



**Serviço Público Federal**  
**Universidade Federal do Pará**  
**Campus Universitário de Altamira**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**

**PPGBC**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

Angelino Pereira de Oliveira Junior

**DINÂMICA DE UMA FLORESTA SUBMETIDA À EXPLORAÇÃO**  
**MADEIREIRA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Orientador: Prof. Dr. Emil José Hernández Ruz

Coorientador: Prof. Dr. Rodolfo Aureliano Salm

ALTAMIRA - PA

FEVEREIRO – 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CAMPUS ALTAMIRA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**

Angelino Pereira de Oliveira Junior

**DINÂMICA DE UMA FLORESTA SUBMETIDA À EXPLORAÇÃO**  
**MADEIREIRA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Orientador: Prof. Dr. Emil José Hernández Ruz

Coorientador: Prof. Dr. Rodolfo Aureliano Salm

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

ALTAMIRA - PA

FEVEREIRO - 2020

“Se não houver ninguém para segurar sua  
mão. Coloque as mãos no bolso e continue  
sua caminhada.”

(Autor desconhecido).

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus. Reconheço que sem Ele nada seria possível. Agradeço aos meus pais, Angelino e Eliete e aos meus irmãos Elielton, Natalino e Natan por terem permanecido ao meu lado durante todo esse percurso, sempre me apoiando e me fazendo acreditar que eu era capaz de conseguir. Dedico a eles este trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Emil José Hernández Ruz e meu coorientador Prof. Dr. Rodolfo Aureliano Salm por terem me orientado na condução do trabalho.

Aos meus amigos de laboratório: Breno, Dierley, Elciomar, Éric, Guilherme, Henrique, Ingrid, Mateus, Tayná, Thalia, Vanderson, e especialmente Willian por ter me ajudado incansavelmente. Também não posso esquecer de Carol, Carla, Emilli e Gustavo os quais foram e ainda são grandes amigos para mim.

A todos os meus amigos de turma, especialmente o José Farias, que apesar de também ocupado com as atividades do mestrado, sempre me ajudou quando precisei. Pedro e Hildegard que são meus amigos desde a graduação. O apoio de cada um foi essencial para que eu pudesse seguir em frente e concluir o trabalho. Nunca me esquecerei dos momentos agradáveis que passamos juntos! Momentos estes que me fizeram ter forças para seguir em frente.

A todos estes, o meu mais sincero agradecimento!

## SUMÁRIO

Abstract.....	6
Dinâmica de uma Floresta Manejada na Amazônia Oriental.....	7
Resumo.....	8
<b>1. Introdução.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Metodologia.....</b>	<b>11</b>
2.1. Área de estudo.....	11
2.2. Coleta de dados.....	12
2.3. Análise de dados.....	13
2.3.1 Taxas de mortalidade e recrutamento .....	13
2.3.2. Densidade de indivíduos.....	13
2.3.3. Diversidade e estrutura vertical.....	14
2.3.4. Área basal.....	15
2.3.5. Incremento Periódico Anual (IPA).....	15
<b>3. Resultados.....</b>	<b>16</b>
3.1. Taxas de mortalidade e recrutamento.....	16
3.2. Densidade de indivíduos.....	16
3.3. Diversidade e estrutura vertical.....	20
3.4. Área basal.....	22
3.5. Incremento Periódico Anual (IPA).....	22
<b>4. Discussão .....</b>	<b>23</b>
4.1. Taxas de mortalidade e recrutamento .....	24
4.2. Densidade de indivíduos.....	24
4.3. Diversidade e estrutura vertical.....	26
4.4. Área basal .....	26
4.5. Incremento Periódico Anual (IPA) .....	27
<b>5. Considerações gerais .....</b>	<b>28</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>31</b>
Agradecimentos.....	31
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>31</b>

## **Abstract**

### **DYNAMICS OF A FOREST SUBMITTED TO TIMBER EXPLOITATION IN THE EASTERN AMAZON**

Studies of forest dynamics carried out in forests submitted to logging are important to evaluate their sustainability. Here, we evaluated the dynamics of structure and composition of a forest submitted to logging in a Management Unit located in the Mamuru-Arapiuns forest, in the municipalities of Juruti and Santarém, in the state of Pará. The data we analyzed was collected in 12 permanent plots 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>). Forest inventories were carried out on three occasions, in the pre-exploratory period in 2012 and in the post-harvest years of 2013 and 2015. All trees with Diameter at Breast Height (DBH)  $\geq 10$  cm were identified whenever possible to species level and measured, being evaluated according to the following variables: shape of canopy, canopy lighting and presence of vines. We found a significant decrease in the density of trees per hectare, as well as in the basal area of the forest, revealing mortality rates higher than the recruitment rates. We detected a significant reduction in the number of trees in almost all the diametric classes evaluated. The forest community presented diametric increase a rate of 0.82 cm year<sup>-1</sup> in the studied period, with the variables shape of canopy and canopy lighting significantly influencing the trees growth in diameter, with trees with complete canopy and also those of trees canopy fully exposed to lighting having a higher growth rate than those of incomplete canopy and fully shaded, respectively. The Shannon-Winner(H') diversity index initially pointed to a reduction in tree species diversity followed by an increase leading to a final diversity higher than that initially found. The measures of importance value index (IVI) of the several species indicated changes in forest composition favoring pioneer species. We concluded that logging in the analyzed forest impacted its dynamics in an extent that raises doubts about its prospects of sustainability.

**Keywords:** growth, mortality, management, diametric class.

Este capítulo está formatado nas normas da revista **Forest Ecology and Management**, disponível em: <https://www.elsevier.com/journals/forest-ecology-and-management/0378-1127/guide-for-authors>

**DINÂMICA DE UMA FLORESTA SUBMETIDA À EXPLORAÇÃO MADEIREIRA  
NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

1

2 **DINÂMICA DE UMA FLORESTA SUBMETIDA À EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA**

3 **AMAZÔNIA ORIENTAL**

4 Angelino Pereira de Oliveira Júnior<sup>a\*</sup>(angelino.junior1@gmail.com), Rodolfo Aureliano Salm<sup>b</sup>, Emil  
5 José Hernández Ruz<sup>a</sup>

6 <sup>a</sup>Universidade Federal do Pará/Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, Rua  
7 Coronel José Porfírio, 2515-CEP 68.372-040- Altamira-PA.

8 <sup>b</sup>Universidade Federal do Pará/ Laboratório de Ecologia da Floresta Tropical, Rua Coronel José  
9 Porfírio, 2515-CEP 68.372-040- Altamira-PA.

10

11 **Resumo**

12 Estudos de dinâmica realizados em florestas submetidas à extração madeireira são importantes para  
13 avaliar a sua sustentabilidade. Aqui, avaliamos a dinâmica da estrutura e composição de uma floresta  
14 submetida à exploração madeireira em uma Unidade de Manejo Florestal (UMF) localizada no  
15 conjunto de glebas Mamuru-Arapiuns, nos municípios de Juruti e Santarém, no estado do Pará. Os  
16 dados que analisamos foram coletados em 12 parcelas permanentes de 50 x 50 m (2500 m<sup>2</sup>).  
17 Inventários florestais foram realizados em três ocasiões, pré-exploratório (2012) e pós-exploração  
18 (2013 e 2015). Foram medidas todas as árvores com Diâmetro à Altura do Peito (DAP)  $\geq 10$  cm sendo  
19 as mesmas identificadas sempre que possível ao nível de espécie e avaliadas segundo as seguintes  
20 variáveis: forma de copa, iluminação da copa e presença de cipós. Constatamos diminuição  
21 significativa na densidade de árvores por hectare, assim como da área basal da floresta, revelando taxas  
22 de mortalidade superiores às taxas de recrutamento. Detectamos uma redução significativa no número  
23 de árvores em quase todas as classes diamétricas avaliadas. A comunidade florestal apresentou uma  
24 taxa de incremento diamétrico de 0,82 cm ano<sup>-1</sup> no período estudado, com as variáveis forma de copa  
25 e iluminação da copa influenciando significativamente o crescimento em diâmetro das árvores, com  
26 as árvores de copa completa e também aquelas de copa totalmente expostas à iluminação tendo um  
27 crescimento superior que aquelas de copa incompleta e totalmente sombreadas respectivamente. O  
28 índice de diversidade de Shannon-Winer (H') apontou inicialmente uma diminuição na diversidade de  
29 árvores, seguida por um aumento levando a uma diversidade final superior àquela encontrada  
30 inicialmente. As medidas de Índice de Valor de Importância (IVI) das várias espécies indicaram  
31 alterações na composição da comunidade florestal, com favorecimento de espécies pioneiras  
32 principalmente no último ano de acompanhamento. Concluímos que a exploração madeireira na  
33 floresta analisada impactou sua dinâmica em um nível que levanta dúvidas sobre suas perspectivas de  
34 sustentabilidade.

35

36 **Palavras-chave:** crescimento, mortalidade, manejo, classe diamétrica.

37

38

39

40



## 41 **1. Introdução**

42 A exploração madeireira na Amazônia é a atividade florestal que mais se sobressai  
43 economicamente sobre as demais (Garcia-Fernandez et al., 2008; Gomes et al., 2012; Guariguata et  
44 al., 2012; Hecht, 2013; Borner et al., 2016; Lopes et al., 2019). A importância dessa atividade na região  
45 evidencia-se em sua imensa área ocupada: 108 milhões de hectares destinados nos últimos anos para  
46 exploração seletiva de madeira (FAO, 2011).

47 No Brasil, as principais áreas de exploração madeireira são o oeste paraense e a Calha Norte  
48 (Reis et al., 2010). As exportações de madeira pelo estado do Pará, no ano de 2019, segundo o  
49 Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior somaram um total de 129, 59 milhões  
50 de dólares (MDIC, 2019). Dada a dimensão dessa atividade florestal, a sua realização de forma  
51 sustentável tem sido grande desafio tanto para manejadores quanto para estudiosos da dinâmica  
52 florestal (Asner et al., 2009; Edwards et al., 2014; Shenkin et al., 2015; Oliveira et al., 2017)

53 Baseado na sustentabilidade a Exploração de Impacto Reduzido (EIR) tem sido divulgada  
54 como uma alternativa de combate ao manejo insustentável, responsável por pronunciada degradação  
55 florestal (Pinard e Putz, 1996; Souza et al., 2015). A EIR é baseada em um conjunto de métodos e  
56 técnicas que visam explorar madeira e reduzir os danos causados aos ecossistemas florestais se  
57 comparada àqueles causados pela exploração convencional (Zarin et al., 2007; Putz et al., 2012). Dessa  
58 forma, apresenta-se também como um meio de redução das emissões de carbono (Putz et al., 2008).  
59 Alguns autores têm defendido que a EIR não afeta negativamente as comunidades de mamíferos e aves  
60 das áreas exploradas (Bicknell et al., 2015), além de contribuir para a manutenção da diversidade de  
61 árvores, sendo, portanto, uma modalidade de exploração capaz de manter a conservação da  
62 biodiversidade (Bicknell et al., 2014).

63 Contudo, manejar a floresta tropical não é trivial e o tempo associado ao desenvolvimento  
64 das espécies exploradas e a complexidade das relações ecológicas da floresta ainda dividem opiniões

65 acerca das possibilidades de sustentabilidade do manejo florestal, mesmo pautado na EIR (Gibson et  
66 al., 2011; Putz et al., 2012; Richardson e Peres 2016) uma vez que diversos estudos indicam que a  
67 dinâmica florestal é afetada (Fredericksen e Pariona, 2002; Dionisio et al., 2017; Oliveira et al., 2017).  
68 Ademais, alterações antrópicas, mesmo de forma mitigada, podem comprometer os processos de  
69 regeneração e dinâmica dos ecossistemas florestais ao modificar drasticamente as condições do  
70 ambiente nas quais eles evoluíram (Holling, 1973; Beisner et al., 2003; Vásquez-Grandon et al., 2018).

71 Elementos da dinâmica florestal, como crescimento, mortalidade e recrutamento e também  
72 diversidade e composição de árvores (Swaine et al., 1987; De Avila et al., 2013) podem variar de  
73 acordo com a intervenção humana (Toledo et al., 2011; Gourlet-Fleury et al., 2013). Mas, quantificar  
74 as alterações causadas pela extração madeireira nas florestas tem sido muito difícil, uma vez que os  
75 efeitos da atividade madeireira por meio do manejo se dão de maneira diluída sobre imensas áreas, o  
76 que não significa inexistência de danos severos na comunidade florestal e, portanto, na dinâmica da  
77 mesma (Darrigo et al., 2016; Fearnside, 2017).

78 De modo geral, as taxas de mortalidade são altas logo após os momentos de exploração,  
79 principalmente devido a danos criados pelo transporte de toras os quais são considerados danos diretos  
80 e diminuem com o tempo (Reis et al., 2013; Reis et al., 2015; Dionisio et al., 2017). As taxas de  
81 crescimento também são elevadas logo após o momento da exploração, uma vez que esta causa um  
82 aumento na luminosidade geral da floresta (Reis et al., 2015). Desse modo, o conhecimento das  
83 mudanças dos efeitos da exploração madeireira ao longo do tempo sobre a comunidade florestal é de  
84 suma importância no contexto do manejo, tornando-se um aspecto crucial para a elaboração de  
85 políticas públicas e planos de gestão das florestas designadas para exploração de madeira (Hirai et al.,  
86 2012; Gourlet-Fleury et al., 2013; Dionisio et al., 2018).

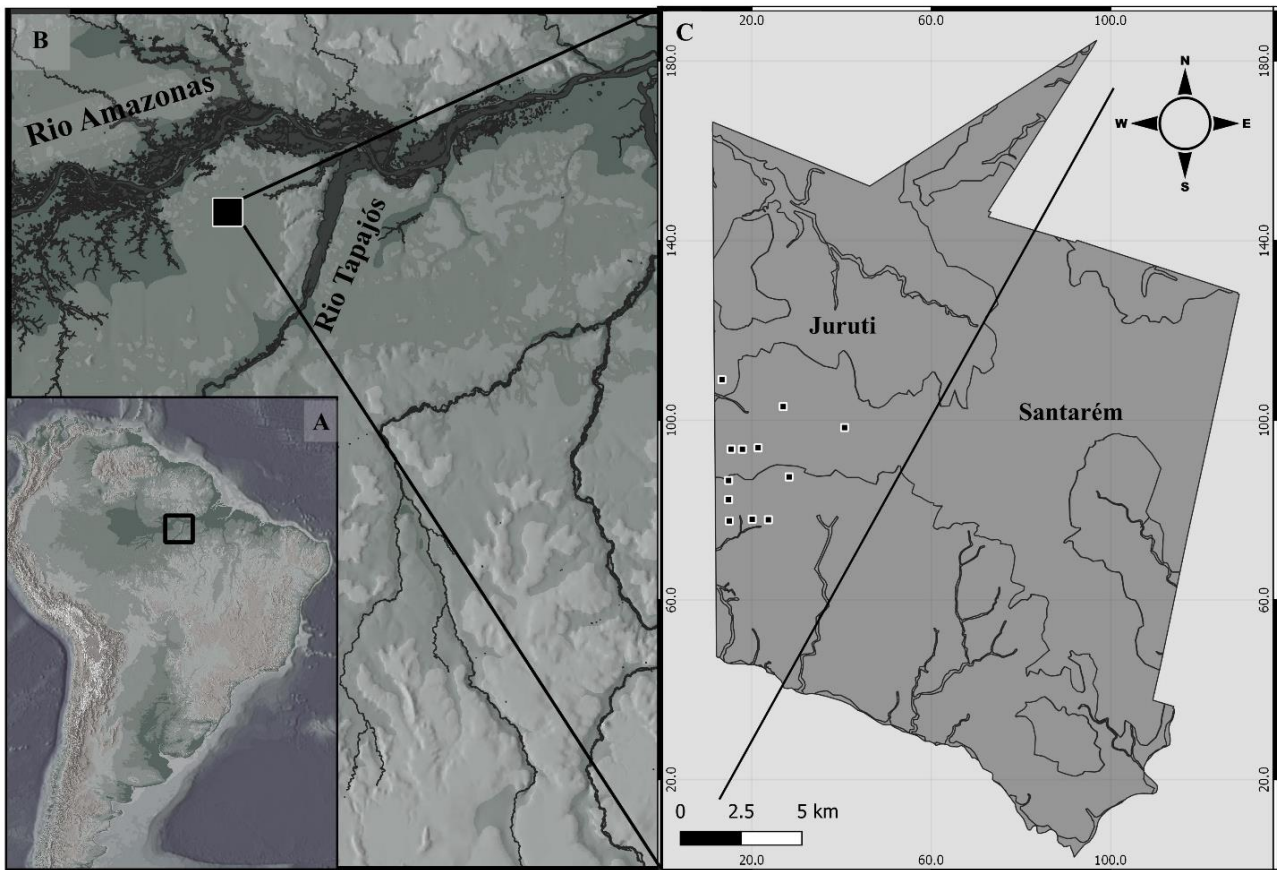
87 Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar aspectos da dinâmica de uma floresta  
88 submetida à exploração madeireira na Amazônia oriental, de modo a responder as seguintes questões:  
89 Como a exploração afeta: (a) estrutura da floresta em termos de área basal e densidade de árvores com

90 DAP  $\geq$  10 cm? (b) o recrutamento de árvores com DAP  $\geq$  10 cm? (c) a densidade de árvores das várias  
91 classes diamétricas a partir de DAP  $\geq$  10 cm? Além disso: (d) as taxas de crescimento das árvores com  
92 DAP  $\geq$  10 cm são influenciadas por fatores como forma de copa, iluminação da copa e presença de  
93 cipós? (e) como a exploração madeireira impactou a diversidade e a estrutura vertical da floresta  
94 estudada?

## 95 **2. Metodologia**

### 96 **2.1 Área de estudo**

97 Este trabalho foi conduzido no conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, especificamente em  
98 sua Unidade de Manejo Florestal I (UMF I), localizada nos municípios de Santarém e Juruti  
99 ( $02^{\circ} 49' 06''$  S e  $56^{\circ} 09' 39''$  W), no estado do Pará. A unidade de manejo possui uma área total de 45.721  
100 hectares, sendo que foram concessionados em 2011 para a empresa LN Guerra Ltda., 43.371 hectares,  
101 para exploração de madeira por meio das técnicas de impacto reduzido e 5% destinado a reserva  
102 absoluta (Figura 1).



103

104 **Figura 1.** A- Mapa da América do Sul. B- Localização da UMF I. C- Área da Unidade de Manejo  
 105 Florestal I, situada na parte norte do conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, nos municípios de  
 106 Santarém e Juruti, no estado do Pará, com as doze parcelas permanentes representadas.

107

108 A região é marcada pela presença de duas classes de florestas, Floresta Ombrófila Densa e  
 109 Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 1992), com solos caracterizados como Latossolo Amarelo e  
 110 Gleissolo Háptico (EMBRAPA, 2007). O clima característico segundo a classificação de Köppen é do  
 111 tipo tropical quente e úmido, apresentando temperatura média anual de 27,7 °C, e subdivisão climática  
 112 “Am3” que é caracterizada por uma faixa de precipitação pluviométrica média anual variando de 2000  
 113 mm a 2500 mm (Köppen, 1936).

114 **2.2 Coleta de dados**

115 Os dados utilizados foram coletados na Unidade de Produção Anual (UPA) 01 que possui  
116 área total de 3.000 hectares, sendo composta por 12 parcelas permanentes com dimensões de 50 x 50  
117 metros (2500 m<sup>2</sup>). Dentro de tais parcelas todas as árvores com DAP  $\geq$  10 cm foram identificadas até  
118 a menor categoria taxonômica possível e medidas em três anos, sendo a primeira medida anterior à  
119 exploração de madeira (2012) e duas após a exploração (2013 e 2015). Nessas ocasiões, as árvores  
120 também foram avaliadas de acordo as seguintes variáveis: forma de copa, iluminação da copa e  
121 presença de cipós. Para forma da copa, consideramos 1) copa completa normal e 2) copa incompleta  
122 (inclui copa quebrada por exploração). A iluminação da copa foi classificada como 1) copa totalmente  
123 exposta à luz 2) copa recebendo luz difusa e 3) copa sombreada. Para presença de cipós, consideramos  
124 1) árvores sem cipós e 2) árvores com cipós. A coleta de dados foi realizada por profissionais da  
125 empresa LN Guerra Ltda., seguindo a metodologia de Silva et al. (2005), que propõe as diretrizes para  
126 a instalação e medição de parcelas permanentes em florestas nativas da Amazônia brasileira.

## 127 **2.3 Análise de dados**

### 128 **2.3.1 Taxas de mortalidade e recrutamento**

129 As taxas de mortalidade e recrutamento foram quantificadas em dois períodos (2012-2013) e  
130 (2013-2015) considerando os indivíduos das 12 parcelas com DAP  $\geq$  10 cm através das seguintes  
131 equações (1) e (2):

$$132 \quad m\% = (N_m/N_i) \times 100 \quad (1)$$

$$133 \quad r\% = (N_r/N_i) \times 100 \quad (2)$$

134 Onde: m% = taxa de mortalidade, r% = taxa de recrutamento,  $N_m$  = número de árvores mortas,  $N_r$  =  
135 número de árvores recrutadas,  $N_i$  = Número de árvores em um ano específico.

### 136 **2.3.2 Densidade de indivíduos**

137 Calculamos a densidade total de árvores (ind. ha<sup>-1</sup>) nos três anos de inventário nas 12 parcelas  
138 e a densidade de árvores por classe diamétrica a fim de identificarmos as variações no número de

139 indivíduos das várias classes. Nesse processo, distinguimos quatro classes (10-29,9 cm; 30-49,9 cm;  
140 50-69,9 cm;  $\geq 70$  cm).

141 Para as análises estatísticas, cada parcela permanente foi tomada como uma repetição. Assim,  
142 a densidade total de indivíduos e por classe de DAP foram analisadas a partir da ANOVA de medidas  
143 repetidas. Em todos os casos foram respeitados os pressupostos de normalidade e homogeneidade de  
144 variâncias. Após a realização dos testes, e havendo significância dos mesmos, aplicamos o teste Tukey  
145 para ver a diferença entre as categorias.

### 146 2.3.3 Diversidade e estrutura vertical

147 A diversidade de árvores foi calculada para os três anos de inventário (2012, 2013 e 2015)  
148 usando-se o índice de Shannon-Winner( $H'$ ) de acordo com a seguinte fórmula (3):

$$149 H' = -\sum p_i * \ln(p_i) \quad p_i = n_i/N \quad (3)$$

150 Onde:  $H'$  = Índice de Shannon-Weaver,  $p_i$  = proporção de indivíduos da  $i$ -ésima espécie,  $\ln$  = logaritmo  
151 neperiano,  $n_i$  = número de indivíduos para a espécie  $i$ ,  $N$  = número total de indivíduos amostrados.

152 Para avaliarmos a estrutura vertical, utilizamos o índice de valor de importância das espécies  
153 nos três momentos estudados (2012, 2013 e 2015) de acordo com a seguinte fórmula (4):

$$154 IVI = \sum (DR + FR + DoR) \quad (4)$$

155 Onde: IVI= Índice de Valor de Importância, Dominância relativa DR= número total de indivíduos de  
156 determinada espécie dividido pelo total geral de árvores, Frequência Relativa FR= frequência absoluta  
157 de determinada espécie dividido pelo somatório da frequência absoluta de todas as espécies,  
158 Dominância Relativa DoR= área basal de uma espécie dividido pelo somatório da área basal total das  
159 árvores.

### 160 2.3.4 Área basal

161 Calculamos a área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) das 12 parcelas nos três anos avaliados (2012, 2013 e 2015),  
162 a partir da equação (5):

$$163 \quad G = \sum_{i=1}^n g_i = (\pi \cdot DAP^2 / 40.000) \quad (5)$$

164 Onde:  $G$  = área basal,  $g_i$  = área seccional de cada indivíduo,  $DAP$  = Diâmetro a Altura do Peito.

165 Analisamos estatisticamente a área basal por meio da ANOVA de medidas repetidas, sendo  
166 respeitados os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Após a realização da  
167 análise, aplicamos o teste Tukey para ver a diferença entre as categorias avaliadas.

### 168 **2.3.5 Incremento periódico anual**

169 A fim de determinarmos o incremento periódico anual (IPA) dos indivíduos com  $DAP \geq 10$   
170 cm, consideramos apenas as árvores que permaneceram vivas nas 12 parcelas durante todo o período  
171 de estudo (2012 a 2015). Posteriormente, calculamos separadamente o IPA para os três níveis de  
172 iluminação da copa, para os dois níveis de forma de copa, bem como para árvores com e sem cipós. O  
173 incremento periódico anual foi obtido a partir da fórmula (6):

$$174 \quad IPA = (D2 - D1) / t \quad (6)$$

175 Onde: IPA = Incremento Periódico Anual do diâmetro,  $D2$  = Diâmetro da medição final,  $D1$  =  
176 Diâmetro da medição inicial,  $t$  = intervalo de tempo em anos.

177 Para compararmos o incremento das árvores, eliminamos os valores destoantes do IPA e  
178 posteriormente aplicamos a transformação logarítmica nos dados. A fim de corrigir os valores  
179 negativos, adicionamos a constante (+1) e em seguida, a partir dos resíduos, verificamos  
180 homogeneidade de variâncias e uma distribuição próxima à normal. Dessa maneira, pudemos comparar  
181 o incremento das árvores entre os três níveis de iluminação da copa, através da análise de variância  
182 (ANOVA). Após constarmos a significância da análise, aplicamos o teste de múltiplas comparações

183 de médias Tukey para identificarmos a diferença entre as categorias avaliadas. No caso em que foi  
184 preciso comparar o incremento entre dois grupos, por exemplo, para os dois níveis de forma de copa e  
185 para presença e ausência de cipós, utilizamos o teste t de amostras independentes. Todas as análises  
186 estatísticas do trabalho foram realizadas no ambiente R versão 3.5.1 (R Development Core Team,  
187 2018), com nível de significância de ( $p < 0,05$ ).

### 188 **3. Resultados**

#### 189 **3.1 Taxas de mortalidade e recrutamento**

190 As taxas de mortalidade de árvores, nas 12 parcelas permanentes, foram sempre superiores às  
191 taxas de indivíduos recrutados, no entanto, a sobrevivência e o recrutamento foram maiores no segundo  
192 período pós-exploração (Tabela 1).

193

194 **Tabela 1.** Taxas de mortalidade e recrutamento de árvores com  $DAP \geq 10$  cm da UMF I, Mamuru-  
195 Arapiuns, PA, Brasil, nos períodos de (2012-2013) e (2013-2015).

196

<b>Período (ano)</b>	<b>Mortalidade (%)</b>	<b>Recrutamento (%)</b>
2012-2013	13,42	0,15
2013-2015	5,18	1,35

197

198

199

#### 200 **3.2 Densidade de indivíduos**

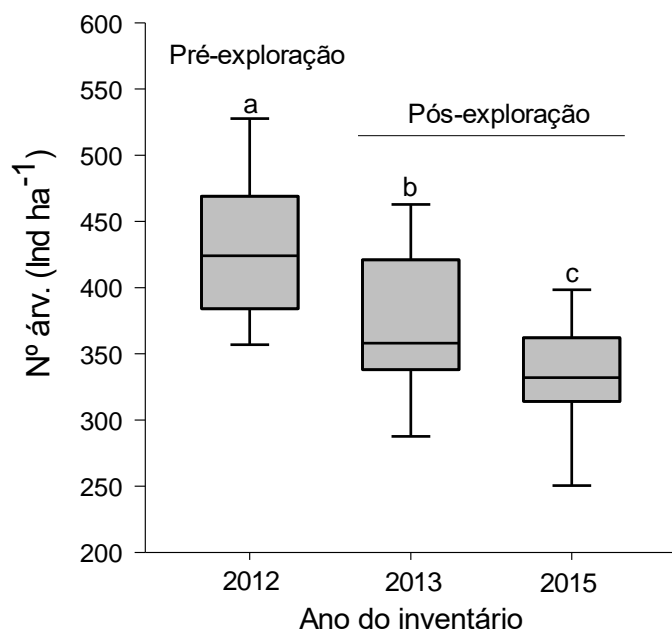
201 A densidade de árvores diminuiu nos dois anos pós-exploração: 13,3% (2013) e 22,5% (2015)  
202 quando comparada com 2012, pré-exploração. A redução no número de árvores ( $\text{ind. ha}^{-1}$ ), portanto,  
203 foi significativa ( $F_{2, 33} = 61,411$   $p < 0,001$ ), com todos os anos diferindo entre si (Figura 2).

204

205

206





215 **Figura 2.** Número de árvores (ind. ha<sup>-1</sup>) com DAP ≥ 10 cm entre 2012 (pré-exploração) e 2013-2015  
 216 (pós-exploração) na UMFI, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil. As médias indicadas pelas diferentes letras  
 217 apresentaram diferenças entre si, Tukey (p < 0,05).

218

219 Encontramos reduções significativas na densidade de árvores (ind. ha<sup>-1</sup>), principalmente em  
 220 relação ao ano não explorado (2012) em quase todas as classes diamétricas, exceto para a classe de 50-  
 221 69,9 cm (Tabela 3). A classe de 10-29,9 cm de diâmetro (classe com maior abundância de indivíduos)  
 222 foi a única que notamos redução significativa no número de árvores entre os três anos estudados  
 223 (Figura 3).

224

225

226

227

228 **Tabela 3.** Análise da variância (ANOVA) da densidade de árvores (ind. ha<sup>-1</sup>) nos três anos de  
229 inventário (2012, 2013, 2015), em quatro classes diamétricas, para árvores com DAP ≥ 10 cm na UMF  
230 I, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil.

<b>Classe diamétrica</b>	<b>GL</b>	<b>F</b>	<b>Valor de p</b>
10-29,9		51,582	p= 0,001
30-49,9	33	7,930	p= 0,003
50-69,9		2,123	p= 0,144
≥70		4,882	p= 0,018

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

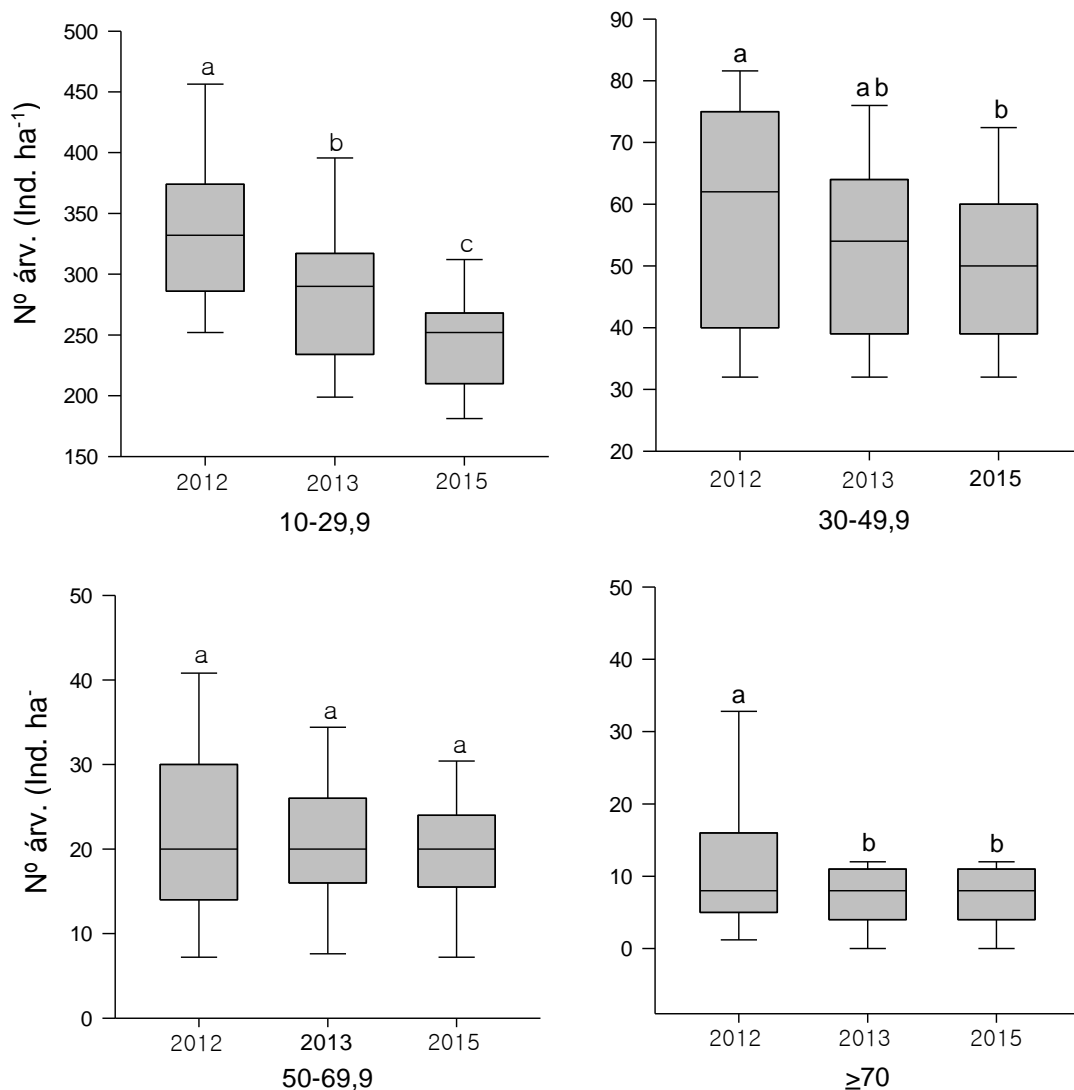
244

245

246

247

248



249 **Figura 3.** Densidade de árvores (ind. ha<sup>-1</sup>) em quatro classes diamétricas para indivíduos com DAP ≥  
250 10 cm, nos três anos de acompanhamento da floresta, 2012 (pré-exploração) e 2013-2015 (pós-  
251 exploração), na UMF I, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil. As médias seguidas de diferentes letras  
252 diferiram entre si, Tukey (p < 0,05).

253

254 Somando-se as classes de DAP 10-29,9 cm e a de 30-49,9 cm obtivemos um total de 268  
255 árvores mortas, sendo que 11,1% (30) desse valor é representado por espécies comerciais presentes na

256 Autorização para Exploração Florestal (AUTEF) da empresa LN Guerra Ltda que seriam  
257 potencialmente as espécies exploradas em ciclos futuros de corte (Tabela 4).

258

259 **Tabela 4.** Espécies comerciais com respectivos números de indivíduos perdidos durante os eventos de  
260 exploração nas classes de 10-29,9 e 30-49, na UMF I, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil.

Nome científico	Nome popular	Nº de indivíduos
<i>Aniba canellila</i> (Kunth) Mez	Louro-precioso	9
<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Tatajuba	11
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist	Goiabão	3
<i>Diploptropis racemosa</i> (Hoehne) Amshoff	Sucupira-pele-de-sapo	1
<i>Licania</i> sp	Oiticica	5
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	Guajará	1

261

### 262 3.3 Diversidade e estrutura vertical

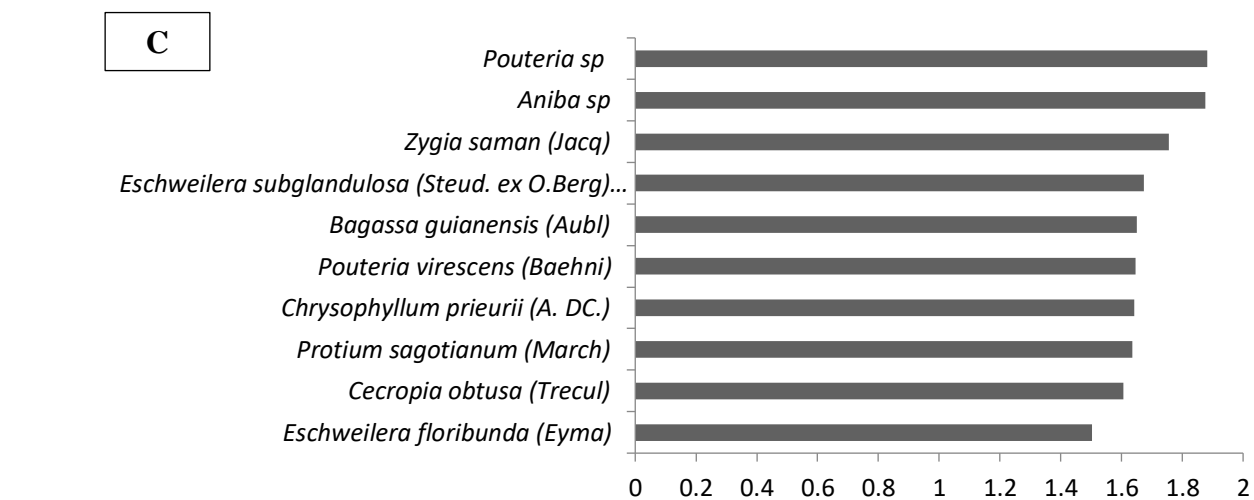
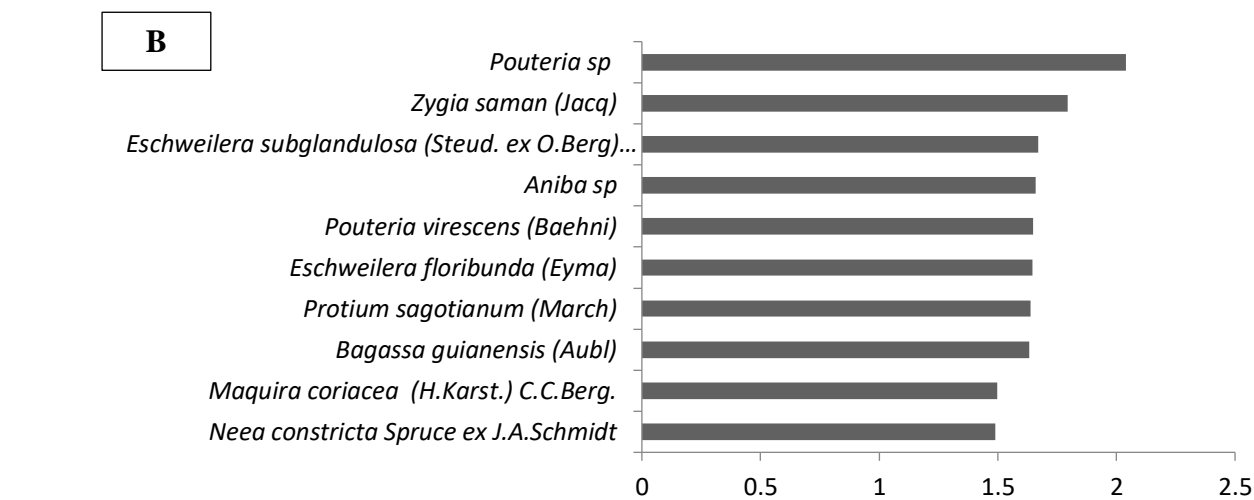
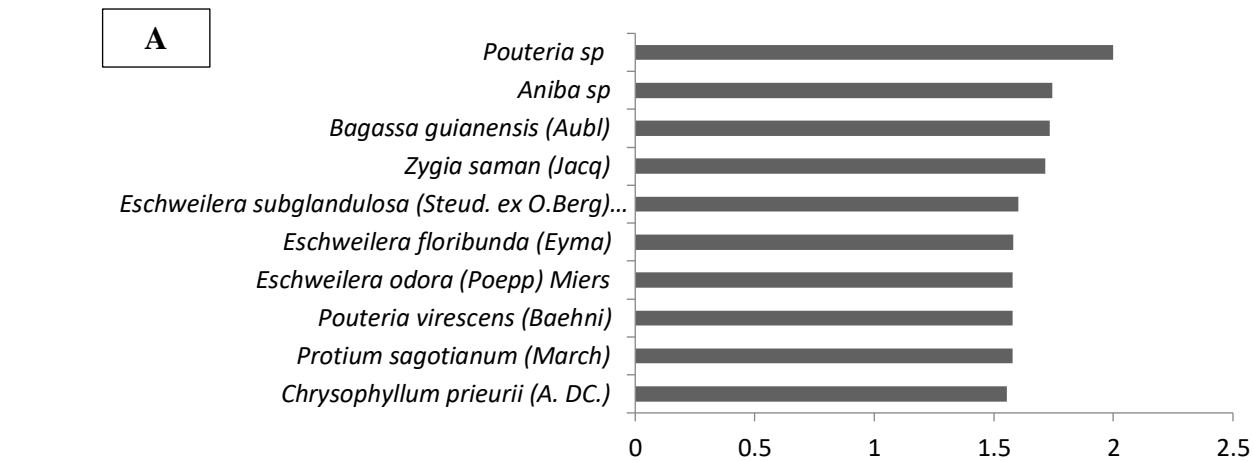
263 O índice de diversidade de Shannon-Winner ( $H'$ ) para as árvores analisadas foi de 4,42 no  
264 ano de 2012, sendo reduzido para 4,41 em 2013, e levemente aumentado para 4,44 em 2015. O Índice  
265 de Valor de Importância (IVI %) apontou para uma pequena mudança na composição da floresta ao  
266 longo dos períodos estudados (Figura 4).

267

268

269

270



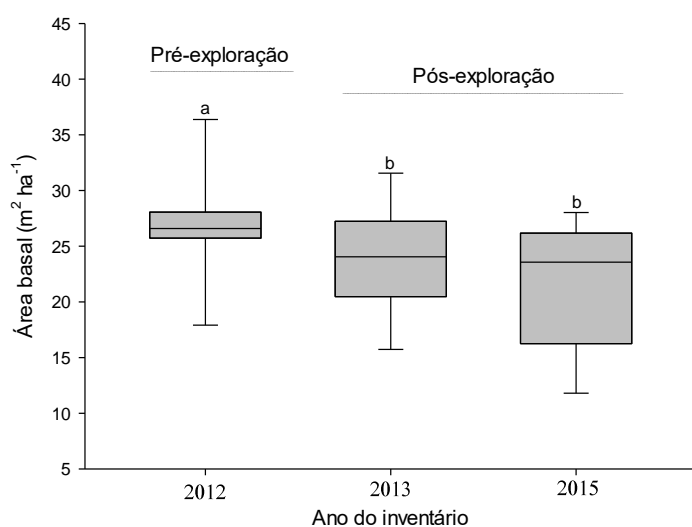
274 **Figura 4.** Índice de Valor de Importância (IVI %) das dez espécies mais importantes no conjunto de  
 275 árvores estudadas na UMF I, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil. **A-** ano de 2012 (pré-exploração). **B e C-**  
 276 anos de 2013 e 2015 (pós-exploração).

277

### 278 3.4 Área basal

279 Houve uma redução significativa da área basal entre os anos avaliados ( $F_{2; 33} = 12,898$ ,  
280  $p=0,001$ ). O ano de 2012, anterior às atividades de exploração, obteve o maior valor de área basal e  
281 diferiu estatisticamente das medidas obtidas nos anos de 2013 e 2015, os quais tiveram exploração de  
282 madeira (Figura 5).

283



284

285 **Figura 5.** Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) das 12 parcelas permanentes nos anos de 2012 (pré-exploração) e 2013-  
286 2015 (pós-exploração) na UMF I, Mamuru-Arapiuns, PA, Brasil. As médias representadas pelas  
287 diferentes letras diferem entre si, Tukey ( $p < 0,05$ ).

288

### 289 3.5 Incremento periódico anual

290 As várias árvores analisadas apresentaram um incremento periódico anual médio do diâmetro  
291 de  $0,82 cm ano^{-1}$  no período de 2012 a 2015. O grau de iluminação da copa das árvores influenciou  
292 significativamente o crescimento ( $F_{2, 453} = 9,3087$ ,  $p < 0,001$ ). As árvores sombreadas cresceram menos  
293 que aquelas com copas totalmente expostas ou recebendo luz difusa (Figura 6). O incremento  
294 diamétrico médio das árvores com copas totalmente expostas foi superior ao das demais categorias,

295 sendo 1,27 cm ano<sup>-1</sup>, enquanto que as árvores com copas recebendo luz difusa e copas sombreadas  
296 apresentaram crescimento de 1,09 cm ano<sup>-1</sup> e 0,75 cm ano<sup>-1</sup> respectivamente.

297 As árvores com copas completas tiveram um incremento diamétrico significativamente  
298 superior àquelas com copas irregulares ( $p = 0,033$ ,  $t = 2,142$ , graus de liberdade = 465). As árvores  
299 com copas completas apresentaram um incremento médio de 1,08 cm ano<sup>-1</sup> sendo 27% maior em  
300 relação àquelas com copas irregulares, que apresentaram um incremento médio de  
301 0,85 cm ano<sup>-1</sup> (Figura 6). Não houve diferença significativa no crescimento das árvores com presença  
302 e ou ausência de cipós ( $p = 0,535$ ,  $t = 0,621$ , graus de liberdade = 489).

303

304

305

306

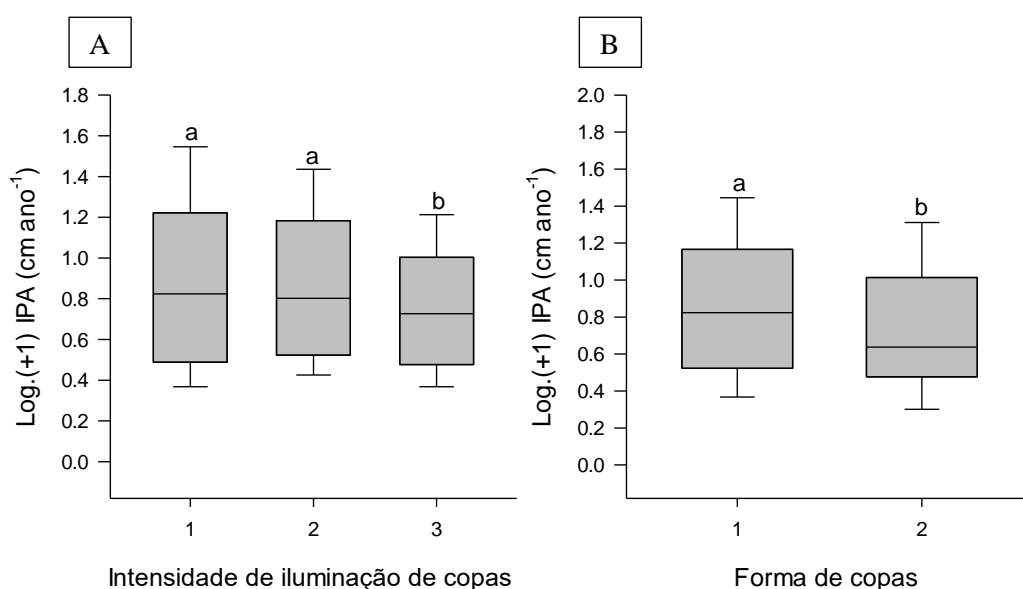
307

308

309

310

311



312 **Figura 6.** Logaritmo (+1) do Incremento periódico anual do DAP (IPA) em (cm ano<sup>-1</sup>) (A) com  
313 diferentes intensidades de iluminação de copas (1- copas totalmente expostas a luz; 2- copas recebendo  
314 luz difusa; 3- copas sombreadas) e (B) diferentes níveis de formas de copa (1- copa completa normal;  
315 2- copa incompleta). As médias representadas pelas diferentes letras diferem entre si. Intensidade de  
316 exposição da copa Tukey ( $p < 0,05$ ). Forma de copas, teste T de amostras independentes ( $p < 0,05$ ).

317

#### 318 4. Discussão

319 A análise dos dados coletados nas doze parcelas permanentes da UMF I do conjunto de Glebas  
320 Mamuru-Arapiuns levantam preocupações quanto a sustentabilidade da exploração naquela unidade e  
321 conseqüentemente na região Amazônica como um todo, especificamente pela alteração da composição  
322 de espécies da comunidade e redução na densidade de árvores e diminuição da área basal ao longo do  
323 período de três anos de acompanhamento. Esperamos que esta discussão contribua para o  
324 aprimoramento das atividades de conservação e uso sustentável das florestas nativas amazônicas.

#### 325 **4.1 Taxas de mortalidade e recrutamento**

326 As taxas de mortalidade encontradas no presente estudo em ambos os períodos estudados  
327 (2012-2013 e 2013-2015) foram superiores às de recrutamento, o que sugere o caráter não  
328 sustentável da exploração madeireira, caso esse padrão se mantenha ao longo do tempo (Wright et al.,  
329 2010). Os mesmos padrões de mortalidade continuamente superando o recrutamento nas florestas  
330 sujeitas à exploração madeireira são recorrentemente reportados na literatura, revelando que tal aspecto  
331 é algo comum em áreas submetidas à exploração (Sawczuk et al., 2014; Moraes et al., 2017; Souza et  
332 al., 2017). Já para uma floresta no município de Rio Preto da Eva, Amazônia central, o inverso foi  
333 constatado por Silva et al. (2015), que em um período de 5 anos de acompanhamento, com três  
334 momentos de avaliação (2005, 2007 e 2010), para árvores com DAP  $\geq 10$  cm verificaram que as taxas  
335 de recrutamento foram superiores às de mortalidade.

#### 336 **4.2 Densidade de indivíduos**

337 O número de indivíduos por hectare no ano de 2012 (pré-exploração) foi superior e diferiu  
338 significativamente daqueles dos anos seguintes, após a exploração madeireira. Semelhante resultado  
339 foi verificado por Francez et al. (2009) em uma área de manejo no município de Paragominas, estado  
340 do Pará os quais, ao analisarem a mortalidade de árvores com DAP  $\geq 10$  cm, observaram mudança  
341 repentina na densidade de indivíduos no período pós-exploração, enquanto que em uma área controle,  
342 não sujeita à atividade madeireira, não identificaram os mesmos resultados. A diferença revelada na



343 densidade de indivíduos entre os anos é logicamente resultado direto ou indireto das operações de  
344 corte, assim como interpretado por Souza et al. (2017).

345 Em uma pesquisa conduzida por Dionisio et al. (2018) em uma área de manejo no município  
346 de Paragominas, estado do Pará, foi detectada uma queda significativa na densidade de árvores com  
347  $DAP \geq 45$  cm após a primeira intervenção na floresta. Segundo os autores a mortalidade significativa  
348 foi observada até 5 anos após a exploração. Se a cada ciclo de corte a atividade madeireira causar altas  
349 taxas de mortalidade sobre espécies, sejam elas comerciais ou não, a floresta estará fadada a  
350 progressiva degradação (Medjibe e Putz, 2012).

351 Avaliando a densidade de árvores por classe de DAP, observamos reduções significativas  
352 principalmente na classe de DAP 10-29,9 cm em que todos os anos diferiram significativamente no  
353 número de árvores por hectare. Nossos resultados se assemelharam aos de Braz et al. (2014) que  
354 também encontraram reduções mais evidentes nas menores classes em uma área de exploração florestal  
355 no estado do Mato Grosso. Isso pode estar relacionado ao maior número de árvores nessa classe, que  
356 por sua vez sofrem mais com as operações de corte, facilitando a ocorrência de diferenças significativas  
357 em relação a densidade de indivíduos. Dentre as árvores potencialmente exploráveis ( $DAP \geq 50$  cm),  
358 de acordo com o plano de manejo aprovado para a área estudada, não encontramos diminuição  
359 significativa na densidade de árvores em nenhum dos anos avaliados na classe de 50-69 cm, sendo  
360 apenas reportada uma diferença na densidade na classe  $\geq 70$  cm entre um ano não explorado e os dois  
361 últimos que sofreram com a atividade madeireira. Essa diferença pode evidenciar a maior retirada de  
362 árvores nessa classe. Wu et al. (2017) destacaram que a mortalidade de árvores está negativamente  
363 relacionada ao diâmetro. Esse fato em áreas exploradas possivelmente se explica pela maior resistência  
364 de árvores maiores a danos, bem como seu maior acesso à luz, maior profundidade do sistema  
365 radicular, se sobressaindo àqueles indivíduos menores (Medjibe e Putz, 2012; Dionisio et al., 2017;  
366 Fontes et al., 2018; Van Der Werf et al., 2019;).

### 367 **4.3 Diversidade e estrutura vertical**

368 A análise da diversidade de árvores estudada aponta para uma diminuição da biodiversidade  
369 por um momento, seguida por um leve aumento. Os valores de diversidade encontrados ao final deste  
370 estudo, em um curto prazo de três anos, superiores a aqueles do início, devem ser consequência do  
371 favorecimento das atividades madeireiras ao grupo das espécies pioneiras que são favorecidas pelo  
372 aumento da luminosidade criado pela atividade exploratória (Baker et al. 2009; Reis et al., 2010). Esses  
373 resultados estão de acordo com a chamada hipótese do distúrbio intermediário (Townsend  
374 et al., 1997) que comprovadamente se aplica a comunidade de árvores da floresta tropical (Molino e  
375 Sabatier, 2001).

376 Enquanto que um aumento na diversidade pode parecer uma consequência positiva da  
377 perturbação criada pela exploração madeireira, preocupa a alteração na composição de espécies  
378 apontada por mudanças no índice de valor de importância. Ficou evidente que a exploração prejudicou  
379 algumas espécies madeireiras, como *Bagassa guianensis*. Não temos informações suficientes para  
380 afirmar se a diminuição no IVI da espécie decorre principalmente do impacto da exploração direta de  
381 indivíduos ou se por causa dos impactos indiretos da exploração madeireira. De toda forma, trata-se  
382 de uma mudança que pode apontar para a deterioração populacional da espécie de importância  
383 econômica. Por outro lado, um exemplo de uma espécie pioneira favorecida pelo aumento da  
384 luminosidade decorrente da operação madeireira é *Cecropia obtusa*, que nas duas primeiras  
385 amostragens não constava entre as dez espécies de maior IVI, surgindo em nono lugar no ano de 2015.

#### 386 **4.4 Área basal**

387 O ano de 2013 apesar de ter diferido de 2012 em relação à área basal, apresentou uma redução  
388 de apenas 10% um valor semelhante àquele encontrado por Lima et al. (2018) na Floresta Nacional do  
389 Tapajós. Os autores verificaram redução de 8% na área basal após uma primeira intervenção na  
390 floresta. No período de 2012-2015, constatamos que houve uma redução de 18% da área basal. É  
391 importante destacar que uma redução superior a 15% pode aumentar as chances de uma atividade  
392 madeireira não ser sustentável (Zimmerman e Kormos, 2012).

393           Acreditamos que a manutenção da área basal nos dois anos após a exploração madeireira está  
394 relacionada ao incremento diamétrico das árvores e recrutamento de novos indivíduos nas parcelas,  
395 em consequência do aumento na luminosidade que penetra na floresta. Entretanto, entre os indivíduos  
396 recrutados estão as pioneiras demandantes de luz que se aproveitam da abertura do dossel e  
397 consequentemente da maior intensidade de luz no interior da floresta, aumentando assim sua taxa de  
398 crescimento (Chazdon, 2012; Hirai et al., 2012; Vásquez-Grandon et al., 2018; Amaral et al., 2019).

#### 399   **4.5 Incremento periódico anual**

400           Nos três anos de monitoramento da floresta, encontramos uma taxa média de crescimento  
401 diamétrico de 0,82 cm ano<sup>-1</sup> para a comunidade, maior que aquela encontrada por Vatrás et al. (2016)  
402 em uma área de manejo no município de Paragominas, estado do Pará. Em uma área manejada no  
403 município de Belterra, Moraes et al. (2017) encontraram uma taxa média de 0,40 cm ano<sup>-1</sup> para a  
404 comunidade florestal durante o período de um ano de monitoramento da floresta.

405           Encontramos uma relação positiva da intensidade de iluminação da copa influenciando o  
406 crescimento diamétrico. Embora tenhamos observado que não houve diferença entre árvores com  
407 copas totalmente expostas à luz e aquelas recebendo luz difusa, tendo as duas crescido  
408 significativamente mais que as árvores sombreadas, alguns estudos retratam tal diferença (Souza et al.,  
409 2014; Vatrás et al., 2016). No estudo de Moraes et al. (2017) os autores encontraram que as árvores  
410 totalmente expostas à luz cresceram 34,7% a mais que aquelas com copa parcialmente iluminadas e  
411 57,1% a mais que as sombreadas. Dessa forma, a realização de podas visando maximizar a incidência  
412 de luz solar sobre a copa das árvores de maior valor comercial, como tratamento silvicultura para  
413 aumentar o crescimento das árvores, deve ser aplicado em florestas manejadas sempre que possível  
414 (Peña-Claros et al., 2008).

415           Os resultados encontrados da influência da forma da copa no crescimento diamétrico das  
416 árvores em nossa pesquisa se assemelha aos relatados por Taffarel et al. (2014) e Souza et al. (2017),

417 ambos na Amazônia brasileira, onde os indivíduos com copa completa apresentaram as maiores taxas  
418 de crescimento. Com isso, fica evidente que a exploração florestal deve reduzir ao máximo os danos  
419 ocasionados nas copas das árvores, tendo em vista que há estreita relação de crescimento e integridade  
420 da copa (Souza et al., 2017). Acreditamos que o fato de não termos encontrado diferença no incremento  
421 das árvores sob influência de cipós está relacionado ao curto período de avaliação. A relação tem sido  
422 repetidamente reportada na literatura (Vatrax et al., 2016; Moraes et al., 2017; Souza et al., 2017).

## 423 **5. Considerações gerais**

424 Como dito acima, a exploração madeireira é a atividade economicamente mais importante  
425 realizada nas florestas tropicais (Garcia-Fernandez et al., 2008; Gomes et al., 2012; Guariguata et al.,  
426 2012; Hecht, 2013; Borner et al., 2016; Lopes et al., 2019). Entretanto, para que tal atividade não seja  
427 destrutiva, mas ao contrário uma alternativa para a conservação das florestas e para que sua  
428 importância econômica possa se manter no longo prazo, é fundamental que ela seja sustentável. Ou  
429 seja, que após os primeiros ciclos de corte possam ocorrer outros sucessivamente sem que haja uma  
430 deterioração do ecossistema ou diminuição do retorno econômico associado a exploração madeireira  
431 (Reis et al., 2010; Brancalion et al., 2018).

432 Uma estratégia considerada para a conservação da floresta tropical amazônica foram as  
433 concessões de florestas públicas. No entanto, os órgãos fiscalizadores, principalmente os do Brasil,  
434 precisam ser mais rigorosos no que diz respeito ao monitoramento das florestas designadas à  
435 exploração seletiva de madeira, se valendo também das várias pesquisas científicas que têm apontado  
436 para a futura degradação de tais ecossistemas (Brancalion et al., 2018; Poudyal et al., 2018). No  
437 Camboja, algumas concessões florestais foram responsáveis pela total degradação da floresta e a  
438 conversão da mesma em outros usos da terra (The World Bank, 2006).

439 Apesar do tempo de monitoramento relativamente curto deste estudo, os resultados  
440 encontrados, especialmente uma pronunciada redução na área basal e uma taxa de mortalidade de

441 árvores que superam as taxas de recrutamento levantam preocupações sobre a perspectiva de  
442 sustentabilidade das operações em curso.

443 A significativa redução da densidade de árvores nas menores classes, decorrente da  
444 mortalidade, se mostra preocupante, tendo em vista que as espécies comerciais constituem uma fração  
445 dos indivíduos mortos no período estudado que formariam o estoque da futura colheita. Dessa forma,  
446 é provável que as populações destas espécies entrem em declínio, diminuindo progressivamente o  
447 potencial econômico das explorações madeireiras. Em um estudo de Dionisio et al. (2018) os autores  
448 verificaram uma perda de 65,4% de árvores comerciais após a primeira exploração de madeira. Esse  
449 fato tem implicações sérias para a sustentabilidade e regeneração do ecossistema florestal, uma vez  
450 que para ciclos futuros de corte, as espécies disponíveis podem ser constituídas apenas por aquelas de  
451 baixo valor comercial, que frequentemente também possuem baixa densidade da madeira, o que  
452 prejudica a função da floresta como elemento de estoque de carbono (Phillips e Lewis, 2014).

453 É importante ressaltar que a mortalidade das árvores em florestas tropicais pode ter uma gama  
454 de possíveis causas, sendo que sua importância relativa ainda permanece pouco compreendida (Larson  
455 e Franklin, 2010; Hurst et al., 2011). Em áreas sujeitas à exploração madeireira, a literatura nos mostra  
456 que mesmo sob técnicas de exploração de impacto reduzido as árvores acabam morrendo  
457 principalmente por impacto direto ou indireto das operações de corte (Dionisio et al., 2017; Lima et  
458 al., 2018).

459 Visando reduzir a mortalidade que se segue após a exploração, uma solução adequada seria a  
460 aplicação de intervenções silviculturais que garantissem a sobrevivência das árvores remanescentes,  
461 principalmente aquelas com danos ocasionados pelas atividades de exploração (De Avila et al., 2017).  
462 Porém, no Brasil, intervenções silviculturais pós manejo ainda não são amplamente difundidas  
463 (Carvalho et al., 2013). Entre os empecilhos para o uso de tal prática estão os altos custos envolvidos  
464 no processo (Souza et al., 2015).

465 Ademais, em um contexto de mudanças climáticas, em que o aumento da temperatura e os  
466 eventos de seca mais pronunciada aumentam a probabilidade de mortalidade das árvores e ocorrência  
467 de incêndios florestais, prezar pela conservação dos ecossistemas florestais, incluindo uma  
468 preocupação com as populações das espécies exploradas é de extrema importância (Rowland et al.,  
469 2015; Fearnside, 2017)

470 O crescimento diamétrico das árvores, especialmente na floresta tropical, tem sido relatado  
471 como geograficamente muito variável (Carvalho et al., 2004). Dentre as causas dessa variabilidade  
472 podemos citar as diferenças na qualidade do solo, pluviosidade, drenagem, além dos próprios atributos  
473 fisiológicos de cada espécie que compõe as comunidades arbóreas com suas complexas relações  
474 ecológicas (Kuswandi, 2014; Jardim, 2015). Dessa forma, estudar essa variabilidade, incluindo a  
475 variação de espécie para espécie é crucial no processo de determinação da intensidade e dos ciclos de  
476 corte, sendo também importante indicador de ações silviculturais para o povoamento (Jardim et al.,  
477 2008; Braz et al., 2012).

478 Os resultados obtidos indicam que, fatores como iluminação da copa e forma de copa, como  
479 também presença de cipós devem ser avaliados e levados em conta no momento das definições do  
480 ciclo de corte, baseados no crescimento diamétrico das plantas. Logo, prognosticar a produção futura  
481 de madeira, levando em consideração a forma de crescimento peculiar de cada espécie, e, para a  
482 floresta, sob a influência tanto das variáveis ambientais, quanto por aquelas relacionadas à ação  
483 colateral do manejo, pode servir como subsidio para atingir uma exploração que se aproxime aos ideais  
484 de sustentabilidade (Zimmermann e Kormos, 2012; Schöngart et al., 2017).

## 485 **6. Conclusão**

486 Em conclusão, acreditamos que as áreas submetidas à exploração madeireira em conjunto  
487 com áreas de preservação integral, podem compor uma estratégia para conservação das florestas.  
488 Entretanto, ainda é necessário um longo percurso como diminuição das intensidades de corte,

489 aprimoramento e aplicação dos tratamentos silviculturais, enriquecimento através do plantio direto das  
490 espécies de maior valor econômico para que a exploração possa ser considerada verdadeiramente  
491 sustentável. Os resultados aqui obtidos indicam que a exploração não está nesse caminho, uma vez que  
492 prejudica a densidade das espécies, principalmente daquelas de maior valor econômico.

493

#### 494 **Agradecimentos**

495           Ao grupo LN Guerra Ltda., por disponibilizar os dados para a realização da pesquisa, bem  
496 como por financiar parte dela.

497           À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código  
498 de Financiamento (88882.445557/2019-01).

#### 499 **Referências Bibliográficas**

500

501 Amaral, M. R., Lima, A. J., Higuchi, F. G., dos Santos, J., Higuchi, N., 2019. Dynamics of Tropical Forest  
502 Twenty-Five Years after Experimental Logging in Central Amazon Mature Forest. *Forests*. 10.2: 89.

503 Asner, G. P., Keller, M., Lentini, M., Merry, F., Souza Jr, C., 2009. Selective logging and its relation to  
504 deforestation. In: Keller M, Bustamante M, Gash J, Dias PS, editors. *Amazonia and Global Change*.  
505 Washington, DC: American Geophysical Union. 25–42.

506 Baker, T. R., Phillips, O. L., Laurance, W. F., Pitman, N. C., Almeida, S., Arroyo, L., Laurance, S. G., 2009.  
507 Do species traits determine patterns of wood production in Amazonian forests?. *Biogeosciences*.6, 297-  
508 307.

509 Beisner, B. E., Haydon, D. T., Cuddinton, K., 2003. Alternative stable states in ecology. *Frontiers in Ecology*  
510 and the Environment. 1.7: 376-382.

511 Bicknell, J. E., Struebig, M. J., Davies, Z. G., 2015. Reconciling timber extraction with biodiversity  
512 conservation in tropical forests using reduced-impact logging. *Journal of Applied Ecology*. 52.2:379-388.

513 Bicknell, J. E., Struebig, M. J., Edwards, D. P., Davies, Z. G., 2014. Improved timber harvest techniques  
514 maintain biodiversity in tropical forests. *Current Biology*. 24. 23, R1119-R1120.

515 Borner, J., Baylis, K., Corbera, E., Ezzine-de-Blas, D., Ferraro, P. J., Honey-Rosés, J., Wunder, S., 2016.  
516 Emerging evidence on the effectiveness of tropical forest conservation. *PloS one*. 11. 11.

517 Brancalion, P. H., de Almeida, D. R., Vidal, E., Molin, P. G., Sontag, V. E., Souza, S. E., Schulze, M. D., 2018.  
518 Fake legal logging in the Brazilian Amazon. *Science Advances*. 4. 8: eaat1192.

519 Braz, E. M., de Mattos, P. P., Oliveira, M. F., Basso, R. O., 2014. Strategies for achieving sustainable logging  
520 rate in the Brazilian Amazon Forest. *Open Journal of Forestry*. v.4, n.2, p.100-105, fev. 2014.

521 Braz, E. M., Schneider, P. R., de Mattos, P. P., Selle, G. L., Thaines, F., Ribas, L. A., Vuaden, E., 2012. Taxa  
522 de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. *Ciência Florestal*. 22. 1: 137-145.

523 Carvalho, J. D., Silva, J. N. M., Lopes, J. C. A., 2004. Crescimento de uma floresta de terra firme na Amazônia  
524 brasileira em um período de oito anos após a exploração florestal. *Acta Amazônica*. 34, 209-217.

525 Carvalho, J. O. P., Silva, J. N. M., Silva, M. G., Gomes, J. M., Taffarel, M., Nobre, D. N. V., 2013. Mortality  
526 of girdled trees and survival of seedlings in canopy gaps after logging in a terra firme forest in Brazilian  
527 Amazonia. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*.  
528 56. 1: 48-52.

529 Chazdon, R., 2012. Regeneração de florestas tropicais Tropical forest regeneration. *Boletim Museu Paraense*  
530 *Emílio Goeldi de Ciências Naturais*. 7, 195-218.

531 Darrigo, M. R., Venticinque, E. M., dos Santos, F. A. M., 2016. Effects of reduced impact logging on the forest  
532 regeneration in the central Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 360, 52-59.

533 De Avila, A. L., Araujo, M. M., Gasparin, E., Longhi, S. J., 2013. Mecanismos de regeneração natural em  
534 remanescente de Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil. *Cerne*. 19. 4: 621-628.

535 De Avila, A. L., Schwartz, G., Ruschel, A. R., do Carmo Lopes, J., Silva, J. N. M., de Carvalho, J. O. P., Bauhus,  
536 J., 2017. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging  
537 and thinning in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management*. 385, 225-235.



- 538 Dionisio, L. F. S., Schwartz, G., do Carmo Lopes, J., de Assis Oliveira, F., 2018. Growth, mortality, and  
539 recruitment of tree species in an Amazonian rainforest over 13 years of reduced impact logging. *Forest  
540 Ecology and Management*. 430, 150-156.
- 541 Dionisio, L. F. S., Schwartz, G., Mazzei, L., do Carmo Lopes, J., dos Santos, G. G. A., de Assis Oliveira, F.,  
542 2017. Mortality of stocking commercial trees after reduced impact logging in eastern Amazonia. *Forest  
543 Ecology and Management*. 401, 1-7.
- 544 Edwards, D. P., Tobias, J. A., Sheil, D., Meijaard, E., Laurance, W. F., 2014. Maintaining ecosystem function  
545 and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*. 29, 511–520.
- 546 EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), 2007. Zoneamento ecológico-econômico da área  
547 de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Belém, Pa, Brasil. p. 101.
- 548 FAO, I., 2011. The state of forests in the Amazon Basin, Congo Basin and Southeast Asia. Food and Agriculture  
549 Organization of the United Nations and International Tropical Timber Organization. 1-83.
- 550 Fearnside, P. M., 2017. Deforestation in Brazilian Amazonia. In: E. Wohl (ed.) *Oxford Bibliographies in  
551 Environmental Science*. Oxford University Press, New York, USA.  
552 <https://doi.org/10.1093/obo/9780199363445-0064>
- 553 Fontes, C. G., Chambers, J. Q., Higuchi, N., 2018. Revealing the causes and temporal distribution of tree  
554 mortality in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 424, 177-183.
- 555 Francez, L. M. D. B., Carvalho, J. O. P. D., Jardim, F. C. D. S., Quanz, B., Pinheiro, K. A. O., 2009. Efeito de  
556 duas intensidades de colheita de madeira na estrutura de uma floresta natural na região de Paragominas,  
557 Pará. *Acta Amazônica*. 39. 4: 851-863.
- 558 Fredericksen, T. S., Pariona, W., 2002. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging  
559 gaps in a Bolivian tropical forest. *Forest Ecology and Management*. 171. 3: 223-230.
- 560 Garcia-Fernandez, C., Ruiz-Perez, M., Wunder, S., 2008. Is multiple-use forest management widely  
561 implementable in the tropics? *Forest Ecology and Management*. 256. 7: 1468-1476.
- 562 Gibson, L., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Gardner, T. A., Barlow, J., Sodhi, N. S., 2011. Primary forests  
563 are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*. 478. 7369, 378.

- 564 Gomes, C. V. A., Vadjunec, J. M., Perz, S. G., 2012. Rubber tapper identities: Political-economic dynamics,  
565 livelihood shifts, and environmental implications in a changing Amazon. *Geoforum*. 43. 2: 260-271.
- 566 Gourlet-Fleury, S., Mortier, F., Fayolle, A., Baya, F., Ouédraogo, D., Bénédet, F., Picard, N., 2013. Tropical  
567 forest recovery from logging: a 24-year silvicultural experiment from Central Africa. *Philosophical*  
568 *Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 368. 1625, 20120302.
- 569 Guariguata, M. R., Sist, P., Nasi, R., 2012. Reprint of: Multiple use management of tropical production forests:  
570 How can we move from concept to reality? *Forest Ecology and Management*. 268,1-5.
- 571 Hecht, S. B., 2013. *The scramble for the Amazon and the “Lost Paradise” of Euclides da Cunha*. Chicago: The  
572 University of Chicago Press.
- 573 Hirai, E. H., Carvalho, C. J. R., Silva, J. N. M., Carvalho, J. O. P., Queiroz, W. T., 2012. Efeito da exploração  
574 florestal de impacto reduzido sobre a regeneração natural em uma floresta densa de terra firme no  
575 município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Scientia Forestalis*. 40, 306–315.
- 576 Holling, C. S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*.  
577 4. 1: 1-23.
- 578 Hurst, J. M., Allen, R. B., Coomes, D. A., Duncan, R. P., 2011. Size-specific tree mortality varies with  
579 neighbourhood crowding and disturbance in a montane *Nothofagus* forest. *PloS One*. 6. 10.
- 580 IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*, segund.  
581 ed. Rio de Janeiro.
- 582 Jardim, F. C. S., 2015. Natural re generation in tropical forests. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal*  
583 *of Agricultural and Environmental Sciences*. 58. 1: 105-113.
- 584 Jardim, F. C. S., Sena, J. R. C., Miranda, I. S., 2008. Dinâmica e estrutura da vegetação com  $DAP \geq 5$  cm em  
585 torno de clareiras da exploração florestal seletiva, em Moju Pará. *Revista de Ciências Agrárias*. Belém,  
586 n. 49, p. 41 – 52.
- 587 Köppen, W., Geiger, R., 1936. *Classificação climática de Köppen*.

- 588 Kuswandi, R., 2014. The effect of silvicultural treatment on stand growth of logged-over forest in South Papua.  
589 Indonesian Journal of Forestry Research. 1. 2: 117-26.
- 590 Larson, A. J., Franklin, J. F., 2010. The tree mortality regime in temperate old-growth coniferous forests: the  
591 role of physical damage. Canadian Journal of Forest Research. v. 40, n. 11, p. 2091-2103.
- 592 Lima, B. A., de Almeida, B. R. S., de Sousa, E. A. B., da Silva Cruz, G., Melo, M. B., de Oliveira Melo, L., dos  
593 Santos, M. F., 2018. Estrutura e dinâmica florestal sob efeito do manejo madeireiro na FLONA Tapajós.  
594 Advances in Forestry Science. 5. 4: 437-443.
- 595 Lopes, E., Soares-Filho, B., Souza, F., Rajão, R., Merry, F., Ribeiro, S. C., 2019. Mapping the socio-ecology of  
596 Non Timber Forest Products (NTFP) extraction in the Brazilian Amazon: The case of açai (*Euterpe*  
597 *precatoria* Mart) in Acre. Landscape and Urban Planning. 188, 110-117.
- 598 MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior), 2019. Disponível em:  
599 [http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-uf-](http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-uf-produto?uf=pa)  
600 [produto?uf=pa](http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-uf-produto?uf=pa) Acesso em: 20 jan. 2020.
- 601 Medjibe, V. P., Putz, F. E., 2012. Cost comparisons of reduced-impact and conventional logging in the tropics.  
602 Journal of Forest Economics. 18, 242–256.
- 603 Molino, J. F., Sabatier, D., 2001. Tree diversity in tropical rain forests: a validation of the intermediate  
604 disturbance hypothesis. Science, 294. 5547, 1702-1704.
- 605 Moraes G. C., Schorr L. P. B., Melo L. O., Aguiar J. T., Cuchi, T., Silveira, A. C., Rodrigues, B. L., Bezerra,  
606 T. G., Nascimento, E. M., Vendrusculo, E., Pereira, H. M. L., 2017. Increment, Ingrowth And Mortality  
607 After A Forest Management Activity In The Amazon Rainforest. Australian Journal of Basic and Applied  
608 Sciences. 11. 12: 25-31.
- 609 Oliveira, M. D., Oliveira, L. C., Acuña, M. H. A., Braz, E. M., 2017. Twenty years monitoring growth dynamics  
610 of a logged tropical forest in Western Amazon. Pesquisa Florestal Brasileira.v. 37, n. 92, p. 493-502.

- 611 Peña-Claros, M., Fredericksen, T. S., Alarcón, A., Blate, G. M., Choque, U., Leño, C., Putz, F. E., 2008.  
612 Beyond reduced-impact logging: silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. *Forest*  
613 *Ecology and Management*. 256. 7: 1458-1467.
- 614 Phillips, O. L., Lewis, S. L., 2014. Recent changes in tropical forest biomass and dynamics. *Forests and global*  
615 *change*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 77-108.
- 616 Pinard, M. A., Putz, F. E., 1996. Retaining forest biomass by reducing logging damage. *Biotropica*. 28: 278-  
617 295.
- 618 Poudyal, B. H., Maraseni, T., e Cockfield, G., 2018. Evolutionary dynamics of selective logging in the tropics:  
619 A systematic review of impact studies and their effectiveness in sustainable forest management. *Forest*  
620 *Ecology and Management*. 430, 166-175.
- 621 Putz, F. E., Sist, P., Fredericksen, T., Dykstra, D., 2008. Reduced-impact logging: challenges and opportunities.  
622 *Forest Ecology and Management*. 256. 7: 1427-1433.
- 623 Putz, F. E., Zuidema, P. A., Synnott, T., Peña-Claros, M., Pinard, M. A., Sheil, D., Palmer, J., 2012. Sustaining  
624 conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. *Conservation*  
625 *Letters*. 5. 4: 296-303.
- 626 Reis, L. P., dos Reis, P. C. M., Ruschel, A. R., Silva, J. N. M., de Carvalho, J. O. P., de Souza, A. L., Miyahara,  
627 R. K. N., 2015. Forest dynamics in the eastern Amazon with special reference to Sapotaceae species.  
628 *Floresta*. 45. 3: 567-576.
- 629 Reis, L. P., Ruschel, A. R., Coelho, A. A., da Luz, A. S., Martins-da-Silva, R. C. V., 2010. Avaliação do  
630 potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. *Pesquisa*  
631 *Florestal Brasileira*. 30. 64: 265.
- 632 Reis, L. P., Silva, J. N. M., dos Reis, P. C. M., de Carvalho, J. O. P., de Queiroz, W. T., Ruschel, A. R., 2013.  
633 Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia.  
634 *Floresta*. 43. 3: 395-406.

- 635 Richardson, V. A., Peres, C. A., 2016. Temporal decay in timber species composition and value in Amazonian  
636 logging concessions. PloS One. 11. 7: e0159035.
- 637 Rowland, L., da Costa, A. C. L., Galbraith, D. R., Oliveira, R. S., Binks, O. J., Oliveira, A. A. R., Ferreira, L.  
638 V., 2015. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. Nature.  
639 528. 7580: 119-122.
- 640 Sawczuk, A. R., Figueiredo Filho, A., Dias, A. N., Watzlawick, L. F., Stepka, T. F., 2014. Alterações na  
641 estrutura horizontal, no período de 2002-2008, em Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do estado do  
642 Paraná. Ciência florestal. 24. 1: 149-160.
- 643 Schöngart, J., Bräuning, A., Barbosa, A. C. M. C., Lisi, C. S., de Oliveira, J. M., 2017. Dendroecological studies  
644 in the Neotropics: history, status and future challenges. In Dendroecology. Springer, Cham. p. 35-73.
- 645 Shenkin, A., Bolker, B., Peña-Claros, M., Licona, J. C., Putz, F. E., 2015. Fates of trees damaged by logging  
646 in Amazonian Bolivia. Forest Ecology and Management, 357, 50-59.
- 647 Silva, J. N. M., Lopes, J., de Oliveira, L. C., da Silva, S. M. A., de Carvalho, J. O. P., Costa, D. H. M., Tavares,  
648 M. J. M., 2005. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da  
649 Amazônia brasileira. Belém: Embrapa/ITTO. 68 p.
- 650 Silva, K. E., Souza, C. R., Azevedo, C. P., Rossi, L. M. B., 2015. Dinâmica florestal, estoque de carbono e  
651 fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. Scientia Forestalis. 43. 105:  
652 193-201.
- 653 Souza, D. V., de Carvalho, J. O. P., da Silva Mendes, F., de Oliveira Melo, L., Silva, J. N. M., da Silva Jardim,  
654 F. C., 2014. Growth of *Manilkara huberi* and *Manilkara paraensis* after logging and silvicultural  
655 treatments in the municipality of Paragominas, Pará, Brazil. Floresta. 44.3:485-496.
- 656 Souza, M.A.S., Azevedo, C. P., Souza, C. R., França, M., Vasconcelos Neto, E. L., 2017. Dinâmica e produção  
657 de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia central. Floresta. 47. 1: 55-63.
- 658 Swaine, M. D., Lieberman, D., Putz, F. E., 1987. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review.  
659 Journal of Tropical Ecology, 3. 4: 359-366.

660 Taffarel, M., Carvalho, J. O. P. D., Melo, L. D. O., Silva, M. G. D., Gomes, J. M., Ferreira, J. E. R., 2014. Effect  
661 of the post-harvesting silviculture on a *Lecythis lurida* (Miers) Mori population in a 'terra firme' forest in  
662 Brazil's Amazon forest. *Ciência Florestal*. 24. 4: 889-898.

663 The World Bank, 2006. Cambodia - Forest Concession Management and Control Pilot Project: Inspection Panel  
664 Investigation Report. Investigation Report. Report n. 35556. Disponível em:  
665 <[http://documents.worldbank.org/curated/pt/206011468231848248/Cambodia-Forest-Concession-](http://documents.worldbank.org/curated/pt/206011468231848248/Cambodia-Forest-Concession-Management-and-Control-Pilot-Project-Inspection-Panel-Investigation-Report)  
666 [Management-and-Control-Pilot-Project-Inspection-Panel-Investigation-Report](http://documents.worldbank.org/curated/pt/206011468231848248/Cambodia-Forest-Concession-Management-and-Control-Pilot-Project-Inspection-Panel-Investigation-Report)>. Acesso em: 09 jan.  
667 2020.

668 Toledo, J. J., Magnusson, W. E., Castilho, C. V., Nascimento, H. E., 2011. How much variation in tree mortality  
669 is predicted by soil and topography in Central Amazonia? *Forest Ecology and Management*. 262. 3: 331-  
670 338.

671 Townsend, C. R., Scarsbrook, M. R., Dolédec, S., 1997. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and  
672 biodiversity in streams. *Limnology and oceanography*. 42. 5: 938-949.

673 Van der Werf, E., Indrajaya, Y., Mohren, F., Van Ierland, E. C., 2019. Logging damage and injured tree  
674 mortality in tropical forest management. *Natural Resource Modeling*. 32. 4: e12210.

675 Vásquez-Grandón, A., Donoso, P. J., Gerding, V., 2018. Forest Degradation: When Is a Forest Degraded?.  
676 *Forests*, v. 9, n. 11, p. 726.

677 Vatrás, S., De Carvalho, J. O. P., Silva, J. N. M., Castro, T. D. C., 2016. Effect of the reduced impact exploration  
678 on growth dynamics of a natural forest. *Scientia Forestalis*. 44. 109: 261-271.

679 Wright, S. J., Kitajima, K., Kraft, N. J., Reich, P. B., Wright, I. J., Bunker, D. E., Engelbrecht, B. M., 2010.  
680 Functional traits and the growth–mortality trade-off in tropical trees. *Ecology*. 91. 12: 3664-3674.

681 Wu, H., Franklin, S. B., Liu, J., Lu, Z., 2017. Relative importance of density dependence and topography on  
682 tree mortality in a subtropical mountain forest. *Forest Ecology and Management*. 384, 169-179.

683 Zarin, D. J., Schulze, M. D., Vidal, E., Lentini, M., 2007. Beyond reaping the first harvest: management  
684 objectives for timber production in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, v. 21, n. 4, p. 916-925.

685 Zimmerman, B. L., Kormos, C. F., 2012. Prospects for sustainable logging in tropical forests. *BioScience*. 62.  
686 5: 479-487.