo inserida no mercado como se tivesse origem regularizada, o que representa um risco para a integridade dos sistemas de controle (BISSCHOP, 2012). Estima-se que entre 44% e 68% da madeira explorada nos principais estados produtores da Amazônia brasileira seja de origem ilegal (VALDIONES et al., 2022). Frente a esse cenário, a nova regulamentação da União Europeia proíbe a importação de produtos derivados de florestas desmatadas ou exploradas ilegalmente, intensificando a pressão por práticas sustentáveis.

Diante da relevância da governança florestal para a sustentabilidade e da urgência em aprimorar os mecanismos de combate à ilegalidade (SEN, 2020), o presente estudo tem como objetivo propor avaliar as inconsistências em plano de manejo florestal sustentável com base na divergência entre volume autorizado e volume transportado em Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) executados na Amazônia Legal entre 2018 e 2024, em seis estados da Amazônia. Apresentar as espécies mais exploradas no período na região avaliada e avaliar a Intensidade de Exploração (IE) como indicador de fraude.

Os resultados permitirão identificar padrões na volumetria de espécies exploradas, nos percursos de transporte e na intensidade de corte nos planos de manejo florestal, fornecendo dados estratégicos para:

- Direcionar a fiscalização de espécies sob maior pressão de corte.

A proposta visa contribuir para a identificação de riscos estruturais de fraude, sugerir melhorias regulatórias e apoiar a formulação de políticas públicas e boas práticas no setor madeireiro.

Material e Métodos

Origem e abrangência dos dados

Os dados analisados neste estudo compreendem registros detalhados de exploração florestal em nível individual por árvore, obtidos do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLOR). A base abrange o período de 2018 a 2024, contendo 1.403 autorizações de exploração registradas no sistema.

Os dados foram extraídos do repositório de dados abertos disponibilizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Na base de dados cada observação corresponde a uma árvore individual, contendo informações como: Estado, Ano, Número da Autex, Município, Volume autorizado para corte ($V_{autorizado}$), Volume efetivamente explorado ($V_{explorado}$) e outras variáveis.

No total, o conjunto de dados contempla 18 variáveis para um total de 1409 UPAs analisadas compreendendo 1.976.847 árvores, permitindo uma análise abrangente das operações de exploração florestal no período estudado. O Quadro 4 mostra detalhes de quantitativo.

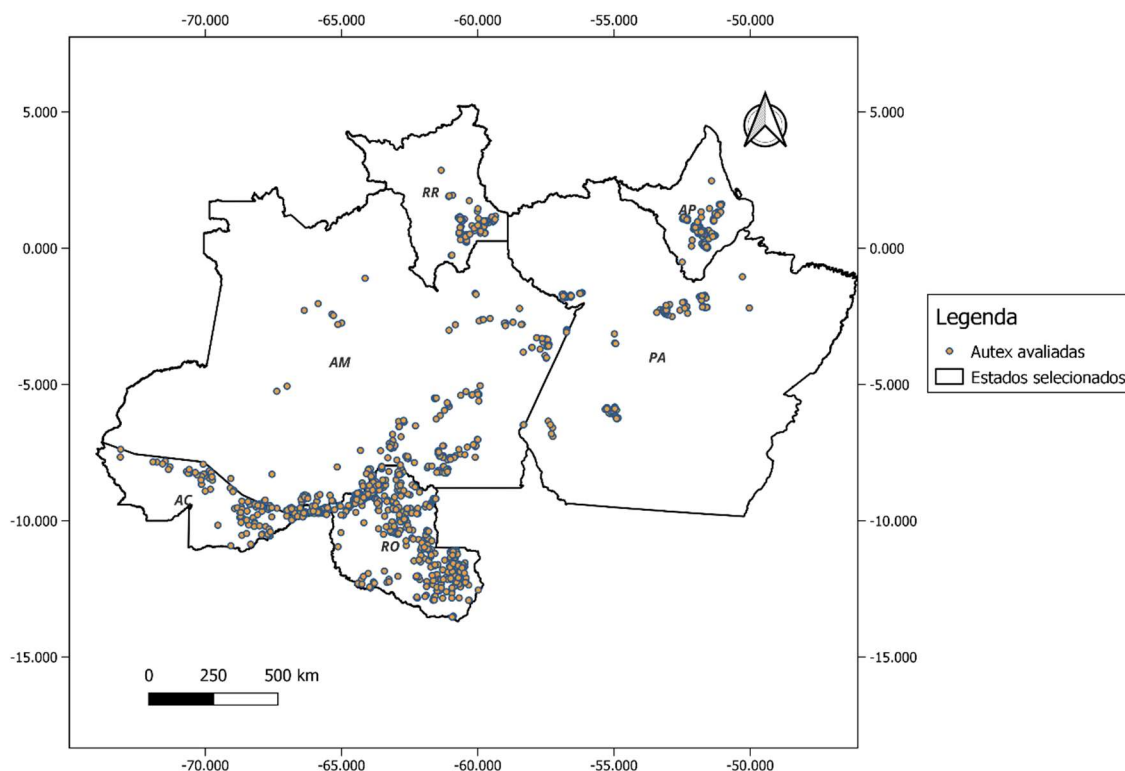
Quadro 4 - Número de Unidades de Produção Anual e árvores exploradas avaliadas no estudo.

UF	Número de UPAS	Árvores Exploradas
Acre	98	170.430
Amapá	266	107.408
Amazonas	214	430.296
Pará	116	403.493
Rondônia	634	760.979
Roraima	81	104.423
Total	1.409	1.976.847

Fonte: Os autores

Sua distribuição é detalhada na Figura 10, a qual apresenta o ponto centroide de cada UPA do estudo.

Figura 10 - Distribuição das Upas exploradas em Planos de Manejo Florestal Sustentável no período de 2018-2024 nos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima



Fonte: Os autores

Tratamento e Filtragem dos Dados

Com o objetivo de garantir consistência e reduzir a influência de registros atípicos, foram aplicados os seguintes filtros durante o pré-processamento: Exclusão de registros de árvores com volume autorizado superior a 80 m^3 , por se tratarem de valores inconsistentes com a literatura técnico-científica e padrões silviculturais médios observados na Amazônia; e exclusão de 6 UPAs cujo volume total autorizado fosse superior a 100.000 m^3 , uma vez que tais casos são considerados exceções operacionais e poderiam enviesar as análises estatísticas.

A variável “CODIGOSPP.” foi elaborada com o propósito de padronizar a nomenclatura científica das espécies florestais registradas, agregando gêneros com elevada diversidade específica e corrigindo divergências nos epítetos, bem como substituindo sinônimos utilizados nos documentos oficiais por denominações taxonomicamente aceitas.

Como exemplo, destaca-se a espécie florestal Garapeira, que figura nos registros sob duas designações científicas distintas: *Apuleia molaris* e *Apuleia leiocarpa*. Para fins de

padronização, será adotado exclusivamente o nome *Apuleia leiocarpa*, conforme a nomenclatura vigente na literatura científica especializada, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Modelo de como se juntaram as espécies e gêneros no estudo.

Grupo	CODIGOSPP	Espécies incluídas	Nome vulgar
<i>Dipteryx spp.</i>	DIPODO	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms.; <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.; <i>Dipteryx polyphylla</i> Huber.; <i>Dipteryx ferrea</i>	Cumaru-ferro
<i>Apuleia leiocarpa</i>	APULEI	<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Benth.; <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.; <i>Apuleia</i> sp.	Garapeira
<i>Ceiba spp.</i>	CEIPEN	<i>Ceiba petandra</i> (L.) Gaertn.; <i>Ceiba samauma</i> K. Schum.; <i>Ceiba sellowiana</i> ; <i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) Gibbs e Semir	Sumaúma; samaúma
<i>Hura crepitans</i>	HURCRE	<i>Hura crepitans</i> L.	Açacu
<i>Eschweilera spp.</i>	ESCSPP.	<i>Eschweilera compressa</i> (Vell.) Miers; <i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith; <i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers.; <i>Eschweilera amazonica</i> ; <i>Eschweilera coriacea</i> (DC) S. A. Mori; <i>Eschweilera odora</i> (Poepp. Ex O. Berg) Miers; <i>Eschweilera juruensis</i> ; <i>Eschweilera</i> sp.	Matamatá
<i>Jacaratia spinosa</i>	XXXXXX	<i>Jacaratia spinosa</i>	XXXXXX

Fonte: Os autores

Adicionalmente, identificou-se a presença, nos documentos analisados, de espécies que, de acordo com a bibliografia consultada, não ocorrem na região de estudo ou não são consideradas espécies madeireiras. É o caso de *Jacaratia spinosa* e *Lantana camara*, erroneamente associadas ao transporte de madeira em tora. Essas espécies, assim como outras que não se enquadram nos critérios técnicos estabelecidos, serão classificadas na variável “CODIGOSPP.” sob a denominação genérica “xxx xxx”, indicando sua exclusão da análise principal.

No que se refere à padronização de nomes populares, espécies comumente identificadas nos documentos como Abiu, Abiurana, Abiurana vermelha, entre outras variações, serão consolidadas sob o agrupamento taxonômico *Pouteria spp.*, promovendo maior consistência nos dados.

Seletividade e intensidade de exploração das espécies

Para identificar e agrupar as espécies florestais conforme sua relevância no volume total de madeira em tora transportado, foi adotado o princípio de Pareto (Regra 80/20). Tal

abordagem permitiu identificar os 20% de espécies que, em conjunto, respondem por aproximadamente 80% do volume total transportado.

A análise considerou os dados de transporte de toras provenientes das espécies exploradas em diferentes Unidades de Produção Anual (UPAs), no período de 2018 a 2024 nos estados estudados. Inicialmente, os dados foram organizados por espécie (variável SPCODE), e o volume total transportado foi somado para cada uma delas. Em seguida, as espécies foram ordenadas em ordem decrescente de volume explorado e calculou-se o percentual acumulado de participação de cada espécie em relação ao total geral.

Com base no percentual acumulado, as espécies foram classificadas em três categorias de importância comercial:

Grupo A: espécies que, juntas, compõem aproximadamente os primeiros 80% do volume total explorado. Neste caso, considerou-se essas espécies como as de maior importância operacional e estratégica para manejo florestal.

Grupo B: espécies responsáveis pelos 15% seguintes do volume acumulado (até atingir 95%), classificadas como de importância intermediária.

Grupo C: espécies restantes, que contribuem com os últimos 5% ou menos do volume total explorado, caracterizadas por baixa representatividade comercial no período analisado.

A aplicação desse critério permitiu uma segmentação prática das espécies, útil para fins de priorização de manejo e análises de eficiência na emissão e uso de autorizações de exploração florestal (AUTEX).

Divergência entre volume autorizado e explorado

Para avaliar a compatibilidade entre os dados de volume autorizado e o volume efetivamente explorado calculou-se a métrica denominada Desvio Percentual Volumétrico (DPV). O DPV expressa, para cada árvore, a divergência percentual entre o volume autorizado, a partir do inventário florestal e o volume efetivamente explorado.

A aplicação desse indicador baseia-se na premissa de que é improvável, sob condições reais de exploração, haver coincidência exata ou quase exata entre os volumes inventariado e explorado, devido a perdas operacionais e variações naturais no processo de medição.

O DPV foi calculado individualmente para cada árvore considerando a espécie botânica e a Unidade de Produção Anual à qual está vinculada, conforme a seguinte fórmula:

$$DPV_{ijk} = \left(\frac{V_{explorado_{ijk}} - V_{autorizada_{ijk}}}{V_{autorizado_{ijk}}} \right) \cdot 100$$

Em que:

DPV_{ijk} = Desvio Percentual Volumétrico calculado para a *i*-ésima UPA no *j*-ésimo ano e para o *k*-ésimo estado;

$V_{explorado_{ijk}}$ = Volume declarado para transporte no sistema Sinaflor. Esse volume corresponde ao Volume Efetivamente Explorado baseado em cubagem rigorosa;

$V_{autorizado_{ijk}}$ = Volume autorizado conforme Sinaflor. Esse volume equivale ao Volume Estimado de Corte correspondente ao volume das árvores ainda em pé proveniente do Inventário Florestal 100%.

A escolha de analisar o DPV no nível de árvore, por espécie e UPA, justifica-se pela variação natural das características dendrométricas entre espécies e pela heterogeneidade espacial das operações de manejo.

Em seguida, os valores de DPV foram classificados em faixas de limites considerados aceitáveis conforme os parâmetros técnicos definidos pelas Notas Técnicas nº 4/2024 e nº 25/2024 do SinaflorLab/Ibama, a fim de identificar autorizações (Autex) com possível materialidade de fraude, caso os percentuais de árvores por faixa ultrapassassem os limites aceitáveis conforme indicados no Quadro 6.

Quadro 6 – Faixas de tolerância para o Desvio Percentual Volumétrico (DPV) de acordo ao Sinaflor-Lab.

Categoria	Intervalo do DPV (%)	Percentual máximo aceitável de árvores na Autex
1	99,5% a 100,5%	até 11%
2	99% a 101%	até 18%
3	98% a 102%	até 23%
4	95% a 105%	até 36%
5	90% a 110%	até 54%

Fonte: Manual de auditoria e vistoria: planos de manejo florestal sustentável com indícios de irregularidades IBAMA, 2024.

As categorias variam de 1 a 5 considerando um limite de até 0,5%; 1,0%; 2,0%; 5,0% e 10,0% de diferença na exploração para mais ou para menos do valor de referência de 100%, respectivamente.

As autorizações (Autex) cujas distribuições de DPV excederam os limites definidos para cada faixa foram classificadas como possivelmente irregulares, indicando maior risco de inconsistência ou manipulação dos dados declarados no sistema.

Essa metodologia baseou-se nos procedimentos descritos no Manual de auditoria e vistoria: planos de manejo florestal sustentável com indícios de irregularidades. - SinaflorLab, (IBAMA, 2024), com destaque para as Notas Técnicas nº 4 e nº 25/2024 que

objetivou identificar indícios de inconsistência ou materialidade de fraude nos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) na Amazônia.

Foi realizada uma agregação dos dados por Nome_Detentor e município utilizando PROC SQL, identificando-se as unidades com maior número absoluto e relativo de UPAs com DPV acima de 100%. Essa análise permitiu detectar padrões de reincidência e concentração de riscos.

A fim de identificar municípios prioritários para ações de fiscalização, foi calculado inicialmente o percentual de UPAs com indício de fraude por município. Contudo, para evitar distorções causadas por municípios com poucos registros que poderiam apresentar percentuais elevados com baixa representatividade, desenvolveu-se um indicador composto denominado Score.

Esse Score foi calculado por meio da multiplicação entre o percentual de UPAs com indício de fraude e o logaritmo natural do número absoluto de UPAs problemáticas acrescido de 1, conforme expressa a seguinte fórmula.

$$Score = \frac{\% fraude \times \ln}{(UPS com fraude + 1)}$$

Em que:

Score= Número padronizado de classificação de fraude

% fraude= Porcentagem Unidade de Produção Anual com indícios de fraude no município avaliado

ln= Logaritmo natural

UPS com fraude= Número de Unidade de Produção Anual com fraude

Esse procedimento permitiu selecionar os 10 municípios mais relevantes em termos de reincidência de UPAs com indício de fraude, ponderando intensidade relativa e volume absoluto de ocorrências.

Comparação DPV e IE

A Intensidade de Exploração (IE) foi calculada para expressar a razão percentual entre o volume de madeira efetivamente explorado (transportado) e o volume estimado de corte para cada espécie, conforme a metodologia descrita por Almeida et al. (2021). A intensidade de exploração (IE) foi calculada por meio da fórmula.

$$IE = \frac{VolTransp_m3}{VolAutoriz_m3} \cdot 100$$

Em que:

$VolTransp_m3$ = Volume declarado para transporte no sistema DOF. Esse volume corresponde ao Volume Efetivamente Explorado baseado em cubagem rigorosa;

$VolAutoriz_m3$ = Volume autorizado conforme AUTEX. Esse volume equivale ao Volume Estimado de Corte correspondente ao volume das árvores ainda em pé proveniente do Inventário Florestal 100%.

O estudo realizou um comparativo com a intensidade de exploração, pois será avaliada como um indicador de fraude, assim foi necessário criar 3 grupos conforme Quadro 7, utilizando os estados de Rondônia e Amazonas, pois o demais não conseguira preencher os 3 grupos, o que poderia influenciar na análise final; sendo utilizados dados dos anos de 2020 a 2022 em que a exploração já terminou, pois as Autex tem validade de 2 anos

Quadro 7 – Grupos avaliados para comparação.

Grupo	Descrição
G1	Manejo empresarial sem indícios segundo ID
G2	Concessão Florestal sem indícios segundo ID
G3	Manejo empresarial com indícios segundo ID

Fonte: Os autores.

Análise dos dados

A análise estatística foi realizada inicialmente no Microsoft Excel, com a organização dos dados por árvore e aplicação da fórmula de índice de divergência. A partir disso, foi feita a contagem das árvores por faixa de variação, utilizando funções como "SE", "CONT.SES" e "CLASSIFICAR".

A análise estatística teve como objetivo comparar a intensidade de exploração florestal entre três grupos de manejo: G1 (empresarial sem indícios de fraude), G2 (concessões públicas sem indícios) e G3 (manejos com indícios de fraude). A intensidade foi calculada como a razão percentual entre o volume efetivamente explorado e o volume autorizado. Após a organização dos dados, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade. Diante da ausência de normalidade, especialmente no Grupo 3, optou-se pela utilização de métodos não paramétricos.

Utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para identificar diferenças estatísticas entre os grupos. Em seguida, aplicou-se o teste de Dunn com correção de Bonferroni para comparações múltiplas entre pares de grupos. As análises foram realizadas utilizando o software SAS e planilhas Excel.

Considerou-se diferença significativa para toda análise com valor-p menor ou igual a 5%.

Resultados e Discussão

Ao longo do período de 2018 a 2024, foram analisadas 1.409 autorizações de exploração florestal (AUTEX) com registros no Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLO), abrangendo os estados do Acre (AC), Amazonas (AM), Amapá (AP), Pará (PA), Rondônia (RO) e Roraima (RR). O volume total de madeira explorado, considerando o somatório dos dados declarados nos Documentos de Origem Florestal (DOF), foi de aproximadamente 11,27 milhões de metros cúbicos (m³) como apresentado na Tabela 2, com destaque para os estados de Rondônia (4,02 milhões de m³), Amazonas (2,48 milhões de m³) e Pará (2,2 milhões de m³). Assim foram exploradas 1,97 milhões de árvores, sendo Rondônia com (760.979 árvores), Amazonas (430.296 árvores) e Pará (403.495 árvores). Vale salientar que os dados do Pará só constam as áreas licenciadas pelo IBAMA.

Tabela 2 – Quantidade de arvores e volume explorados o e por ano por estado na Amazônia Legal.

UF	Árvores Exploradas	Volume Explorado (m³)
Acre	170.430	1.167.171,93
Amapá	107.408	732.407,2
Amazonas	430.296	2.482.368,82
Pará	403.493	2.202.381,11
Rondônia	760.979	4.029.613,48
Roraima	104.423	655.074,19
Total	1.976.847	11.269.016,73

Fonte: Os autores

O estudo mostrou na Tabela 3, que o grupo das quinze espécies ou gêneros mais explorados nos estados da Região Norte no período avaliado foram respectivamente *Manilkara spp.*, *Dinizia excelsa*, *Couratari spp.*, *Dipteryx odorata*, *Hymeneae coubaril*, *Apuleia spp.*, *Goupia glabra*, *Cariniana micrantha*, *Peltogyne spp.*, *Hymenolobium petraeum*, *Handroanthus serratifolius*, *Erismia uncinatum*, *Qualea paraensis* e *Allantoma lineata*, que representaram 62,2% de toda a produção de madeira em tora advinda de plano de manejo florestal, sendo que os grupos de espécies e gêneros restantes representam apenas 37,8% de toda madeira explorada no período. Assim, mostra pouca uma mudança do estudo de Takeda (2015), no qual houve poucas mudanças apenas a entradas de *Handroanthus serratifolius* e *Peltogyne spp.*, e saídas de *Cedrelinga catenaeformis* e *Clarisia racemosa* nas principais espécies isso mostra uma adequação do manejo e a sua expansão a novas áreas. Além do que, literatura indica que a exploração ilegal é particularmente incidente sobre

espécies de alto valor, como o ipê (*Handroanthus* spp.), em razão de fraudes que, por múltiplas estratégias, resultam no inflacionamento dos créditos de exploração licenciados pelas autoridades competentes (Franca et al., 2023; Brancalion et al., 2018),

Tabela 3 – Espécies mais exploradas na região do estudo de 2018 a 2024.

CODSPP.	Nome científico	Nome Vulgar	Volume(m³)	% das exploradas
MANSPP.	<i>Manilkara</i> spp.	Maçaranduba	1000113	8,9
DINEXC	<i>Dinizia excelsa</i>	Faveira Ferro	900577	8,0
COUGUI	<i>Couratari</i> spp.	Tauari ou Embira	727610	6,5
DIPODO	<i>Dipteryx odorata</i>	Cumarú ou Cumarú Ferro	640115	5,7
HYMCOU	<i>Hymenaea coubaril</i>	Jatobá, Jataí, Jutai	464268	4,1
APULEI	<i>Apuleia</i> spp.	Garapeira, Miratoá	449178	4,0
GOUGLA	<i>Goupia glabra</i>	Cupiúba	424513	3,8
CARMIC	<i>Cariniana micrantha</i>	Tauari Carvão, Jéquitibá-Carvão	373882	3,3
HYMPET	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Angelim, Angelim-Pedra	369692	3,3
PELSPP.	<i>Peltogyne</i> spp.	Roxinho Pau-Roxo	326699	2,9
HANSER	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Ipê, Ipê-Amarelo	290555	2,6
ERIUNC	<i>Erisma uncinatum</i>	Libra, Catuaba, Cambará	290274	2,6
ASTLEC	<i>Atronium leicoitei</i>	Maracatiara, Muracatira, Aroeira	277578	2,5
QUAPAR	<i>Qualea paraensis</i>	Cambará, Mandioqueiro, Catuaba	267726	2,4
ALLLIN	<i>Allantoma lineata</i>	Jequitibá; Jequitibá-Rosa	231456	2,1
DEMSPP.	Demais spp.		4234780	37,8

Fonte: Os autores

A classificação das espécies florestais licenciadas nos Grupos A, B e C foi analisada para os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, conforme apresentado na Tabela 4. Observou-se que, em todos os estados, o Grupo C concentrou a maior proporção de espécies, indicando predominância de espécies com menor intensidade de exploração ou menor valor comercial.

O estado de Rondônia apresentou o maior número absoluto de espécies cadastradas, totalizando 508 espécies, seguido pelo Amazonas com 309 espécies com isso, Andrade et al. (2022), afirma onde polos consolidados não colapsaram, verifica-se um portfólio mais amplo de espécies exploradas, indicando que produtores avessos à migração direcionam esforços para desenvolver mercados e incorporar espécies menos usuais. Por outro lado, o Amapá apresentou o menor número de espécies licenciadas entre os estados avaliados, com 124 espécies no total, das quais 83,9% pertencem ao Grupo C. Essa elevada concentração de espécies no Grupo C foi um padrão consistente em todos os estados analisados, conforme detalhado na Tabela 4..

Tabela 4 - Quantitativo de espécies de cada grupo de importância de acordo ao princípio de Pareto.

Estado	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Acre	19	33	143
Amapá	6	14	104
Amazonas	28	47	234
Pará	22	37	169
Rondônia	38	80	390
Roraima	8	24	114

Fonte: Os autores

O Grupo A reúne as espécies de maior importância econômica na exploração florestal da Amazônia Legal. Vale salientar como nos estados do Amapá e Roraima têm uma grande concentração sendo 6 e 8 espécies, representando 80% do volume explorado, diferente de Rondônia, Amazonas, Pará e Acre com 38, 28, 22 e 19 espécies respectivamente. Esse padrão de exploração concentrada demonstra a importância econômica estratégica dessas espécies para o setor florestal regional, reforçando a necessidade de atenção específica em políticas de manejo, monitoramento e conservação desses recursos.

Os resultados do Quadro 8 demonstra que as 6 principais espécies florestais exploradas variam entre os 6 estados da Amazônia Legal, com destaque para algumas espécies recorrentes em diferentes regiões. *Dinizia excelsa* apresentou-se como a espécie mais recorrente, figurando entre as mais exploradas em cinco dos seis estados analisados Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, indicando sua ampla distribuição e elevada importância comercial. *Dipteryx odorata* apareceu com destaque em três estados Acre, Amapá e Amazonas. *Manilkara huberi* foi identificada entre as espécies prioritárias em Amapá, Pará e Roraima, enquanto *Couratari guianensis* destacou-se nos estados do Amazonas, Pará e Rondônia. Portanto deve se atentar as essas, pois predomínio de espécies amplamente reconhecidas pelo mercado elevou seu valor relativo e desestimulou a ampliação do portfólio explorado, o que seria essencial para a resiliência do setor e a contenção da expansão de fronteiras, ainda que quase 1.000 espécies tenham sido oficialmente comercializadas, apenas 2% (20 espécies) concentraram metade do volume de produtos (Andrade et al., 2022)..

Quadro 8. As 6 principais espécies do Grupo A por Estado da Amazônia Legal.

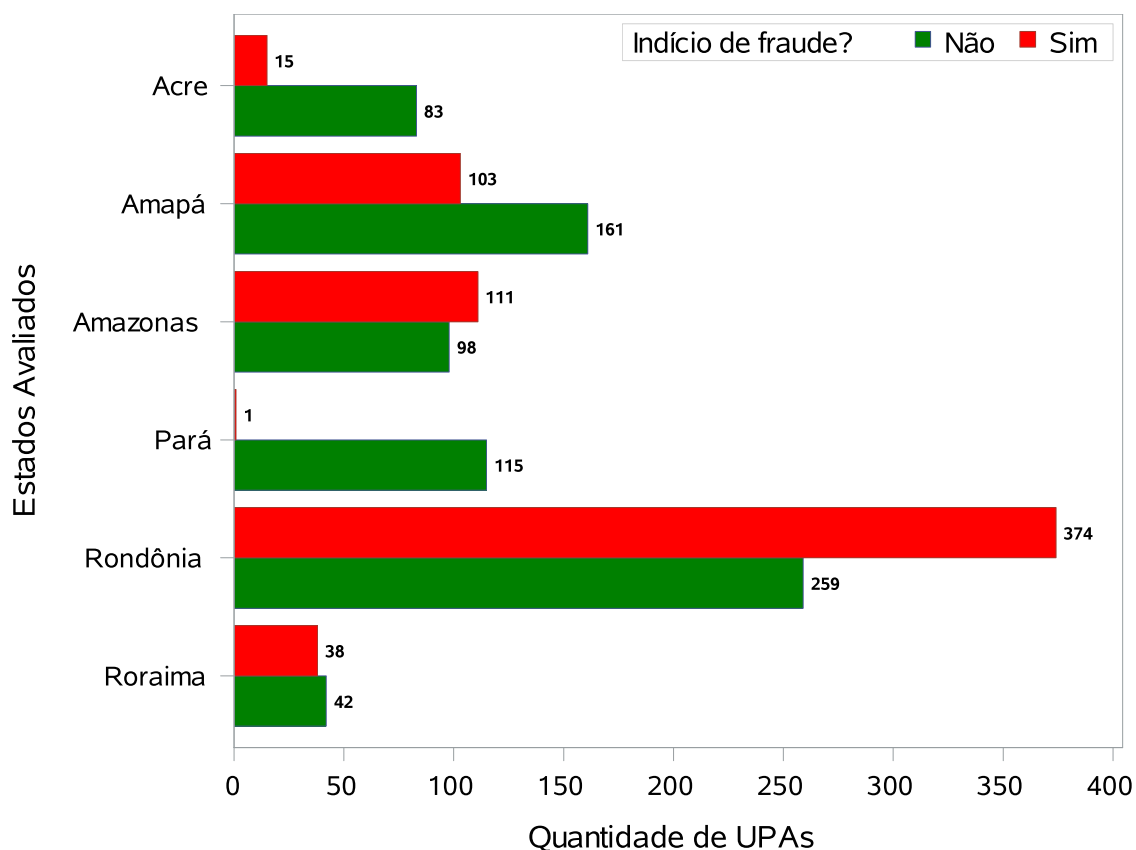
Ranking	Acre	Amapá	Amazonas	Pará	Rondônia	Roraima
1	<i>Dipteryx odorata</i>	<i>Dinizia excelsa</i>	<i>Dinizia excelsa</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Couratari guianensis</i>	<i>Manilkara huberi</i>
2	<i>Apuleia leiocarpa</i>	<i>Manilkara huberi</i>	<i>Dipteryx odorata</i>	<i>Manilkara huberi</i>	<i>Dinizia excelsa</i>	<i>Dinizia excelsa</i>
3	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Dipteryx odorata</i>	<i>Goupia glabra</i>	<i>Dinizia excelsa</i>	<i>Cariniana micrantha</i>	<i>Goupia glabra</i>

4	<i>Apuleia molaris</i>	<i>Goupia glabra</i>	<i>Cariniana micrantha</i>	<i>Couratari guianensis</i>	<i>Qualea paraensis</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>
5	<i>Copaifera multijuga</i>	<i>Vouchysia guianensis</i>	<i>Couratari guianensis</i>	<i>Apuleia leiocarpa</i>	<i>Hymenaea petraeum</i>	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>
6	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Hymenelobuim petraeum</i>	<i>Hymenelobuim petraeum</i>	<i>Goupia glabra</i>	<i>Astronium leicoitei</i>	<i>Couratari guianensis</i>

Fonte: Os autores.

A Figura 11, demonstra a quantidade de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indício de fraude, distribuídas em seis estados da Amazônia Legal: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima. Destaca-se que Rondônia apresentou o maior número absoluto de UPAs com indícios de fraude (374 UPAs), seguido por Amazonas (111 UPAs) e Amapá (103 UPAs). Por outro lado, Pará apresentou o menor número de ocorrências, com apenas 1 UPA indício com fraude, vale frisar que todas as UPAs são de concessões florestais federais. Em relação às UPAs sem indícios, Rondônia (259 UPAs) Amapá (161 UPAs), e Pará (115 UPAs).

Figura 11-A quantidade de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indício de fraude, em seis estados da Amazônia Legal



Fonte: Os autores.

Observa-se uma variação significativa entre os estados, com Rondônia apresentando destaque negativo devido ao elevado número absoluto de indícios fraudes, refletindo

possíveis desafios na fiscalização e monitoramento ambiental. Em contraste, o Acre apresentou baixa incidência de fraudes (apenas 15 UPAs), indicando maior eficiência ou menor pressão sobre as atividades madeireiras no estado.

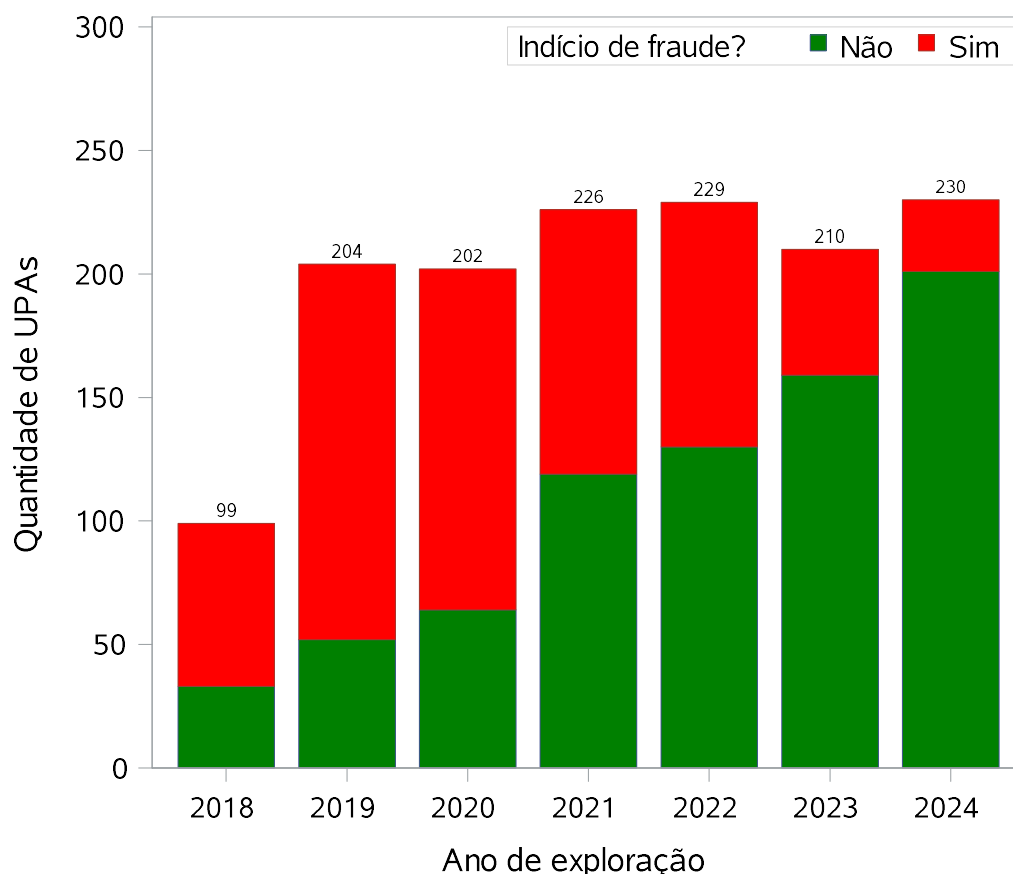
A Figura 12 apresenta a evolução temporal anual da quantidade de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude entre os anos de 2018 e 2024. Observa-se uma tendência crescente na quantidade total de UPAs analisadas ao longo do período, indicando um aumento das atividades exploratórias monitoradas.

Nos anos iniciais (2018 a 2022), o número de UPAs com indícios de fraude (representadas em vermelho) supera significativamente aquelas sem irregularidades. Destaca-se que o ano de 2019 apresenta uma quantidade elevada de fraudes (204 casos), número que permanece estável até 2022.

Entretanto, a partir do ano de 2023, há uma notável mudança nessa tendência, com uma inversão na proporção observada até então. Em 2023 e, especialmente, em 2024, o número de UPAs sem indícios de fraude (barras verdes) passa a ser superior àquelas com indícios, sugerindo um avanço efetivo nos mecanismos de fiscalização, controle ou nas boas práticas de manejo.

Essa tendência é um indicativo positivo e sugere que as ações implementadas recentemente possam estar sendo efetivas no controle das fraudes nas atividades exploratória.

Figura 12 - Evolução temporal de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indicio de fraude.

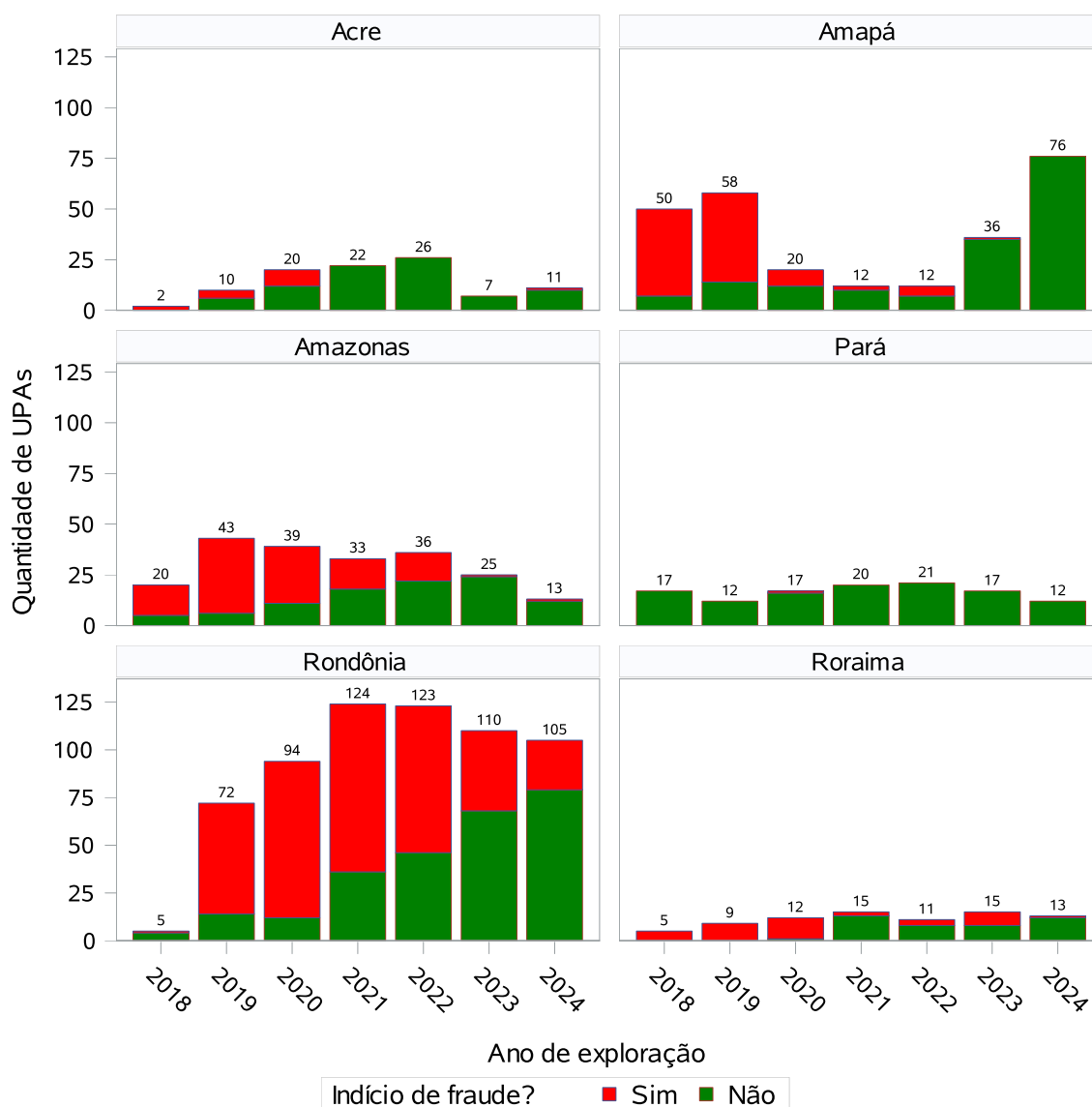


Fonte: Os autores.

A Figura 13 ilustra a evolução temporal anual da quantidade de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude, detalhada por estado (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima) entre os anos de 2018 e 2024. De maneira geral, identifica-se uma tendência positiva de redução do indicio de fraudes ao longo dos anos analisados.

Destaca-se que o Acre apresentou uma clara melhora no cenário a partir de 2021, reduzindo significativamente os casos de fraude. O Amapá demonstrou uma situação inicial preocupante até 2019, porém registrou uma reversão expressiva dessa tendência em 2023 e 2024, aumentando significativamente as UPAs sem irregularidades. No Amazonas, observa-se redução marcante dos casos de fraude a partir de 2023, também indicando avanços nas estratégias de monitoramento.

Figura 13 - Evolução temporal por estado de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude.



Fonte: Os autores

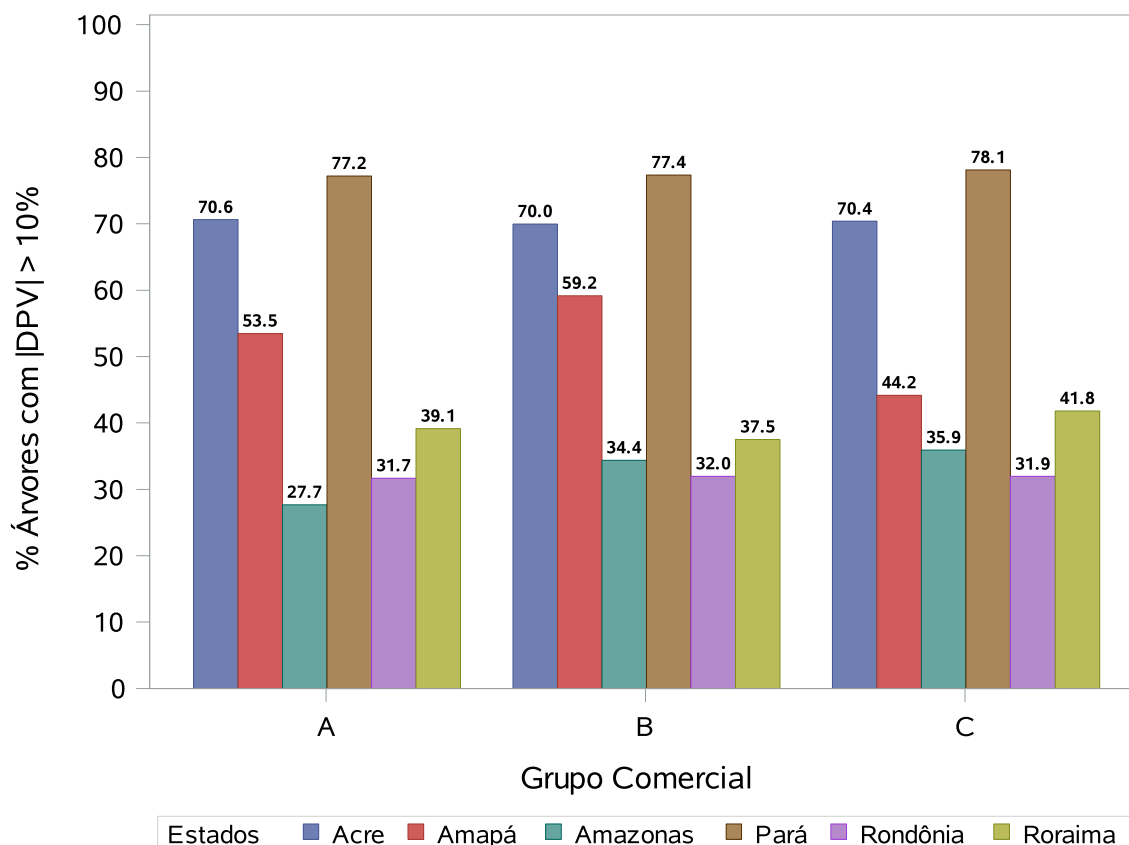
O Pará destacou-se pela ausência de indicio de fraude durante todo o período avaliado, refletindo possivelmente uma situação consolidada nas concessões florestais federais. Rondônia, apesar de inicialmente apresentar uma quantidade elevada de indicio fraudes até 2022, demonstra sinais de recuperação a partir de 2023, com aumento expressivo de UPAs sem irregularidades e leve redução nos indícios de fraudes. Por fim, Roraima manteve estabilidade ao longo dos anos, com predominância das UPAs sem indícios de fraude.

Os resultados revelam preocupante cenário quanto à eficácia e robustez dos sistemas regulatórios e de fiscalização da exploração florestal nos estados estudados. Assim como Costa et al (2024) a fase exploratória continha 74,3% das irregularidades, principalmente em

movimentações fraudulentas. Refletindo uma possível deficiência crônica ou estrutural nos processos de gestão florestal que vêm melhorando com o passar do tempo.

A Figura 14 apresenta a distribuição percentual, de modo geral, todos os grupos comerciais apresentaram proporções elevadas de árvores com possíveis inconsistências volumétricas em todos os estados, sem concentração exclusiva em um único grupo.

Figura 14 - Desvio Percentual Volumétrico (DPV) superior a 10%, classificadas por grupo comercial (A, B e C) e por estado



Fonte: Os autores

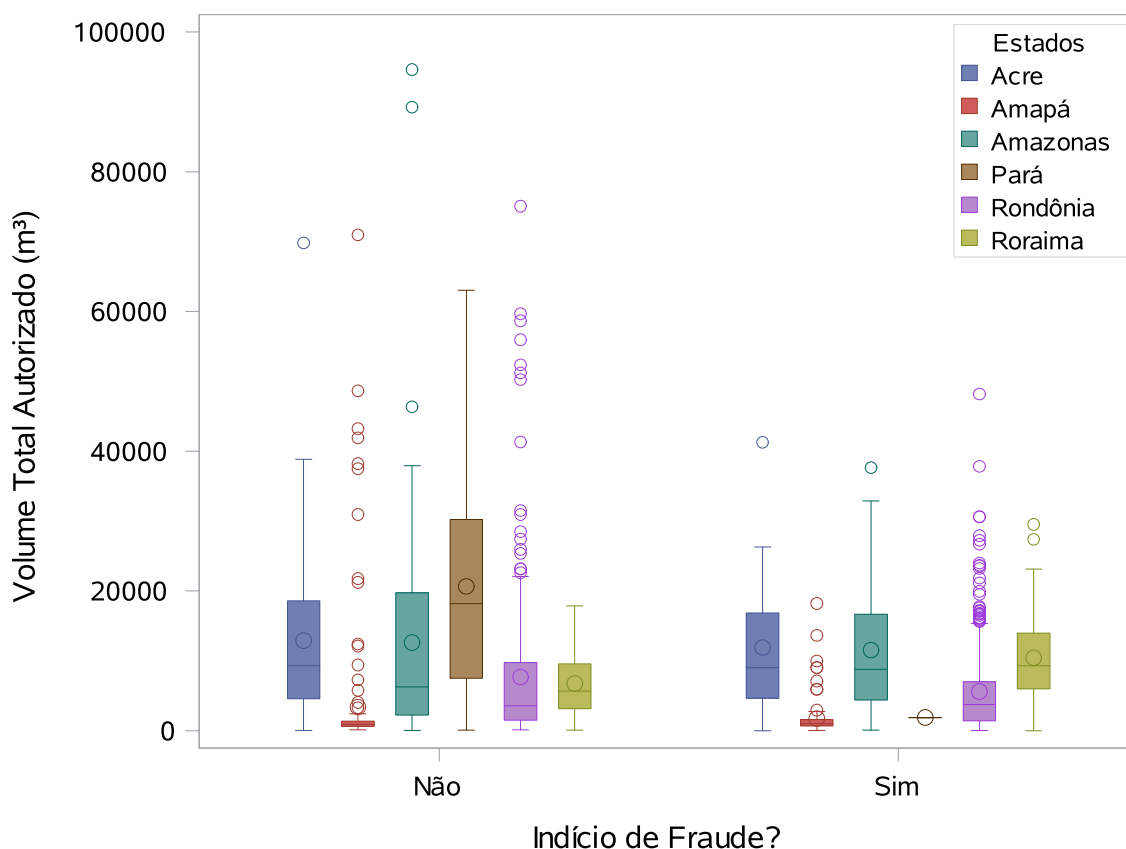
Esses resultados indicam que a ocorrência de indícios de fraude na exploração florestal, medida pelo percentual de árvores com $DPV > 10\%$, é um fenômeno transversal aos diferentes grupos comerciais, não se restringindo às espécies de maior ou menor importância econômica. Tal constatação reforça a necessidade de políticas de fiscalização e controle que considerem todas as classes de espécies licenciadas, evitando focos exclusivos em táxons de alto valor mercadológico.

A análise conduzida sobre a relação entre o volume autorizado e a ocorrência de fraudes buscou avaliar se UPAs com maiores volumes estariam mais associadas a irregularidades. No entanto, observou-se o oposto: UPAs com volumes menores

demonstraram maior frequência de indícios de fraude, embora essa relação tenha apresentado uma tendência fraca.

Complementando essa observação inicial, o boxplot apresentado na Figura 16, reforça visualmente os resultados estatísticos obtidos. Nota-se que, em praticamente todos os estados analisados, as medianas dos volumes autorizados em UPAs com indício de fraude são consistentemente menores quando comparadas às UPAs sem indício de fraude, especialmente nos estados de Rondônia, Amazonas e Amapá. Além disso, observa-se maior dispersão e presença de outliers nos volumes autorizados de UPAs sem indício de fraude, indicando que autorizações de maior porte tendem a estar mais associadas a operações regulares ou mais monitoradas.

Figura 15 - Evolução temporal por estado de Unidades de Produção Anual (UPAs) com e sem indícios de fraude



Fonte: Os autores

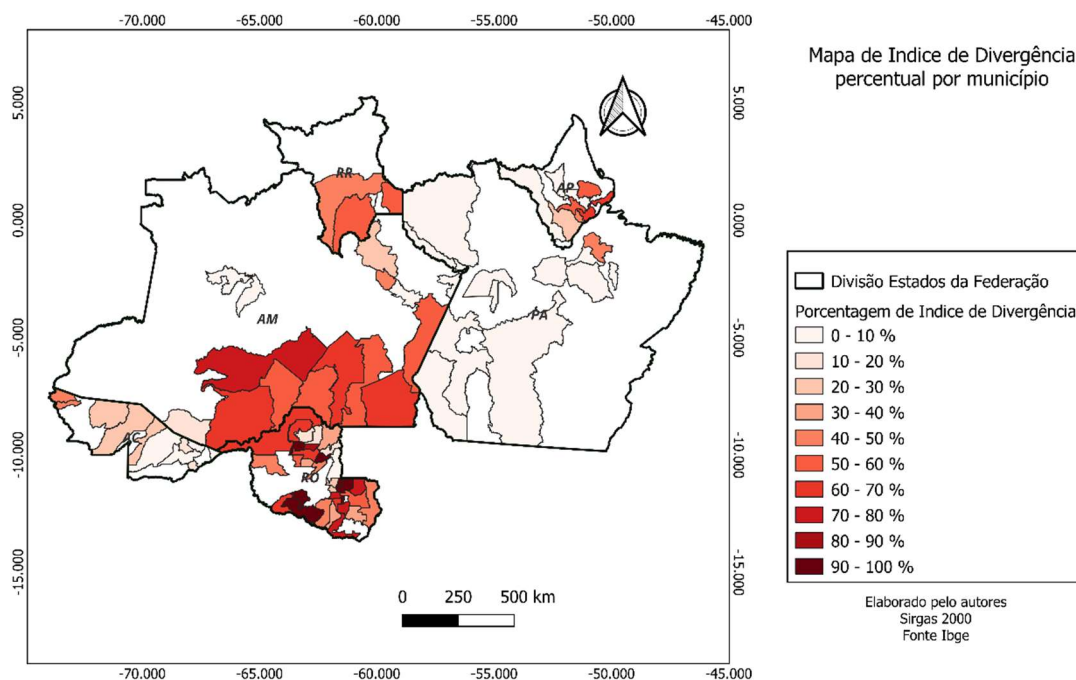
Para validar essa relação de forma estatística, foi aplicada a análise não-paramétrica de Wilcoxon, a qual indicou associação significativa entre o volume total autorizado por

UPA e a ocorrência de fraudes, com estatística de teste $\chi^2 = 6,31$ e valor de $p = 0,0120$. Adicionalmente, foi estimado o coeficiente de correlação de Spearman ($r = -0,16$; $p < 0,05$), confirmando que unidades com volumes autorizados menores tendem a apresentar mais irregularidades.

É importante ressaltar, contudo, que apesar da significância estatística encontrada, a correlação identificada foi baixa. Essa baixa magnitude sugere que o volume autorizado sozinho não é suficiente para explicar plenamente os indícios das fraudes, evidenciando que outros fatores, ainda não explorados neste estudo, possivelmente estejam influenciando mais fortemente essa dinâmica. Nesse sentido, recomenda-se que futuras análises considerem variáveis adicionais, como localização geográfica da UPA, grupo comercial das espécies exploradas, distância até polos industriais e perfil do empreendedor florestal, de modo a compor modelos mais robustos de predição e subsidiar estratégias de fiscalização mais eficientes.

A Figura 16 apresentada ilustra a distribuição espacial do Índice de Divergência percentual por município nos estados da Amazônia Legal, considerando divergências entre o volume de madeira autorizado e o volume efetivamente explorado. Observa-se uma concentração dos maiores percentuais de divergência (faixas superiores a 60%) principalmente nos municípios localizados no sul do Amazonas, norte e centro-sul de Rondônia, além de algumas áreas pontuais. Municípios em Rondônia, apresentam diversas áreas com índices entre 70% e 100%, indicando elevado nível de inconsistências nesses territórios.

Figura 16- Mapa com a distribuição do Índice de Divergência na região do estudo.



Fonte: Os autores

Em contrapartida, grande parte dos municípios do Pará, bem como zonas centrais do Amazonas e Amapá, apresentam índices de divergência reduzidos, situando-se predominantemente abaixo de 20%. Essa diferença espacial sugere que os padrões de divergência não são homogêneos e podem estar associados tanto a fatores operacionais e logísticos da cadeia produtiva quanto a aspectos relacionados à fiscalização e controle nos diferentes estados.

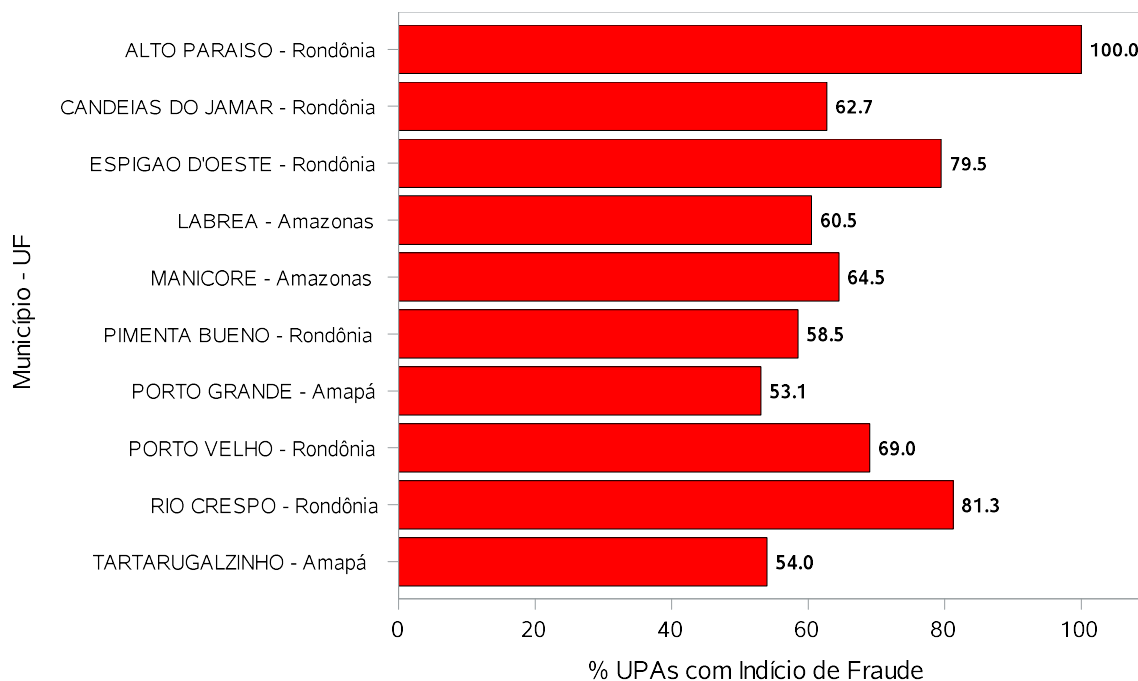
O padrão observado destaca a importância de uma abordagem territorializada para o monitoramento do manejo florestal, com foco prioritário nos municípios que concentram os percentuais mais elevados de divergência.

A análise da variável "Município" teve como objetivo identificar aqueles com maior concentração de UPAs com índice de fraude, considerando simultaneamente o percentual de ocorrências irregulares e o número absoluto de UPAs analisadas. A Figura 17 ilustra os 10 municípios com maiores scores de índice de fraude, incluindo representantes dos estados de Rondônia, Amazonas e Amapá.

Destaca-se que o município de Alto Paraíso (Rondônia) apresentou score de 100 de UPAs com índice de fraude, seguido de Rio Crespo com score de 81,3 e Espigão D'Oeste com score de 79,5 ambos localizados em Rondônia. Municípios do Amazonas, como

Manicoré com score de 64,5 e com de Lábrea score de 60,5, e do Amapá, como Tartarugalzinho com score de 54 e Porto Grande com score de 53, também figuram entre os mais críticos.

Figura 17 - Municípios com os maiores scores de indicio de fraude em manejo florestais.



Fonte: Os autores

Os resultados evidenciam que Rondônia concentra a maior parte dos municípios com maior incidência de fraudes, configurando-se como um foco prioritário para ações de fiscalização e controle. Essa abordagem metodológica permite direcionar esforços de maneira mais eficiente, evitando a alocação desproporcional de recursos em municípios com baixa representatividade estatística, mesmo que apresentem percentuais elevados de irregularidade.

Assim resolveu avaliar a Intensidade de Exploração (IE) com um indicador de fraude, sabendo que em estudos em floresta pública sob domínio comunitário, observou-se um IE de 84,04% (GOMES et al., 2018), já análise de cinco unidades de produção florestal em floresta pública federal encontrou um IE entre 56,54% e 72,78% (Biazatti et al., 2019). Para a exploração florestal, IE de 73,8% e 71,73% em duas áreas sob exploração florestal em floresta pública sob domínio comunitário (Buchmann, 2016).

A análise estatística revelou diferenças significativas entre os grupos. O Grupo 3 (manejo empresarial com indícios de fraude) apresentou valores mais altos e concentrados,

com média de intensidade em 97,07% e baixa variabilidade (desvio-padrão de 2,9%), com todos os registros acima do limiar crítico estabelecido tendo uma evidência na Intensidade de Exploração. O Grupo 2, composto exclusivamente por concessões florestais sem indícios de fraude, apresentou a menor intensidade média (76,34%), com poucos casos superando o limite de 81,39%. Já o Grupo 1 (manejo empresarial sem indícios fraude) apresentou média intermediária de 79,8% e alta variabilidade (desvio-padrão de 15,02%), indicando uma ampla faixa de comportamentos operacionais, desde valores muito baixos até níveis próximos do máximo permitido (Tabela 5).

Tabela 5- Intensidade de Exploração nas UPAs sorteadas de Rondônia e Amazonas

Ordem	Intensidade de Exploração		
	G1	G2	G3
1	97,80	63,76	98,17
2	79,77	65,47	99,00
3	78,65	84,59	99,80
4	90,17	76,63	99,93
5	93,96	85,27	94,74
6	99,60	83,33	92,31
7	86,17	75,31	96,08
8	99,97		97,66
9	67,79		99,42
10	87,42		97,06
11	67,69		99,29
12	81,39		94,19
13	89,91		94,41
14	86,17		96,38
15	90,07		99,78
16	64,71		99,11
17	55,29		99,76
18	48,50		90,15
Contagem	18	7	18
media	81,39	76,34	97,07
Desvio Padrão	15,02	8,89	2,90
Mínimo	48,50	63,76	90,15
Máximo	99,97	85,27	99,93

Fonte: Os autores

Esses fatos têm implicações para as políticas públicas e práticas regulatórias na região amazônica. A predominância de valores alto na Intensidade de Exploração do Grupo 3, pode ser associada à exploração ilegal e desmatamento, reforça a necessidade urgente de medidas adicionais de controle e fiscalização. Por outro lado, como em Rondônia teve as

primeiras concessões florestais, refletindo positivamente as iniciativas recentes de promoção do manejo sustentável mostrado nos números do G2.

Além da análise descritiva, foi realizada uma análise estatística comparativa entre os grupos para verificar se as diferenças nas médias de intensidade de exploração são estatisticamente significativas. Como não houve normalidade na distribuição dos dados utilizou-se a estatística não paramétrica, para verificação.

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os três grupos avaliados quanto à intensidade de exploração florestal. A estatística H obtida foi de 21,52, com valor de p igual a 0,00002, o que permite rejeitar a hipótese nula de igualdade entre os grupos, ao nível de significância de 5%. Esses resultados sugerem que, ao menos em um dos grupos, a mediana da intensidade de exploração difere significativamente das demais.

Os resultados estatísticos da Tabela 6 reforçam os achados descritivos: o Grupo 3 (manejo com indícios de fraude) apresenta intensidade de exploração significativamente maior em comparação com os Grupos 1 e 2. Já entre os Grupos 1 (manejo sem indícios) e 2 (concessão sem indícios), não foi observada diferença estatisticamente significativa, ainda que o Grupo 1 tenha média mais elevada.

Tabela 6 – Teste de Dunn com correção de Bonferroni

Grupos	U-valor	p-valor (bruto)	p-valor (Bonferroni)
G1 vs G2	87	0.15842	0.47526
G1 vs G3	44	0.00020	0.00060 **
G2 vs G3	0	0.00000	0.00001 **

Fonte: Os autores.

Com os resultados pode se inferir que é muito mais complexo a fiscalização de fraudes assim como a atividade vem se adaptando ao método de controle primário utilizado pelas instituições que fiscaliza a atividade, sendo necessário a combinação dos dois métodos para uma precisa fiscalização e medidas cabíveis a possíveis ilícitos. Sendo um limite prudencial 90% de Intensidade de Exploração. Sabendo que em estudos em floresta pública sob domínio comunitário, observou-se um IE de 84,04% (Gomes et al., 2018), já análise de cinco unidades de produção florestal em floresta pública federal encontrou um entre IE 56,54% e 72,78% (Biazatti et al., 2019). Para a exploração florestal, IE de 73,8% e 71,73% em duas áreas sob exploração florestal em floresta pública sob domínio comunitário (Buchmann, 2016).

Conclusão

Os resultados demonstraram que entre 2018 e 2024 foram analisadas 1.409 AUTEX envolvendo aproximadamente 11,27 milhões de m³ de madeira em tora, distribuídas em seis estados da Amazônia Legal. Rondônia destacou-se como o principal estado em volume explorado, enquanto Acre, Amapá e Roraima apresentaram forte seletividade, concentrando a exploração em um número reduzido de espécies, com destaque para *Manilkara spp.*, *Dinizia excelsa*, *Couratari spp.*, *Dipteryx odorata*, *Hymenaea coubaril*, *Apuleia spp.* e *Goupia glabra*.

A análise do Desvio Percentual Volumétrico (DPV) evidenciou que a ocorrência de indícios de fraude não está associada exclusivamente a um grupo comercial de espécies, sendo um fenômeno transversal, com maior incidência em municípios específicos, sobretudo em Rondônia e sul do Amazonas.

A Intensidade de Exploração (IE) revelou-se um indicador estatisticamente robusto para detecção de possíveis fraudes. Os manejos classificados com indícios de fraude apresentaram média de IE superior a 97%, significativamente maior que o observado em concessões públicas e manejos empresariais sem indícios, cujas médias foram de 76,34% e 81,39%, respectivamente. A partir desses resultados, recomenda-se estabelecer um limite prudencial de 90% para a Intensidade de Exploração, acima do qual seja obrigatória a realização de auditorias ou vistorias pós-exploratórias. Recomenda-se, portanto, investimentos em tecnologia, capacitação técnica e fortalecimento institucional dos órgãos envolvidos na gestão e fiscalização florestal da Amazônia.

Recomenda-se estudos integrando essas métricas apresentadas aos sistemas de sensoriamento remoto, para obter uma metodologia mais efetiva ao monitoramento de possíveis fraudes.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, M. B. T.; ZENID, G. J.; LENTINI, M. W.; SANTOS, H.; NUNES, F.; COSTA, J. N. Espécies madeireiras nativas menos comercializadas: uma oportunidade para produção e conservação na Amazônia brasileira. **Boletim Técnico Timberflow**, n. 9. Piracicaba: Imaflora, set. 2022. 19 p.
- AZEVEDO-RAMOS, C., SILVA, J.N.M., MERRY, F., 2015. The evolution of Brazilian forest concessions. **Elementa: Science of the Anthropocene**. 3, 000048. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000048>.
- BIAZATTI, S. C. et al. Planejamento e produção florestal em área de concessão na Amazônia Ocidental/Planning and forest production in concession area in the westernAmazon. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 8938-8953, 2019.
- BISSCHOP, L. Out of the woods: The illegal trade in tropical timber and a European trade hub. **Global Crime**, v. 13, n. 3, p. 191–212, 2012.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Fake legal logging in the Brazilian Amazon. **Science Advances**, v. 4, n. 8, p. eaat1192, 2018.
- BUCHMANN, H. M. **Exploração florestal e seus impactos em áreas de primeiro e segundo ciclo de corte do manejo florestal na Amazônia oriental, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, 2016.
- CARDOSO, D. et al. Evaluation of allometric equations used to estimate commercial volume in Amazonian forest management plans. **Forest Ecology and Management**, v. 542, 121087, 2023.
- CYSNEIROS, V.C., PELISSARI, A.L., Amaral, S.M., Filho, A.F., Souza, L., Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **Sci. For. Sci.** 45, 295–304, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n114.06>.
- COSTA, V. O. B.; KOEHLER, H. S.; ROBERT, R. C. G.. Characterization of technical and legal irregularities in management plans in the Brazilian Amazon. **Trees, Forests and People**, v. 16, p. 100548, 2024.
- EUDR. European Union Regulation on deforestation-free products. Regulamento (UE) 2023/1115 do Parlamento Europeu e do Conselho. Bruxelas, 2023.
- FAO. FAOSTAT Forestry Database. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>.

FRANÇA, C. S. S.; PERSSON, U. M.; CARVALHO, T.; LENTINI, M. Quantifying timber illegality risk in the Brazilian forest frontier. **Nature Sustainability**, v. 6, n. 11, p. 1485–1495, 2023.

GOMES, K. M. A.; SILVA-RIBEIRO, R. B.; GAMA, J. R. V.; ANDRADE, D. F. C. Eficiência na estimativa volumétrica de madeira na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 2, p. 170-176, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i2.5237>

LEÃO, N. V. M. et al. Equações volumétricas para estimativa de madeira comercial em áreas de manejo florestal no Acre. **Cerne**, v. 27, n. 1, p. 56–64, 2021.

LENTINI, M. W.; SOBRAL, L.; PLANELLO, M.; VIEIRA, R.; CERIGNONI, F.; NUNES, F.; GUIDOTI, V. O que mudou no perfil da atividade madeireira na Amazônia nas últimas duas décadas (1998–2018)? **Boletim Técnico Timberflow**, n. 1. Piracicaba: Imaflora, jul. 2019. 9 p.

LIMA, L. S. et al. Custos operacionais de exploração madeireira na Amazônia: legal versus ilegal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 249–258, 2018.

NOGUERON, R. et al. The European Union Timber Regulation and its impact on tropical timber supply chains. **Forests**, v. 9, n. 11, p. 690, 2018.

PARLAMENTO EUROPEU. Regulamento (UE) 2023/1115: Produtos livres de desmatamento. Bruxelas: União Europeia, 2023.

RICHARDSON, V. A.; PERES, C. A. Temporal decay in timber species composition and value in Amazonian logging concessions. **PLoS ONE**, v. 11, n. 7, p. e0159035, 2016.

SANTOS, A. M. et al. Modelagem volumétrica para espécies comerciais na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 44, e4447, 2020.

SEN, M., At the Heart of a Green Recovery from the COVID-19 Pandemic. U.N. **Forests** 2020.:. <https://doi.org/10.18356/ca7463ff-en..>

SILVA, E. F. et al. Optimized forest planning: allocation of log storage yards in the Amazonian sustainable forest management area. **Forest Ecology and Management**, v. 472, p. 118231, 2020.

SILVA, G. F. et al. Indicadores de sustentabilidade em planos de manejo florestal madeireiro. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1–9, 2020.

TER STEEGE, H. et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, p. 1243092, 2013.

VALDIONES, A. P. *et al.*, The evolution of the timber sector in the Amazon between 1980 and 2020 and the opportunities for its inclusive and sustainable development in the next decade, first ed. **Imazon**, Belém. , 2022 <https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2022/06/Evolucao-do-Sector-Madeireiro-na-Amazonia-de-1980-a-2020.pdf>.

WALDHOFF, G.; VIDAL, E. M. Fundamentos e desafios para o controle da madeira na Amazônia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 23, n. 2, p. 348–374, 2015.