

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS (PPGPUR)

Jeferson Alberto de Lima

Sorocaba – SP

2022

Jeferson Alberto de Lima

**ESTUDOS INTEGRADOS PARA INTERPRETAÇÃO DA DINÂMICA HÍDRICA EM  
AMBIENTES FLORESTAIS AMAZÔNICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para  
obtenção do título de Doutor em Planejamento e Uso  
de Recursos Renováveis.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Kelly Cristina Tonello.

Sorocaba-SP

2022

Lima, Jeferson Alberto de

Estudos integrados para interpretação da dinâmica hídrica em ambientes florestais amazônicos / Jeferson Alberto de Lima -- 2022.

168f.

Tese de Doutorado – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Kelly Cristina Tonello

Banca Examinadora: Herly Carlos Teixeira Dias, Carlos Rogério de Mello, Julieta Bramorski, Fernando Silveira Franco

Bibliografia

1. Dinâmica hídrica. 2. Estrutura da vegetação e serapilheira. 3. Solos. I. Lima, Jeferson Alberto de. II. Título

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecária responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

---

### Folha de aprovação

---

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Jeferson Alberto de Lima, realizado em 17/05/2022.

#### Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello (UFSCar)

Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias (UFV)

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello (UFLA)

Profa. Dra. Julieta Bramorski (UNIFAP)

Prof. Dr. Fernando Silveira Franco (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico essa Tese à minha amada esposa Nair Rost de Lima que sempre esteve comigo, ao meu lado, me apoiando, incentivando e orando por nossa família. As minhas amadas e inspiradoras filhas Ketlyn e Merelen pela paciência, compreensão e carinho. À minha mãe Irene pelo apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Pois todas as coisas foram criadas por ele, e tudo existe por meio dele e para ele. Toda honra e glória para DEUS, hoje e sempre. Amém! Obrigado senhor!

Agradeço a todos que ao longo da minha vida contribuíram para minha formação, em especial:

À minha orientadora professora Dr<sup>a</sup>. Kelly Cristina Tonello, pelos ensinamentos, incentivo, consideração e compreensão.

Aos professores Herly, Carlos, Julieta e Fernando pela disposição em compor a banca de avaliação, pelas palavras de incentivo e por colaborarem para o aperfeiçoamento do trabalho e da minha atuação.

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) *Campus* de Sorocaba e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis (PPGPUR) pelos esforços empenhados na busca da excelência na pesquisa, no desenvolvimento tecnológicos e na formação acadêmica.

À Universidade Federal de Rondônia (UNIR), ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária (DEAS) pela parceria. Ao coordenador, técnicos e bolsista do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer, por apoiar à pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas e à Pesquisa do estado de Rondônia (FAPERO) pelo apoio financeiro.

Aos gestores e funcionários da empresa AMATA pelo cuidado pessoal e apoio logístico.

Aos colegas do grupo de pesquisa em Hidrologia em Ecossistemas Florestais (HIDROLEF) que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento do estudo.

Aos colegas do programa pela ajuda, apoio e pelas inúmeras oportunidades de diálogo e reflexão sobre temas importantes para minha formação cidadã, profissional e acadêmica. Aos queridos amigos Ivan, Robmilson e Dani pelo tempo “bom e saudável” compartilhado.

Aos professores do PPGPUR pela dedicação, cuidado e exemplo de valorização do conhecimento científico e o fortalecimento da pesquisa. À técnica Lu, pelo comprometimento, organização e presteza.

## RESUMO

A floresta atua diretamente na interceptação e redistribuição da água da chuva, influenciando na condução da chuva até a superfície do solo, auxiliando na manutenção da umidade no interior da floresta, regulando os fluxos d'água e contribuindo para manutenção da qualidade e disponibilidade hídrica. Mesmo a água sendo um recurso essencial para manutenção da vida em nosso planeta, os cuidados para manutenção da água em muitas regiões não refletem sua importância e essencialidade. Na região Amazônica, a exuberante floresta sofre com a exploração predatória, que provoca alterações na sua funcionalidade, influenciando a manutenção dos serviços ambientais e os processos ec hidrológicos. Entender e quantificar a influência da floresta sobre a dinâmica hídrica em ambientes florestais Amazônicos são fundamentais para proposição de alternativas que contribuam para manutenção e funcionalidade deste bioma. Esta tese teve como objetivo desenvolver estudo integrado para interpretar a dinâmica hídrica e compreender os efeitos da atividade exploratória de Plano de Manejo Florestal Sustentável sob os processos hidrológicos em ambientes florestais amazônicos em área de floresta nativa pública sob concessão florestal na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia. O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), Rondônia, Amazônica Ocidental brasileira onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila aberta, clima do tipo Aw-Tropical Chuvoso, quente e úmido com dois períodos distintos: chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro). Foram selecionadas duas áreas: uma com floresta preservada (AN) e outra explorada (AE). Nas áreas selecionadas foram instaladas 3 parcelas (P1, P2 e P3) medindo 20 m x 20 m, as quais foram monitoradas mensalmente entre outubro/2019 e outubro/2020, para a obtenção de informações necessárias para interpretar a dinâmica hídrica e identificar diferenças entre as áreas em relação aos aspectos investigados. Os resultados deste estudo apontam que a dinâmica do comportamento de distribuição da água da chuva ao longo do período de monitoramento foi semelhante entre as áreas, refletindo a elevada variabilidade temporal e espacial, bem como a sazonalidade da região. A precipitação interna ( $P_i$ ) foi a variável que mais influenciou a precipitação efetiva ( $P_e$ ) apresentando média superior a precipitação em aberto ( $P_a$ ) na maioria dos meses de monitoramento para a área natural (AN). A variável hidrológica  $E_t$  foi a única que apresentou diferença estatisticamente significativa entre as áreas, podendo estar relacionada à diferença na densidade de indivíduos observada entre elas. A dinâmica de acúmulo do estoque de serapilheira e suas frações foi semelhante entre as áreas, sendo os acúmulos fortemente relacionado a sazonalidade da região. A capacidade de retenção hídrica (CRH) das frações da serapilheira contribuiu de maneira efetiva para a CRH do estoque total da serapilheira que apresentou taxas superiores a efetiva capacidade de retenção hídrica da serapilheira (ERH). O comportamento hidrológico dos solos das áreas avaliadas foi influenciado pelas características da vegetação, pelas variáveis hidrológicas e pelas variações dos atributos analisados ao longo do período de monitoramento. A pesquisa ajudou a entender o processo hidrológico do sub-bosque nas áreas de floresta, e de acordo com os dados desse estudo, é possível concluir que as atividades de exploração florestal desenvolvidas por Plano de Manejo Florestal Sustentável afetaram o comportamento hidrológico na área explorada.

**Palavras-chave:** Dinâmica hídrica. Estrutura da vegetação. Serapilheira. Solos.

## ABSTRACT

The forest acts directly in the interception and redistribution of rainwater, influencing the conduction of rain to the surface of the soil, helping to maintain moisture within the forest, regulating water flows and contributing to the maintenance of water quality and availability. Even though water is an essential resource for maintaining life on our planet, care for water maintenance in many regions does't reflect its importance and essentiality. In the Amazon Rainforest region, the exuberant forest suffers from predatory exploration, which causes changes in its functionality, influencing the maintenance of environmental services and ecohydrological processes. Understanding and quantifying the influence of the forest on the water dynamics in Amazonian forest environments are fundamental for proposing alternatives that contribute to the maintenance and functionality of this biome. This thesis aimed to develop an integrated study to interpret the water dynamics and understand the effects of the exploratory activity of a Sustainable Forest Management Plan on the hydrological processes in Amazonian forest environments in an area of public native forest under forest concession in the Jamari National Forest (Flona do Jamari), state of Rondonia, Brazil. The study was carried out in the Jamari National Forest (Flona do Jamari), Rondônia, Western Brazilian Amazon where the predominant vegetation is of the Open Ombrophilous Forest type, and the climate is of the Aw-Tropical Wet type, hot and humid with two distinct periods: wet (October to April) and dry (May to September). Two areas were selected: one with preserved forest (AN) and the other logged (AE). In the selected areas, 3 plots (P1, P2 and P3) measuring 20 m x 20 m were installed and monitored monthly between October/2019 and October/2020 to obtain the necessary information to characterize the structure of the vegetation, the distribution of rainwater, the accumulated burlap stock, and interpret the behavior of the main soil physical attributes. The results of this study point out that the dynamics of rainwater distribution behavior over the monitoring period was similar among the areas, reflecting the high temporal and spatial variability, as well as the seasonality of the region. The internal precipitation ( $P_i$ ) was the variable that most influenced the effective precipitation ( $P_e$ ) presenting higher average than the open precipitation ( $P_a$ ) in most months of monitoring for the natural area (AN). The hydrological variable  $E_t$  was the only one that showed statistically significant difference between the areas, which may be related to the difference in the density of individuals observed. The dynamics of accumulation of burlap and its fractions was similar between the areas, and the accumulation was strongly related to the seasonality of the region. The water retention capacity (CRH) of the burlap fractions contributed effectively to the CRH of the total burlap stock, which showed higher rates than the effective water retention capacity of the burlap (ERH). The hydrological behavior of the soils of the evaluated areas was influenced by the characteristics of the vegetation structure, hydrological variables, and variations in soil physical properties over the monitoring period. The research helped to understand the hydrological process of the understory in the forest areas, and according to the data from this study, it's possible to conclude that the forest exploration activities made by the Sustainable Forest Management Plan affected the hydrological behavior in the explored area.

**Key-words:** Water dynamics. Vegetation structure. Burlap. Soils.

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

- Figura 1** - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil. ....26
- Figura 2**- Localização das unidades de produção anual (UPA) no interior da Unidade de Manejo Florestal (UMF-III) – Flona do Jamari, estado de Rondônia, Brasil onde foram instaladas as áreas de pesquisa. ....27
- Figura 3** - Conceito de sistema silvicultural policíclico dentro do PMFS, Flona do Jamari, Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira. ....29
- Figura 4** - Pluviômetros construídos com tubos e conexões de PVC (a), fixados com ripa de madeira (b) e barras de aço (c) usados para monitorar a Pa e Pi, contendo na parte superior um funil (d). ....31
- Figura 5** - Molde para construir a calha coletora do escoamento pelo tronco (a), espuma expansiva de poliuretano aplicada sob o molde (b), calha coletora e tambor de armazenamento ligados por uma mangueira conectora (c), água armazenada (d), proveta e balde utilizados na medição dos volumes acumulados (e). ....33
- Figura 6** - Croqui da parcela de monitoramento instalada para coleta de dados e informações necessárias à caracterização da estrutura da vegetação e da distribuição da água da chuva nas parcelas de monitoramento, localizadas nas áreas de MFS na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....34
- Figura 7** - (a) Distribuição mensal da precipitação em aberto [Pa, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....37
- Figura 8** - (a) Distribuição da precipitação interna (Pi, mm) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e sca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....38
- Figura 9** - Comportamento de distribuição das componentes Pa e Pi acumulados na (a) área natural (AN) e (b) área explorada (AE) ao longo dos períodos de coleta indicando uma tendência constante em relação aos volumes elevados de acúmulo. ....39

<b>Figura 10</b> – (a) Distribuição do escoamento pelo tronco [Et, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	40
<b>Figura 11</b> - (a) Distribuição da precipitação efetiva (Pe, mm) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	42
<b>Figura 12</b> - (a) Perdas por interceptação [I, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	43
<b>Figura 13</b> - Regressão linear entre (a) precipitação interna [Pi, mm], (b) escoamento pelo tronco [Et, mm], (c) precipitação efetiva [Pe, mm] e (d) interceptação [I, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. * = $p < 0,05$ e ns = $p > 0,05$ . $R^2$ = coef. determinação, r = coef. correlação. ....	44
<b>Figura 14</b> - Correlação entre os processos hidrológicos da área natural (AN) e área explorada (AE): (a) precipitação interna (Pi), (b) escoamento pelo tronco (Et), (c) precipitação efetiva (Pe) e (d) Interceptação (I). * = $p < 0,05$ e ns = $p > 0,05$ . $R^2$ = coef. determinação, r = coef. correlação. ....	45
<b>Figura 15</b> - Repartição da chuva na área natural (AN) e na área explorada (AE) em percentual (%) e média (mm) e a densidade de indivíduos florestais em cada área ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ) considerando as variáveis hidrológicas precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), o escoamento pelo tronco (Et) e as perdas por interceptação (I). ....	46
<b>Figura 16</b> - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil. ....	75
<b>Figura 17</b> - Pluviômetros construídos com tubos e conexões de PVC (a), fixados com ripa de madeira (b) e barras de aço (c) usados para monitorar a Pa e Pi, contendo na parte superior um funil (d). ....	76
<b>Figura 18</b> - (a) Molde em papel jornal para construir a calha coletora, (b) espuma expansiva de poliuretano aplicada sob o molde, (c) calha coletora e tambor de armazenamento ligados por uma mangueira conectora, (d) água armazenada, (e) proveta e balde utilizados para medição da água acumulada. ....	78
<b>Figura 19</b> - Quadrante para coleta da serapilheira (a), acondicionamento em sacos plásticos (b), separação das frações (c e d) e pesagem no laboratório (e) das amostras para determinação da CRHS. ....	79

<b>Figura 20</b> - Frações folhas e galhos da serapilheira imersas em água (a e b), sob peneira para drenagem (c) e, secagem em estufa sob ventilação forçada a 70°C (d).....	80
<b>Figura 21</b> - Croqui ilustrativo de uma parcela de monitoramento e coleta de dados e informações necessárias à determinação da capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRHS), localizadas na Flona do Jamari, Rondônia – Amazônia brasileira. ....	81
<b>Figura 22</b> - (a) Distribuição mensal da precipitação em aberto [Pa, mm] e (b) distribuição mensal da precipitação efetiva [Pe, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	83
<b>Figura 23</b> - Valores médios da precipitação em aberto (Pa, mm) e precipitação efetiva (Pe, mm) observados nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	84
<b>Figura 24</b> - Distribuição do estoque acumulado de serapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> ) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	85
<b>Figura 25</b> - Correlação entre o estoque acumulado de serapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> ) em relação precipitação efetiva (Pe, mm) na (a) área natural e (b) na área explorada.....	86
<b>Figura 26</b> - Estoque acumulado das frações da serapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> ) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	86
<b>Figura 27</b> - Repartição do estoque médio das frações da serapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> ) acumuladas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) entre outubro/2019 e outubro/2020, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	87
<b>Figura 28</b> - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração galhos (Mg.ha <sup>-1</sup> ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	88
<b>Figura 29</b> - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração folhas (Mg.ha <sup>-1</sup> ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	89
<b>Figura 30</b> - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração amorfo (Mg.ha <sup>-1</sup> ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil...	90

<b>Figura 31</b> - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração sementes ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil...	91
<b>Figura 32</b> - Correlação entre o estoque das frações galhos e folhas ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) obtido nas áreas de estudo entre os meses que integram a estação (a) seca e (b) chuvosa na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	92
<b>Figura 33</b> - Correlação entre a precipitação efetiva [ $Pe$ , mm] com o estoque das fração galhos ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) na (a) área natural e (b) área explorada, e com a fração folhas ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) na (c) área natural e (d) na área explorada. ....	92
<b>Figura 34</b> - Correlação entre a precipitação efetiva [ $Pe$ , mm] com o estoque das fração amorfo ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) na (a) área natural e (b) área explorada, e com a fração sementes ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) na (c) área natural e (d) área explorada. ....	93
<b>Figura 35</b> - (a) Capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRHS, %) em cada período de coleta e (b) em relação as estações chuvosa e seca nas áreas de estudo natural (AN) e explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	94
<b>Figura 36</b> - (a) capacidade de retenção hídrica (CRH, %) das frações da serapilheira, (b) variação das taxas retenção hídrica das frações da serapilheira acumuladas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil na estação chuvosa e seca.....	95
<b>Figura 37</b> - Correlação de Pearson entre a CRH da serapilheira (%) e a precipitação efetiva [ $Pe$ , mm] observadas na (a) área natural (AN) e (b) na área explorada, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	96
<b>Figura 38</b> - Correlação de Pearson entre (a) a precipitação efetiva [ $Pe$ , mm] e a (a) CRH da fração galhos [CRH, %], e (b) precipitação efetiva ( $Pe$ , mm) e a CRH da fração folhas para a área natural, e correlação entre a (c) $Pe$ e a CRH da fração galhos e (d) precipitação efetiva e a CRH da fração folhas na área explorada, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	96
<b>Figura 39</b> – Efetiva retenção hídrica (ERH, %) da serapilheira nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	97
<b>Figura 40</b> – Efetiva retenção hídrica (ERH, %) do estoque de serapilheira acumulada nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	98

<b>Figura 41</b> - Massa da Serapilheira (g) obtida na condição seca, fresca e saturada acumulada na (a) área natural (AN) e (b) na área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	99
<b>Figura 42</b> – Umidade do estoque de Serapilheira fresca (g) acumulada na área natural (AN) e na área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	100
<b>Figura 43</b> – Efetiva retenção hídrica [ERH, %] das frações da serapilheira galhos, folhas, amorfo e sementes acumulados nas áreas de estudo denominadas, área natural (NA) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	101
<b>Figura 44</b> - Correlação entre a capacidade efetiva de retenção hídrica da serapilheira (ERH, %) e as variáveis hidrológicas (a) capacidade de retenção hídrica da fração galhos e (b) da fração folhas observadas na área natural e entre a ERH com a CRH da fração folhas na área explorada. ....	102
<b>Figura 45</b> – Correlação entre a capacidade efetiva de retenção hídrica (ERH, %) e a precipitação efetiva (Pe, mm) observadas na (a) área natural e (b) na área explorada. ....	102
<b>Figura 46</b> - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil. ....	124
<b>Figura 47</b> - Croqui ilustrativo da parcela de monitoramento instalada para coleta de dados para caracterizar a estrutura da vegetação, a distribuição da água da chuva, o estoque de serapilheira acumulada e interpretar o comportamento dos principais atributos do solo.....	126
<b>Figura 48</b> - Trado do tipo "holandês" (a) utilizado para coleta de amostras simples de solo deformadas (b), embalagem para armazenamento e envio de amostras de solo (c) para análise de rotina em laboratório certificado. ....	127
<b>Figura 49</b> – Anéis coletores (a), amostras indeformadas coletadas (b), paquímetro (c) e balança de precisão (d), utilizados para determinar o volume e a massa das amostras.....	128
<b>Figura 50</b> - Guia para agrupamento textural utilizado na classificação das classes texturais dos solos das áreas de monitoramento no interior da Flona do Jamari, estado de Rondônia.....	129
<b>Figura 51</b> - (a) Penetrógrafo automatizado utilizado para medição da resistência do solo a penetração (RSP, MPa), (b) croqui ilustrativo do procedimento para a obtenção da resistência do solo no interior de cada parcela de monitoramento das áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	132
<b>Figura 52</b> - Valor médio das frações granulométricas (a) areia, (b) silte, (c) argila expressas em g/kg e (d) matéria orgânica (MO, g/dm <sup>3</sup> ) dos solos pertencente às áreas de estudo	

denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia. .....	134
<b>Figura 53</b> - (a) Umidade do solo ( $U_s$ , %) e a precipitação efetiva ( $P_e$ , mm) em cada período de coleta e (b) em relação a sazonalidade da região, obtida nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	135
<b>Figura 54</b> – Boxplot da umidade do solo ( $U$ , %) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. .....	136
<b>Figura 55</b> – Correlação da umidade do solo ( $U_s$ , %) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) com (a) precipitação efetiva ( $P_e$ , mm), (b) umidade da serapilheira ( $U$ , %) e (c) capacidade de retenção hídrica do estoque de serapilheira (CRH, %). .....	137
<b>Figura 56</b> - Boxplot da densidade do solo ( $D_s$ , $g/cm^3$ ) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	138
<b>Figura 57</b> - Valores médios da densidade do solo ( $D_s$ , $g/cm^3$ ) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	138
<b>Figura 58</b> - Correlação entre a densidade do solo ( $D_s$ , $g/cm^3$ ) e a porosidade total (Pt, %), (a) entre as áreas de estudo, (b) na área natural (AN) e (c) na área explorada (AE). ....	139
<b>Figura 59</b> - Boxplot da porosidade total do solo (Pt, %) obtida nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	140
<b>Figura 60</b> - (a) porosidade total (Pt, %) em cada período de coleta e (b) em relação a sazonalidade da região obtida nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	141
<b>Figura 61</b> - Correlação porosidade total (Pt, %) e a capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH, %), (a) entre as áreas de estudo, (b) na área natural (AN) e (c) na área explorada (AE). ....	142
<b>Figura 62</b> - Porosidade total (Pt, %) e densidade do solo ( $D_s$ , $g/cm^3$ ) obtidos em cada período de coleta nas áreas de estudo (a) área natural (AN) e (b) área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.....	143

<b>Figura 63</b> - Boxplot da Resistência Mecânica a Penetração (RP, MPa) obtida nos solos das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	144
<b>Figura 64</b> – (a) distribuição média mensal da Resistência do solo à penetração (RSP, MPa) calculada pela média dos valores de resistência do solo obtidas ao longo do perfil do avaliado, (b) distribuição média dos valores de RSP obtida na profundidade de 0-60 cm e (c) variação da RSP nas estações seca e chuvosa, das áreas inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. Valores de limites considerando a classificação USDA, (1993)*. ....	145
<b>Figura 65</b> - Correlação resistência do solo a penetração (RSP, MPa) com (a) precipitação efetiva (Pe, mm), (b) umidade da serapilheira (U, g), e (c) a capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH, %). ....	146
<b>Figura 66</b> - Correlações significativas observadas entre a umidade do solo (Us, %), a densidade do solo (Ds, g/ cm <sup>3</sup> ), porosidade total (Pt, %), resistência do solo à penetração (RSP, MPa) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	147

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo I

<b>Tabela 1</b> - Atributos dendrométricos e a densidade de indivíduos obtidos e/ou mensurados para o estudo de caracterização da vegetação nas áreas de estudo denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, estado de Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira. ....	30
<b>Tabela 2</b> - Estatística descritiva dos atributos dendrométricos dos indivíduos florestais inseridos na área de monitoramento denominada de Área Natural (AN) e Área Explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. DAP = diâmetro à altura do peito, Ht = altura total, f = altura do fuste, Apc = área de projeção da copa, Vc = volume da copa, AB = área basal. ....	36
<b>Tabela 3</b> - Precipitação em aberto [Pa, mm], precipitação interna [Pi, mm e %] médios acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	38
<b>Tabela 4</b> – Precipitação em aberto [Pa, mm], escoamento pelo tronco [Et, mm e %] médios acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	41
<b>Tabela 5</b> – Precipitação em aberto [Pa, mm] e precipitação efetiva [Pe mm e %] acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	41
<b>Tabela 6</b> - Estatística descritiva dos parâmetros hidrológicos Pa, Pi, Et, Pe e I ajustados, das áreas de monitoramento denominada de Área Natural (AN) e Área Explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. ....	43
<b>Tabela 7</b> - Valores em percentual das componentes Pi, Et, Pe e I em relação a Pa (mm) obtidos em estudos desenvolvidos em diferentes Biomas e sítios experimentais na Amazônia brasileira, incluindo os percentuais obtidos neste estudo. ....	51
<b>Tabela 8</b> - Característica das áreas selecionadas, denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	75
<b>Tabela 9</b> - Resumo das forças do coeficiente de correlação de Pearson (r). ....	82
<b>Tabela 10</b> - Estrutura da vegetação da área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	126

<b>Tabela 11</b> - Precipitação efetiva (Pe, mm), estoque (Mg.ha <sup>-1</sup> ), capacidade de retenção hídrica (CRH, %) e umidade (U, %) da serapilheira, na área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	126
<b>Tabela 12</b> - Resumo das forças do coeficiente de correlação de Pearson (r). ....	132
<b>Tabela 13</b> - Estatística descritiva da umidade do solo (U, %), densidade do solo (Ds, g/cm <sup>3</sup> ) e da porosidade total (Pt, %) e da resistência do solo a penetração (RSP, MPa) dos valores obtidos nas áreas denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. ....	146
<b>Tabela 14</b> - Classe de resistência do solo à penetração (RSP, MPa) de acordo com a Soil survey manual, United States Department of Agriculture (USDA).....	155

## LISTA DE APÊNDICES

### Capítulo I

**Apêndice A 1** - Espécies florestais e famílias encontradas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, identificadas pelo nome vulgar, nome científico, ordenadas por ordem alfabética pelo nome da família e sua distribuição nas respectivas parcelas de monitoramento. .... 65

**Apêndice A 2** - Tabela com os valores de escoamento pelo tronco (Et) em mm e L, e eficiência de escoamento pelo tronco (Et%) das espécies florestais identificadas, caracterizadas e monitoradas na Flona do Jamari, Rondônia entre outubro/2019 e outubro/2020..... 68

**Apêndice A 3** - Estatística descritiva dos parâmetros hidrológicos Pa, Pi e Et obtidos nas áreas de monitoramento denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. .... 117

### Capítulo II

**Apêndice A 4** - Estatística descritiva das frações da serapilheira e o total acumulado nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil..... 117

**Apêndice A 5** - Tabela com a massa média ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) das frações da serapilheira e o estoque total de serapilheira acumulada em cada período de coleta, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil..... 117

**Apêndice A 6** - Estatística descritiva da capacidade de retenção hídrica (CRH) da serapilheira e das frações que compõem o estoque de serapilheira acumulado nas áreas de estudo denominadas área natural e área explorada inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil..... 118

### Capítulo III

**Apêndice A 7** - Valor médio mensal e no período da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) dos solos da área natural (AN) inseridos na Flona do Jamari, medidos com Penetrôgrafo digital na profundidade de 0-60 cm, expressos em MPa durante o período de monitoramento..... 161

<b>Apêndice A 8 - Valor médio mensal e no período da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) dos solos da área explorada (AE) inseridos na Flona do Jamari, medidos com Penetrôgrafo digital na profundidade de 0-60 cm, expressos em MPa durante o período de monitoramento (outubro/19 a outubro/20). .....</b>	<b>161</b>
---	------------

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	18
	CAPÍTULO I – REPARTIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM AMBIENTES FLORESTAIS AMAZÔNICOS.....	21
1	Introdução.....	23
2	Material e Métodos.....	25
2.1	Área de estudo.....	25
2.2	Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) .....	28
2.3	Característica da vegetação das áreas de estudo .....	29
2.4	Quantificação da repartição de chuva .....	31
2.5	Análise dos dados.....	35
3	Resultados.....	35
3.1	Característica da vegetação das áreas de estudo .....	35
3.2	Parâmetros hidrológicos.....	36
3.2.1	Precipitação interna [Pi, mm] .....	36
3.2.2	Escoamento pelo tronco (Et) .....	39
3.2.3	Precipitação efetiva (Pe).....	41
3.2.4	Interceptação (I).....	42
3.2.5	Observações hidrológicas globais.....	44
4	Discussão.....	46
5	conclusão .....	53
6	REFERÊNCIAS .....	55
7	APÊNDICE .....	65
	CAPÍTULO II – CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA DA SERAPILHEIRA EM AMBIENTES FLORESTAIS AMAZÔNICOS.....	70
1	Introdução.....	72
2	Material e Métodos.....	74

2.1	Área de estudo .....	74
2.2	Quantificação da precipitação em aberto e precipitação efetiva .....	76
2.3	Aporte e capacidade de retenção hídrica da serapilheira .....	79
2.4	Análise dos dados .....	81
3	Resultados.....	82
3.1	Quantificação da precipitação em aberto [Pa, mm] e precipitação efetiva [Pe, mm]	82
3.2	Serapilheira acumulada e suas frações .....	84
3.3	Frações da serapilheira .....	86
3.4	Capacidade de retenção hídrica da serapilheira .....	93
4	Discussão .....	102
4.1	Dinâmica de acúmulo da Serapilheira.....	102
4.2	Repartição da serapilheira .....	104
4.3	Capacidade de retenção hídrica da serapilheira .....	107
5	conclusão .....	110
6	Referências .....	111
7	Apêndice.....	117
CAPÍTULO III – SOLO: COMPORTAMENTO E INTERAÇÕES .....		119
1	Introdução .....	121
2	Material e Métodos .....	123
2.1	Área de estudo .....	123
2.2	Parcelas de Monitoramento.....	125
2.3	Parâmetros e atributos do solo .....	127
2.3.1	Textura do solo .....	128
2.3.2	Umidade do solo (Us, %)... ..	129
2.3.3	Densidade do solo (Ds).....	129
2.3.4	Densidade de partícula (Dp) .....	130

2.3.5	Porosidade Total (Pt) .....	130
2.3.6	Resistência do Solo à Penetração (RSP, MPa) .....	131
3	Resultados.....	133
3.1	Textura do solo.....	133
3.2	Umidade do solo (Us, %) .....	134
3.3	Densidade do solo (DS).....	137
3.4	Porosidade total (Pt, %).....	140
3.5	Resistência do solo a Penetração (RSP, MPa) .....	143
4	Discussão .....	147
4.1	Textura do solo.....	147
4.2	Umidade (Us, %), densidade (Ds, g/cm <sup>-3</sup> ) e porosidade total (Pt, %).....	148
4.3	Resistência do solo à penetração (RSP) .....	152
5	conclusão .....	155
6	Referências .....	156
7	Apêndice.....	161
8	Capítulo iv - conclusão Geral .....	162

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A floresta é um espetacular parque tecnológico da natureza, um complexo vivo que forma uma poderosa e versátil usina de serviços ambientais (NOBRE, 2014), interferindo diretamente na dinâmica de distribuição e redistribuição da água da chuva, retardando e reduzindo o escoamento superficial, fornecendo benefícios importantes na forma de serviços ambientais, regulando os fluxos de águas superficiais e subterrâneas, mantendo sua qualidade (HORTON, 1919; CASTRO *et al.*, 1983; HIGUCHI, 1994; FAO, 2013).

A Amazônia é reconhecida pela riqueza de biodiversidade, a exuberância de suas florestas e pelo domínio que exerce sob o ciclo hidrológico e o clima. A floresta amazônica é o maior parque tecnológico que a Terra já conheceu, porque cada organismo seu, entre trilhões, é uma maravilha de miniaturização e automação (NOBRE, 2014). Ela detém o título de maior floresta tropical do mundo, que interage fortemente com a atmosfera, rios e lagos, exercendo significativa influência no clima local e global (MARENGO, 2006; LUIZÃO, 2007; NOBRE, 2014; NEVES, TONELLO, BRAMORSKI, 2020).

Mesmo com uma relativa abundância e o reconhecimento de que a água é um recurso fundamental e insubstituível para a manutenção das diversas formas de vida em nosso planeta, inclusive dos seres humano, vivemos hoje uma crise hídrica (BRASIL, 2006; BRASIL, 2020). Uma das alternativa para diminuir os impactos dessa crise é a manutenção de processos que promovam a condução da água da chuva para a superfície do solo, garantindo a manutenção da sua umidade e promoção da infiltração. Muitas regiões possuem dificuldades para garantir esses processo, porém, as florestas têm mecanismos próprios para auxiliar essas condições (PEREIRA, *et al.*, 2021).

Historicamente, o processo de colonização e consolidação do território brasileiro tem-se pautado na exploração predatória de seus recursos naturais, afetando negativamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos (RIBEIRO, C. *et al.*, 2005). Mesmo a floresta amazônica possuindo uma influência singular no contexto socioeconômico e ambiental das regiões abrangidas por sua influência, observamos os avanços da exploração predatória deste bioma (FEARNSIDE, 2017).

É preocupante o alto índice de desmatamento realizado na porção brasileira da Amazônia a partir da década de 1970, e continuam ocorrendo em ritmo acelerado em todos os estados que integram a Amazônia Legal (SONTER *et al.*, 2017; ARAGÃO *et al.*, 2018), que

registraram aumento de 21,97% no corte raso da vegetação entre agosto de 2020 e julho de 2021, equivalendo a 10.851 km<sup>2</sup> de desmatamento (PRODES/INPE, 2021). Estudos mostram claramente que a preservação das florestas desempenha um papel importante na regulação dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (ALADEJANA, SALAMI, ADETORO, 2018).

Portanto, sob o aspecto hidrológico, a condição de exploração desenvolvida para a região Amazônica neste período, ocasionou alterações das suas características, afetando sua funcionalidade, ocasionando entraves e barreiras ao desenvolvimento da região, riscos à manutenção e preservação da sua biodiversidade, e a disponibilidade de água (FEARNSIDE, 2017), pois alterações ocasionadas pela remoção total ou parcial da vegetação influenciam a disponibilidade hídrica e modificam o comportamento hidrológico (MARENGO, 2006; ARAÚJO NETO *et al.*, 2013).

A cobertura de florestas tropicais é um bom indicador da qualidade da água e desempenha um papel importante na minimização dos impactos das atividades humanas (MELLO, K. *et al.*, 2018). Conhecer a magnitude das diferenças da influência da floresta na dinâmica hídrica é necessário para o estabelecimento de parâmetros básicos para mensuração de ações de intervenção antrópica (MAETSKE & CULLOTA, 2016).

Por isso, quantificar a influência da floresta sobre os processos hidrológicos que direta ou indiretamente influenciam o clima é de fundamental importância para os esforços de conservação (NEVES, TONELLO, BRAMORSKI, 2020). Porém, estudos que forneçam subsídios para a compreensão da repartição da água da chuva e suas influências nos distintos compartimentos neste bioma são incipientes.

Neste sentido, o desenvolvimento de projetos que preconizem a obtenção de informações voltadas para a interpretação da dinâmica hídrica visando identificar possíveis alterações em decorrência de ações antrópicas devem ser desenvolvidos em escala que admita a observação direta entre as atividades e os impactos ambientais ocasionados (LIMA, W. P., 2015), pois a coleta de dados por meio de estudos integrados que permitam compreender a distribuição da água, principalmente na floresta são alternativas importantes, porque podem gerar formas tecnicamente viáveis de manejo (VALCARCEL, 1984).

As atividades de exploração dos recursos florestais, por meio dos Planos de Manejo Florestal (PMF) devem cumprir os objetivos da Lei nº 11.284 de 03/2006, que dispõe sobre a gestão e exploração sustentável de florestas públicas, tendo como objetivos, a proteção das florestas, manter as suas funções ecológicas preservadas, garantindo o uso racional e eficiente de seus recursos, gerando benefícios socioeconômicos locais e regionais (BRASIL, 2006).

Diante do exposto, essa tese busca compreender a seguinte questão: é possível observar diferenças significativas na dinâmica hídrica em ambientes florestais amazônicos entre uma área de vegetação natural e uma área explorada por Plano de Manejo Florestal Sustentável?

Pretende-se com o estudo testar a seguinte hipótese: As atividades de exploração por Manejo Florestal Sustentável modificam as características da vegetação ocasionando alterações no volume, nos caminhos e na distribuição da água da chuva, bem como no armazenamento desta água no interior da floresta.

Para obter respostas a esta indagação o presente estudo propôs como objetivo geral:

Desenvolver estudo integrado para interpretar a dinâmica hídrica e compreender os efeitos da atividade exploratória de Plano de Manejo Florestal Sustentável sob os processos hidrológicos em ambientes florestais amazônicos em área de floresta nativa pública sob concessão florestal na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia.

Para tanto foram estruturados três capítulos contendo objetivos específicos conforme segue:

**Capítulo I – Repartição da água da chuva em ambientes florestais amazônicos,** possui como objetivo: compreender a repartição da água da chuva nos diferentes compartimentos de uma área de floresta explorada por Plano de Manejo Florestal Sustentável, comparando-a com uma área de vegetação natural.

**Capítulo II – Capacidade de retenção hídrica da serapilheira em ambientes florestais amazônicos,** teve como objetivo: (1) compreender a dinâmica do aporte de serapilheira e sua sazonalidade na floresta tropical amazônica, (2) examinar a capacidade de retenção hídrica da serapilheira e (3) avaliar a retenção hídrica efetiva da serapilheira na floresta amazônica brasileira intacta e na explorada por meio do manejo florestal sustentável. Por fim, espera-se fornecer uma base científica para a compreensão das ações do manejo florestal sustentável na Amazônia sob a dinâmica hidrológica da serapilheira nesse bioma.

**Capítulo III – Solo: comportamento e interações,** teve como objetivo: caracterizar os principais atributos do solo e sua dinâmica hidrológica em floresta primária e em floresta exploradas por meio de práticas de Manejo Florestal Sustentável, na Floresta Amazônica.

Os capítulos se preocupam com os elementos solo-água-floresta e sua interação nos distintos compartimentos no interior da floresta visando apontar a existência ou não de diferenças entre as áreas em relação aos aspectos investigados.

# CAPÍTULO I – REPARTIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM AMBIENTES FLORESTAIS AMAZÔNICOS

## RESUMO

A chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia tropical, e ao ser interceptada pela cobertura florestal se dá o primeiro fracionamento da água da chuva, porém alterações na estrutura vegetal interferem no fluxo hídrico local e nas características hidrológicas, portanto, conhecer as dinâmicas de distribuição das chuvas em diferentes tipologias vegetais é extremamente importante para a compreensão do ciclo hidrológico. No entanto, estudos que forneçam informações para a compreensão da repartição da água da chuva no bioma amazônico são incipientes. Neste sentido, o estudo teve como objetivo compreender a repartição da água da chuva nos diferentes compartimentos de uma área de floresta explorada por Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), comparando-a com uma área de vegetação natural. O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila aberta, clima do tipo Aw-Tropical Chuvoso, quente e úmido com dois períodos distintos: chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro). Foram instaladas 3 parcelas (20 x 20 m) em duas áreas: uma com floresta preservada (AN) e outra explorada (AE), as quais foram monitoradas entre outubro/2019 e outubro/2020. A precipitação em aberto ( $P_a$ ) e a precipitação interna ( $P_i$ ) foram coletadas por meio de pluviômetros fixados a 1,50 m de altura do solo, instalados no interior das parcelas e no entorno das áreas de estudo. A precipitação efetiva ( $P_e$ ) e a interceptação ( $I$ ) foram calculadas a partir dos dados coletados da precipitação ( $P$ ) e do escoamento pelo tronco ( $E_t$ ). Calhas de poliuretano foram fixadas no tronco das árvores para coletar a água do  $E_t$  e armazenadas em galões. Mensalmente foram mensurados os volumes acumulados em 42 pluviômetros e os volumes armazenados pelo  $E_t$  de 60 indivíduos florestais com diâmetro a altura do peito (DAP)  $\geq 10$  cm. Eventos de precipitação com acúmulo de água foram observados durante todo o período, exceto no mês de julho para ambas as áreas. Sazonalmente os valores máximos e mínimos das variáveis monitoradas foram observados respectivamente na estação chuvosa e seca. Os maiores valores de  $P_a$  e da  $P_i$  foram observados no mês de fevereiro para a AN, e para a AE tiveram destaque os meses de fevereiro e abril. A  $P_i$  foi a variável que mais influenciou a  $P_e$ , apresentando média superior a  $P_a$  na maioria dos meses de monitoramento para a AN. A variável hidrológica  $E_t$  foi a única que apresentou diferença estatisticamente significativa entre as áreas, podendo estar relacionada a diferença na densidade de indivíduos observada entre as áreas. Os volumes de  $E_t$  acumulados pelos indivíduos florestais da AN apresentaram valores médios superiores aos observados para a região, evidenciando sua contribuição para o balanço hídrico local e a importância da vegetação na condução de água até o solo. A dinâmica do comportamento de distribuição da água da chuva ao longo do período de monitoramento foi semelhante entre as áreas, refletindo a elevada variabilidade temporal e espacial, bem como a sazonalidade da região.

**Palavras-chave:** Escoamento pelo tronco; Hidrologia Florestal; Precipitação.

## ABSTRACT

Rain is the most important type of precipitation for tropical hydrology, and when intercepted by the forest cover, the first fractioning of rainwater takes place. However, changes in vegetation structure interfere in the local water flow and hydrological characteristics, therefore, knowing the dynamics of rain distribution in different plant typologies is extremely important for understanding the hydrological cycle. However, studies that provide information for understanding the distribution of rainwater in the Amazon biome are incipient. In this sense, the study aimed to understand the distribution of rainwater in different compartments of a forest area explored by Sustainable Forest Management Plan (PMFS), comparing it with an area of natural vegetation. The study was carried out in the Jamari National Forest (Flona do Jamari), Rondônia, Western Brazilian Amazon where the predominant vegetation is of the Open Ombrophilous Forest type, and the climate is of the Aw-Tropical Wet type, hot and humid with two distinct periods: wet (October to April) and dry (May to September). Three plots (20 x 20 m) were installed in two areas: one with preserved forest (AN) and the other exploited (AE), which were monitored between October/2019 and October/2020. Open precipitation ( $P_a$ ) and internal precipitation ( $P_i$ ) were collected using rain gauges fixed at 1.50 m above ground level, installed inside the plots and around the study areas. The effective precipitation ( $P_e$ ) and interception ( $I$ ) were calculated from the collected precipitation ( $P$ ) and tree trunk runoff ( $E_t$ ) data. Polyurethane gutters were attached to the trunk of the trees to collect the  $E_t$  water and stored in gallons. Monthly, the accumulated volumes in 42 rain gauges and the volumes stored by  $E_t$  from 60 forest individuals with diameter at breast height (DBH)  $\geq 10$  cm were measured. Precipitation events with water accumulation were observed throughout the period, except in July for both areas. Seasonally, the maximum and minimum values of the monitored variables were observed in the wet and dry seasons, respectively. The highest values of  $P_a$  and  $P_i$  were observed in February for the AN, and for the AE the months of February and April stood out.  $P_i$  was the variable that most influenced  $P_e$ , presenting mean values higher than  $P_a$  in most of the monitoring months for AN. The hydrological variable  $E_t$  was the only one that showed statistically significant difference between the areas, which may be related to the difference in the density of individuals observed between the areas. The volumes of  $E_t$  accumulated by the forest individuals of the AN showed average values higher than those observed for the region, showing its contribution to the local water balance and the importance of vegetation in conducting water to the soil. The dynamics of rainfall water distribution over the monitoring period was similar between the areas, reflecting the high temporal and spatial variability and seasonality of the region.

**Key-words:** Tree trunk runoff; Forest Hydrology; Precipitation.

## 1 INTRODUÇÃO

As coberturas florestais que recobrem a superfície dos solos desempenham um papel crucial no ciclo hidrológico, amortecendo, retendo e direcionando as gotas de chuva afetando sua infiltração no solo (OLIVEIRA JUNIOR & DIAS, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2008), sendo considerada uma das principais responsáveis pela variação e regulação do ciclo hidrológico nas diferentes regiões do mundo (SCHUMACHER & HOPPE, 1998; ARCOVA, CICCIO, ROCHA, 2003; FEARNSIDE, 2004; DAVIDSON & ARTAXO, 2004).

As florestas atuam inclusive nas transferências de água para a atmosfera e para os rios (ARCOVA, CICCIO, ROCHA, 2003; LUIZÃO, 2007), afetando a disponibilidade de água tanto quantitativamente como qualitativamente (OLIVEIRA *et al.*, 2008; TONELLO *et al.*, 2021).

O tipo, extensão, e condições da vegetação, bem como o formato da cobertura vegetal, sua área foliar e a estrutura da casca exercem marcada influência nos modelos de deposição e quantidade das precipitações que alcançam a superfície do solo, sendo considerados fatores-chave para determinar a capacidade de armazenamento de água pelas estruturas da floresta, visto que podem alterar processos locais determinado a movimentação da água da chuva, afetando o balanço hídrico (BRUIJNZEEL, 2001; MOURA *et al.*, 2009).

Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, em que parte desta precipitação é temporariamente retida pela massa vegetal e armazenada no dossel, em um processo denominado interceptação, posteriormente parte da água é evaporada e devolvida para a atmosfera, e o restante alcança o solo por precipitação interna, ou pelo escoamento pelo tronco das árvores, em que a soma desses dois processos é denominada precipitação efetiva (KLASSEN *et al.*, 1996; ARCOVA *et al.*, 2003; LORENZON, 2013; LEVIA, GERMER, 2015; FRIESEN, J., VAN STAN, J. T., 2019).

Neste sentido, o conhecimento da vegetação que recobre a superfície do terreno é importante para a interpretação da dinâmica hídrica (CASTRO *et al.*, 1983; MOURA *et al.*, 2009). Em geral, estudos de interceptação englobam a investigação dos volumes de escoamento pelo tronco e precipitação interna, porém estes ainda são temas pouco abordados dentro do arcabouço científico produzido nos últimos 20 anos no bioma Amazônico (NEVES, TONELLO, BRAMORSKI, 2020).

Especificamente, a Floresta Amazônica é reconhecida como a maior floresta tropical do mundo (LUIZÃO, 2007), ocupando 40% de toda a América do Sul e 60% do território do Brasil.

Por se localizar nos trópicos, as trocas de energia, umidade e massa entre a superfície e a atmosfera na Amazônia são intensas contribuindo para a manutenção do regime hidrológico em escala regional e global (FEARNSIDE & LAURANCE, 2004; FEARNSIDE, 2005; MALHI *et al.*, 2008; MARENGO, 2006; ROCHA *et al.*, 2015).

Dentre os inúmeros atributos ecológicos que a torna um bioma de relevância internacional, encontra-se a sua importância ecoidrológica. Porém, mesmo possuindo uma influência singular no contexto socioeconômico e ambiental das regiões abrangidas por sua influência, se observa avanços da exploração predatória do bioma, com conseqüentes alterações das suas características (FEARNSIDE, 2017; FONSECA *et al.*, 2021).

Portanto, a exploração dos recursos naturais neste ambiente, vista como determinante para o desenvolvimento mundial, enfrenta o desafio da construção de um modelo de exploração que atenda os princípios da sustentabilidade (MIRANDA *et al.*, 2020; RIBEIRO, FONSECA & PEREIRA, 2020).

A exploração florestal, quando realizada de maneira irregular e predatória gera impacto direto não somente na biodiversidade, mas também nos processos envolvidos na manutenção e o funcionamento dos ecossistemas Amazônicos, alterando o ciclo hidrológico regional, afetando negativamente setores socioeconômicos e principalmente populações vulneráveis na bacia Amazônica (MARENGO *et al.*, 2012; GUIMBERTEAU *et al.*, 2013; CHOU *et al.*, 2014; MARENGO & ESPINOZA, 2016; ALVES *et al.*, 2017).

Já atividades de exploração realizada por meio do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), são vistos como essenciais para a manutenção dos serviços ambientais ofertados pela floresta (ANGELO *et al.*, 2014; BRASIL, 2012).

Estes planos são constituídos por um conjunto de ações planejadas e estruturadas para garantir a exploração dos recursos florestais e o desenvolvimento socioeconômico local e regional (AMATA, 2007; MIRANDA *et al.*, 2020), ao mesmo tempo em que assegura a proteção à floresta, sua biodiversidade, e a manutenção de seus serviços ambientais (BRASIL, 2011). No entanto, apesar das melhorias nas técnicas de exploração e na gestão dos PMFS, ainda restam dúvidas dos impactos desta atividade sobre a dinâmica hídrica local.

Assim, apesar das dificuldades para realização de pesquisas de longo prazo em hidrologia florestal em uma região complexa como a Amazônia, quantificar a influência da floresta sobre os processos hidrológicos que direta ou indiretamente influenciam o clima é de fundamental importância para a construção de cenários através de modelos de simulação e,

portanto, para os esforços de conservação (NEVES, TONELLO, BRAMORSKI, 2020), especialmente em áreas onde se desenvolvem atividades de exploração.

Neste sentido, o estudo busca comprovar a seguinte hipótese: as alterações na estrutura da vegetação ocasionadas pelas atividades de exploração por Plano de Manejo Florestal Sustentável modificam significativamente a dinâmica de repartição da água da chuva. Sendo assim, para este primeiro capítulo denominado “Repartição da água da chuva em ambientes florestais amazônicos”, possui como objetivo: compreender a repartição da água da chuva nos diferentes compartimentos de uma área de floresta explorada por Plano de Manejo Florestal Sustentável, comparando-a com uma área de vegetação natural.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

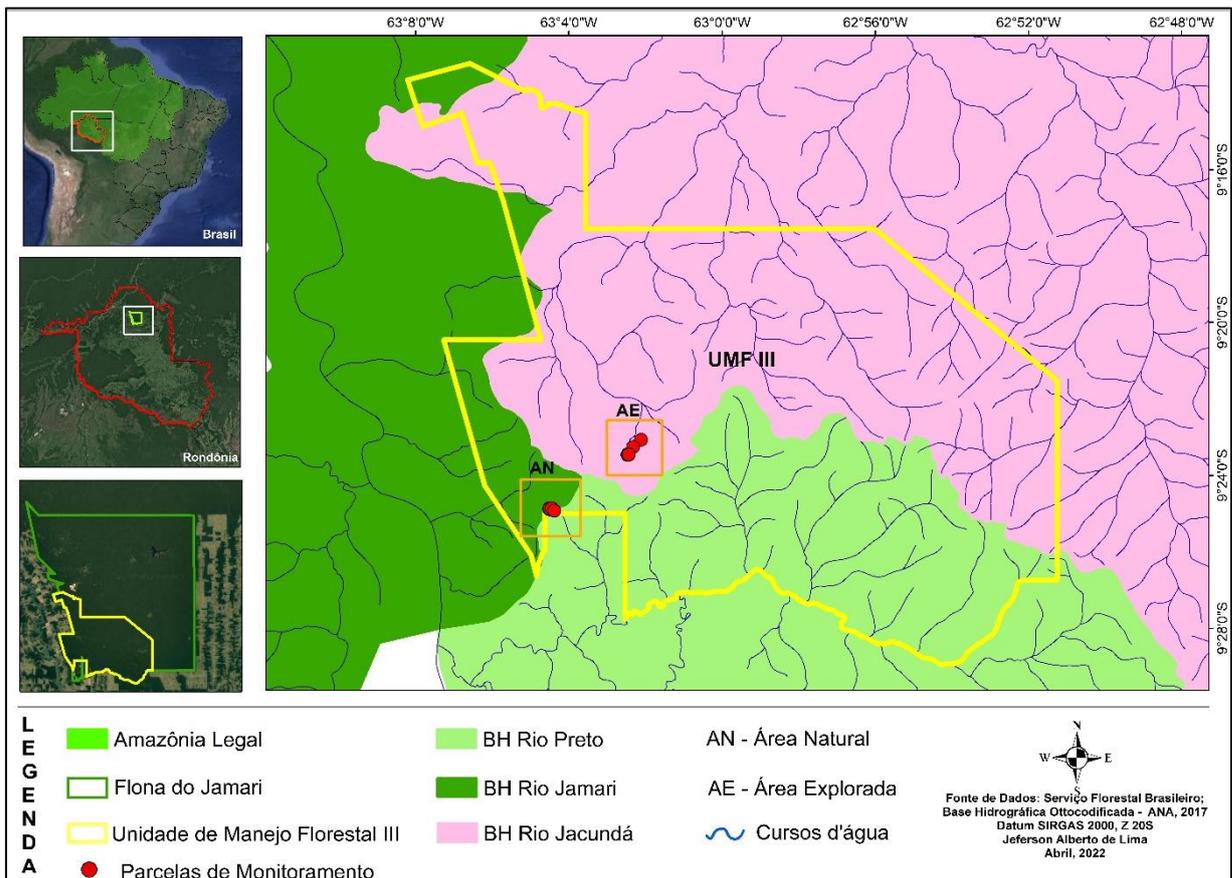
O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), reserva de uso sustentável com aproximadamente 222,1 mil hectares, localizada na porção ocidental da Amazônia brasileira, inserida nas bacias hidrográficas dos rios Jacundá, Jamari e Crespo, que cobrem aproximadamente 82,8%, 9,06% e 8,14% da reserva, respectivamente (MMA/IBAMA, 2005; ANA, 2017) (figura 1).

O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger é do tipo Am - Tropical Monção (ALVARES *et al.*, 2013; CLIMATE-DATA, 2021), quente e úmido, com precipitação média entre 1800 e 2200 mm.ano<sup>-1</sup>, com dois períodos distintos: um chuvoso (entre outubro e abril) e um período seco (entre junho e agosto), maio e setembro são considerados meses de transição. A região apresenta médias de temperatura do ar entre 24 e 26°C, e umidade relativa entre 80 e 90% no verão, e em torno de 75% no outono-inverno (GAMA, 2002; AB’SÁBER, 2003; BRASIL, 2005).

Quanto a geologia, a região da Flona está inserida no Terreno Jamari, que é subdividido nos domínios Ariquemes - Porto Velho e Central de Rondônia, sendo que no interior da UMF-III são encontrados os grupos e formações: a) Embasamento Pré-Rondoniano - que engloba grande parte da unidade, representado pelo Complexo Jamari; b) Granitos Jovens de Rondônia - presentes na porção leste e oeste da unidade, compostos essencialmente por granitos ricos em biotita e alcalis, sienitos, traquitos, e rochas híbridas; e c) Coberturas

Quaternárias-Neogênicas - representadas por depósitos pantanosos que estão relacionados a áreas sujeitas a inundações sazonais, representados principalmente por material argilo-arenoso, rico em matéria orgânica (MMA/IBAMA, 2005; SEDAN, 2002).

**Figura 1** - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA), 2017.

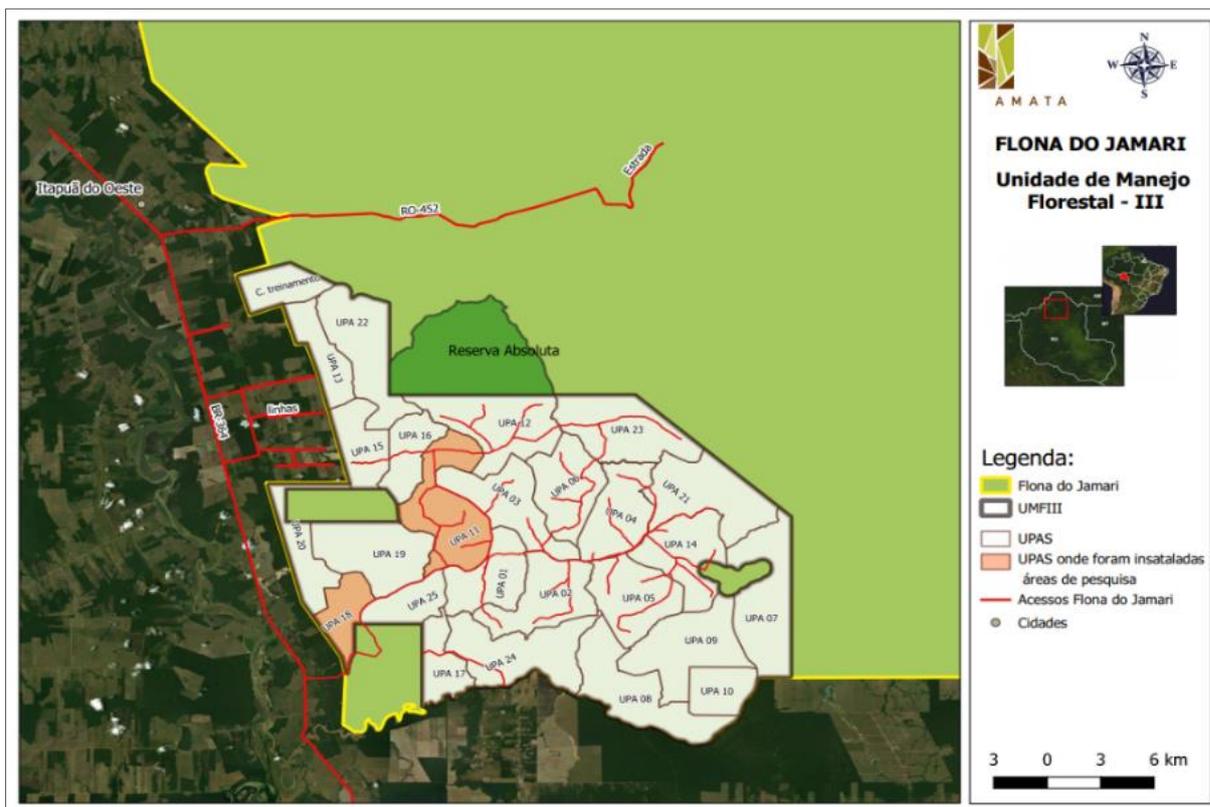
Na Unidade de Manejo Florestal (UMF III), identificam-se duas feições geomorfológicas principais: Superfície de Aplainamento e Agrupamentos de Morros e Colinas (MMA/IBAMA, 2005). O relevo da Flona apresenta 93,2% de sua área com altitude inferior a 150 metros, sendo que na zona de manejo florestal apenas 12,2% da área apresentam altitude superior a 150 metros (IMAZON/SFB, 2007). No interior da Flona do Jamari, ocorrem seis tipos de solos, distribuídos em quatro ordens primárias, porém dentro da UMF, são encontrados três tipos de solos, distribuídos em duas classes (Latosolos e Argissolos), com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico) (ZSEE).

Para o desenvolvimento desse estudo, foram selecionadas duas áreas de produção anual (UPA-18 e UPA-11) em ambiente de floresta primária de terra firme, onde predomina a

vegetação do tipo Floresta Ombrófila Aberta Submontana. Essa tipologia é caracterizada pela presença de árvores espaçadas formando um dossel com altura de aproximadamente 40m e ocorrência de formações irregulares de palmeiras, compondo um mosaico de florestas densas e abertas com e sem presença de palmeiras e cipós (IBAMA/MMA, 2005).

A UPA-18 foi definida como Área Natural (AN) representativo da vegetação que mantém as características da floresta primária (9°24'53.15" S e 63°04'29.48" O), e a UPA-11 foi definida como Área Explorada (AE), representativa da vegetação que já sofreu alteração (9°23'27.52" S e 63°02'27.08" O). Ambas as áreas integram a Unidade de Manejo Florestal (UMF-III) destinadas para exploração por Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), distante 140 km da capital Porto Velho (figura 2).

**Figura 2-** Localização das unidades de produção anual (UPA) no interior da Unidade de Manejo Florestal (UMF-III) – Flona do Jamari, estado de Rondônia, Brasil onde foram instaladas as áreas de pesquisa.



Fonte: AMATA, 2021.

Em cada área foram instaladas 3 parcelas de monitoramento (20 x 20 m) definidas como P1, P2 e P3 para a Área Natural (AN) e P4, P5 e P6 para a Área Explorada (AE), as quais foram monitoradas mensalmente entre outubro/2019 e outubro/2020, para a obtenção das

informações necessárias para a caracterização da estrutura da vegetação e compreensão da repartição da água da chuva.

## **2.2 Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS)**

O Plano de Manejo Florestal (PMF) está previsto no Código Florestal brasileiro (Art. 15º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965), como um instrumento para exploração de florestas primitivas na bacia Amazônica, regulamentado pelo Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006 (BRASIL, 1965; 2006). Já o PMFS desenvolvido na Flona do Jamari foi concedido para exploração nos termos do Capítulo IV da Lei 11.284 de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para produção sustentável e trata das concessões florestais (BRASIL, 2006).

O PMFS desenvolvido na Flona do Jamari enquadra-se como PMFS de categoria Pleno, estabelecido pelo contrato de Gestão nº 01 de 2007, para ser desenvolvido em ambiente predominante de floresta de terra firme de floresta primária, tendo como detentor a empresa AMATA S.A. De acordo com o inventário florestal do PMFS, considerando as 39 espécies florestais de interesse comerciais pela AMATA, o volume médio por hectare destas espécies ( $DAP \geq 65$  cm), foi de  $59,64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

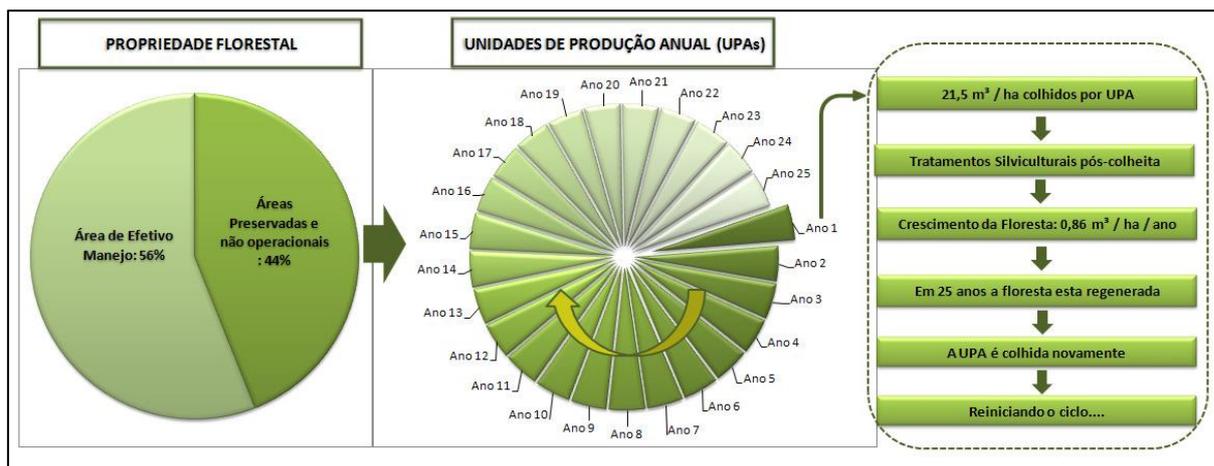
Para garantir a exploração sustentável destes recursos, a empresa utiliza técnicas de manejo de impacto reduzido para minimizar os danos das atividades de colheita no ecossistema florestal e garantir que as taxas de colheita programadas sejam equivalentes à taxa de regeneração da floresta.

No PMFS será empregado o manejo policíclico (figura 3). A área sob concessão é utilizada em um sistema de rodízio, que permite a produção contínua e sustentável de madeira. Em média, de quatro a seis árvores são retiradas por hectare e o retorno a mesma área ocorrerá após 25 a 35 anos, permitindo o crescimento das árvores remanescentes (AMATA, 2007; BRASIL, 2006; SFB/MAPA, 2020). Isso significa que nesse local é possível a exploração florestal de forma a manter a integridade da floresta, sem riscos diretos de devastação.

O Plano contempla uma lista das espécies florestais de valor econômico que poderão ser colhidas futuramente pela empresa, mediante justificativa e considerando uma análise prévia sobre a viabilidade da sua comercialização; uma lista com as espécies florestais que não serão exploradas para fins madeireiros e não-madeireiros, como as espécies castanheira ou

castanha do Brasil (*Bertholetia excelsa* H.B.K.) e seringueira (*Hevea* spp.) e as espécies que receberão medidas de proteção durante as atividades de Manejo Florestal, como as espécies de coccoloba (*Coccoloba latifolia* Lam.) e mungubarana (*Bombax paraenses* Ducke).

**Figura 3** - Conceito de sistema silvicultural policíclico dentro do PMFS, Flona do Jamari, Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira.



Fonte: Plano de Manejo Florestal Sustentável, Flona do Jamari – UMF III, 2007.

Para o cumprimento das principais operações que compõem o sistema silvicultural programado em um ciclo de corte do PMFS da UMF-III da Flona do Jamari, é previsto uma sequência cronológica envolvendo atividades de treinamento das equipes de trabalho para cada etapa de exploração, delimitação das unidades de produção anual (UPAs), abertura de picadas de orientação, microzoneamento (cursos d'água, áreas com cipós, formações rochosas, relevo, etc.), inventário florestal, corte de cipós, planejamento da colheita, seleção de árvores matrizes, elaboração de mapas, planejamento de rede viária e infraestrutura, construção de estradas (principais e de colheita), obras de arte, pátios, corte e traçamento das árvores, planejamento dos ramais de arraste, arraste planejado utilizando máquinas, transporte florestal, colheita do resíduo florestal e tratamentos silviculturais pós-colheita.

### 2.3 Característica da vegetação das áreas de estudo

A densidade de indivíduos florestais por área foi obtida pela contagem de todos os indivíduos florestais com (DAP)  $\geq 10$  cm existentes em cada parcela. O número de indivíduos foi utilizado para obtenção do número de indivíduos por hectare (ha). Em cada uma das parcelas

(P1, P2, P3, P4, P5 e P6) foram selecionados 10 indivíduos florestais, em função dos interesses da pesquisa e da sua representatividade em relação a área de amostragem, totalizando 60 indivíduos. As árvores selecionadas foram numeradas de 1 a 60, divididas em grupos de 10 indivíduos, sendo 30 indivíduos inseridos na AN (P1, P2 e P3) e 30 na AE (P4, P5 e P6).

Apenas indivíduos com circunferência a altura do peito (DAP)  $\geq 10$  cm medidos no início do período de monitoramento foram selecionados. Os atributos dendrométricos obtidos e/ou mensurados, necessários para a caracterização da estrutura da vegetação do conjunto de indivíduos selecionados e a forma de obtenção de cada variável são apresentados na tabela 1 e ilustrados na figura 6.

**Tabela 1** - Atributos dendrométricos e a densidade de indivíduos obtidos e/ou mensurados para o estudo de caracterização da vegetação nas áreas de estudo denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, estado de Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira.

Atributos Dendrométricos	Forma de obtenção
Altura total ( $H_t$ ) em metros.	* Estimado pelo observador.
Altura do fuste ( $h_f$ ) em metros.	* Estimado pelo observador.
	Calculado pela equação 1.
Altura da copa ( $h_c$ ) em metros.	$h_c = H_t - h_f$ Onde, $h_c$ é a altura da copa em (m), $H_t$ altura total e $h_f$ altura do fuste, ambos em metros. As medidas de $H_t$ e $h_f$ foram estimadas pelo observador.
Diâmetro da copa, maior (D) e menor (d) em metros.	Ambos em (m) e obtidos pela medição direta do limite alcançado pela copa de cada indivíduo na direção Norte-Sul e Leste-Oeste, com o auxílio de uma trena.
	Calculada pela equação 2.
Área de projeção da copa ( $A_{pc}$ ) em $m^2$ .	$A_{pc} = \frac{D \cdot d \cdot \pi}{4}$ Onde, $A_{pc}$ é a área de projeção da copa ( $m^2$ ), $D$ diâmetro maior, e $d$ diâmetro menor, ambos em (m) e obtidos pela medição do limite alcançado pela copa de cada indivíduo na direção Norte-Sul e Leste-Oeste, com o auxílio de uma trena.
	Calculado pela equação 3.
Volume da copa ( $V_c$ ) em $m^3$ .	$V_c = \frac{4}{3\pi} \pi D \cdot d \cdot h_c$ Fórmula do sólido elipsoidal. Onde, $V_c$ é o volume da copa ( $m^3$ ), $Pi$ ( $\pi$ ), é uma constante matemática que representa a razão entre o perímetro e o diâmetro de uma circunferência, $D$ e $d$ são, respectivamente o diâmetro maior e menor em (m) e $h_c$ é a altura da copa em (m).
	Calculado por meio da equação 4.
Diâmetro a altura do peito (DAP) em cm.	$DAP = \frac{CAP}{\pi}$ Onde, $DAP$ é o diâmetro a altura do peito, $CAP$ é a circunferência altura do peito, medido a 1,30 m de altura do solo com o uso de uma fita métrica em cm, e $Pi$ ( $\pi$ ), é uma constante matemática que representa a razão entre o perímetro e o diâmetro de uma circunferência.

---

Calculada a partir do DAP.

Área Basal (AB) em m<sup>2</sup>

$$AS = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000} \quad AB = \sum_{i=1}^n AS_i$$

Em que AS= área seccional à altura do peito, m<sup>2</sup>, e AB = área basal, m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.

---

Fonte: organizado pelo autor, 2021. \* Estimado pelo observador posicionado em um ponto que possibilitasse a visualização completa da variável a ser estimada, ilustrado na Figura 6.

## 2.4 Quantificação da repartição de chuva

Pluviômetros foram confeccionados a partir de tubos e conexões de PVC (figura 4 a) e usados para o monitoramento da precipitação em aberto [Pa, mm] e precipitação interna [Pi, mm]. Esses possuíam área de captação de 78,5 cm<sup>2</sup>, altura variando entre 20 e 40 cm de altura e capacidade de armazenamento entre 1,57 e 3,14 litros, respectivamente (figura 3). Ripas de madeira (figura 4 b) e barras de aço (figura 4 c) foram usadas para fixação dos pluviômetros à 1,50 m de altura do solo.

Um funil foi colocado na parte superior de cada pluviômetro para evitar a entrada de galhos, folhas, sementes e insetos que pudessem interromper o fluxo da água, promover a alteração da constituição da água coletada e minimizar a evaporação da água acumulada (figura 4 d).

**Figura 4** - Pluviômetros construídos com tubos e conexões de PVC (a), fixados com ripa de madeira (b) e barras de aço (c) usados para monitorar a Pa e Pi, contendo na parte superior um funil (d).



Fonte: o autor, 2021.

Em ambas as áreas de estudo (AN e AE), a precipitação em aberto (Pa) foi obtida a partir do monitoramento do volume de água da chuva acumulada em 4 pluviômetros instalados

em clareiras e pátios localizados no entorno das áreas de estudo (raio de 50 m de distância da AN e 200 m da AE), com área de captação livre de obstáculos.

Para a precipitação interna, foram monitorados os volumes acumulados em 42 pluviômetros instalados aleatoriamente no interior de cada parcela, sendo 7 pluviômetros por parcela totalizando 21 pluviômetros instalados na AN e 21 pluviômetros na AE. O volume de água acumulado nos pluviômetros foi mensurado mensalmente e representando o acúmulo de água referente a um, ou mais eventos de chuva. A medição do volume acumulado foi realizada com auxílio de uma proveta graduada com capacidade de 1 litro (figura 5 c). O cálculo para determinação da precipitação em aberto foi obtido a partir da equação 1.

$$Pa [mm] = \frac{V [L]}{A [m^2]} \quad (1)$$

onde, Pa= precipitação em aberto [mm], V= o volume do pluviômetro [L] e A= a área de captação do pluviômetro [m<sup>2</sup>].

O cálculo para determinação da precipitação interna [Pi, mm] foi obtido pela média dos volumes acumulados nos pluviômetros a partir da Equação 2.

$$Pi [mm] = \sum_{n=1}^n \frac{\left[ \frac{V [L]}{A [m^2]} \right]}{ni} \quad (2)$$

onde, Pi= precipitação interna [Pi, mm], V= o volume acumulado no pluviômetro [L] e A= a área de captação do pluviômetro [m<sup>2</sup>] e ni é o número de pluviômetros.

O escoamento pelo tronco no interior das parcelas foi obtido pelo monitoramento de 60 indivíduos florestais (30 em cada área), todos com DAP  $\geq$  10 cm mensurados com auxílio de uma trenam no início do período de monitoramento. A água escoada pelo tronco foi coletada por meio de calhas de poliuretano construídas com espuma expansiva (figura 5) baseada na metodologia proposta por Likens e Eaton (1970) (TONELO *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021). Este material possibilita maior eficiência na captação do fluido e menor interferência microbológica por ser inerte, apresentando baixa reatividade bioquímica (BALIEIRO *et al.*, 2001).

Mangueiras de 5/8” foram utilizadas para conectar e conduzir a água coletada para galões de armazenamento com capacidade de 20 litros (figura 5 c). O volume armazenado nos galões foi medido com um balde graduado com capacidade de 20 litros e uma proveta com capacidade de 1 litro (figura 5 e).

**Figura 5** - Molde para construir a calha coletora do escoamento pelo tronco (a), espuma expansiva de poliuretano aplicada sob o molde (b), calha coletora e tambor de armazenamento ligados por uma mangueira conectora (c), água armazenada (d), proveta e balde utilizados na medição dos volumes acumulados (e).



Fonte: organizado pelo autor, 2021.

A determinação do escoamento pelo tronco [Et, mm] considerou a razão entre o volume total do escoamento armazenado nos galões [Vt, L] e a área de projeção da copa de cada indivíduo [APC, m²], a partir da equação 3 (HORTON, 1919; LORENZON *et al.*, 2015; BESSI *et al.*, 2018a):

$$Et = \frac{Vt}{Apc} \quad (3)$$

O volume de água do Et de cada indivíduo monitorado foi considerado para obtenção do valor total do Et da respectiva área de estudo (AN e AE), onde: Et<sub>1</sub> + Et<sub>2</sub> + Et<sub>3</sub>+ Et<sub>4</sub> .....+ Et<sub>30</sub> = Et<sub>área</sub> (AN/AE). O resultado obtido pelo Et do conjunto de indivíduos foi

considerado para a definição da repartição da água da chuva em cada área e para o conjunto de indivíduos de ambas as áreas.

A precipitação efetiva [Pe, mm] que corresponde ao somatório da precipitação interna [Pi, mm] e do escoamento pelo tronco [Et, mm], foi calculada pela equação 4.

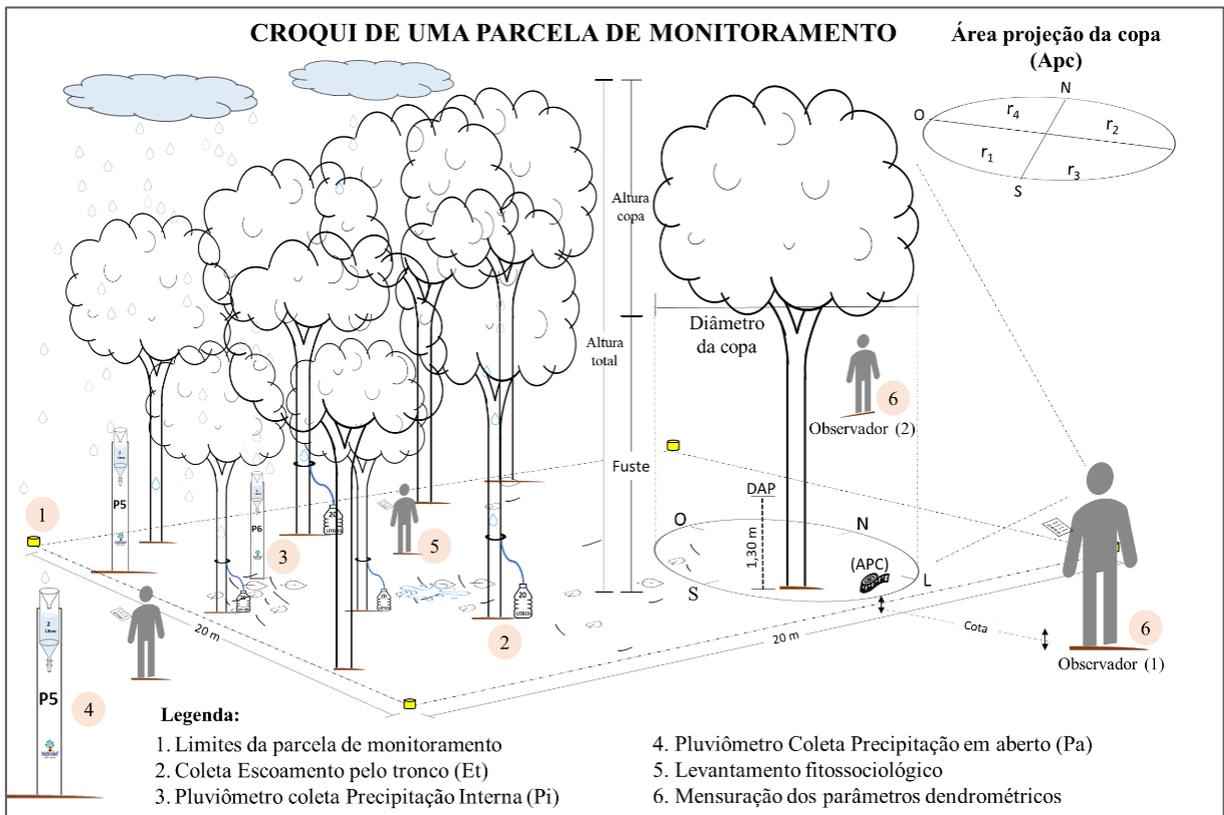
$$Pe [mm] = Pi[mm] + Et [mm] \quad (4)$$

O valor da precipitação que foi interceptada [I, mm] pela estrutura da floresta foi obtido a partir da diferença entre a Pa [mm] e a Pe [mm], calculada pela equação 5.

$$I [mm] = Pa [mm] - Pe[mm] \quad (5)$$

Um croqui ilustrativo das parcelas de monitoramento contendo os principais indicadores amostrados nas respectivas áreas de estudo é apresentado na figura 6.

**Figura 6** - Croqui da parcela de monitoramento instalada para coleta de dados e informações necessárias à caracterização da estrutura da vegetação e da distribuição da água da chuva nas parcelas de monitoramento, localizadas nas áreas de MFS na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

## 2.5 Análise dos dados

Primeiramente, foram compiladas as estatísticas descritivas dos indivíduos florestais monitorados para obtenção da característica em relação aos atributos dendrométricos, e dos volumes de distribuição da água da chuva observados ( $P_a$ ,  $P_i$ ,  $E_t$ ) e calculados ( $P_e$ ,  $I$  e  $E_t\%$ ) para ambas as áreas.

Os dados foram submetidos ao teste de homoscedasticidade das variâncias pelo teste F e de normalidade pelo teste de Lilliefors, em seguida foi realizada a análise da variância dos dados que apresentaram distribuição normal com o teste de T Student a 5% de probabilidade a fim de determinar se as médias das amostras diferiam significativamente entre si. O teste de Spearman ( $r$ ) e análises de regressão foi adotado para determinar se havia correlações significativas entre as variáveis hidrológicas de uma mesma área estudada, assim como uma mesma variável hidrológica entre áreas.

Dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos ao teste não paramétrico. Ambas as análises foram processadas com o auxílio do software BioEstat 5.3 (AYRES, *et al.*, 2007), @Minitab 17 (MINITAB, 2021) e (JAMOVI, 2021).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Característica da vegetação das áreas de estudo

Os atributos dendrométricos dos indivíduos florestais selecionados nas áreas de estudo (AN e AE), não apresentaram diferenças significativas ( $p$ -valor $>0,05$ ) (tabela 2). Apesar disso, observou-se que em média, o DAP dos indivíduos florestais inseridos na AN foi 24,8% inferior ao observado no conjunto dos indivíduos na AE. A classe de distribuição do DAP mais representativa foi a de  $10 < \text{DAP} \leq 20$  cm, tanto na AN quanto na AE, correspondendo a 73% e 50% do total dos indivíduos, respectivamente.

Observou-se um maior percentual de indivíduos com  $\text{DAP} > 30$  na AE (36%) ao passo que na AN essa classe foi representada por apenas 6% dos indivíduos totais. Assim como o DAP, o comprimento do fuste ( $f$ ), a área de projeção da copa ( $A_{pc}$ ), o volume da copa ( $V_c$ ) e área basal média ( $AB$ ) foram, respectivamente, 3%, 16%, 56% e 81% maiores na AE quando

comparados à AN. Diferenças estatisticamente significativas foram observadas em relação a densidade de indivíduos florestais entre as áreas ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Uma lista das espécies florestais encontradas nas parcelas de monitoramento, identificadas pelo nome vulgar, nome científico, ordenadas por ordem alfabética pelo nome da família e sua distribuição é apresentado no apêndice A1.

**Tabela 2** - Estatística descritiva dos atributos dendrométricos dos indivíduos florestais inseridos na área de monitoramento denominada de Área Natural (AN) e Área Explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. DAP = diâmetro à altura do peito, Ht = altura total, f = altura do fuste, Apc = área de projeção da copa, Vc = volume da copa, AB = área basal.

Medidas	Área Natural (AN)							Densidade (Ind.ha <sup>-1</sup> )
	DAP (cm)	Ht (m)	f (m)	Hc (m)	Apc (m <sup>2</sup> )	Vc (m <sup>3</sup> )	AB (cm <sup>2</sup> )	
Mínimo	12,7	12,0	8,0	1,5	7,2	8,0	127,3	
Máximo	111,5	28,0	22,0	9,0	199,7	795,4	9.748,2	
Média*	21,8 a	17,4 a	13,0 a	4,4 a	41,7 a	133,7 a	617,6 a	1625a
Desvio Padrão (Dp)	18,0	3,5	3,8	1,5	37,52	154,5	1.738,3	
Coeficiente de variação (CV%)	82.3	19.9	29.5	34.9	90.5	115.6	281.4	
Medidas	Área Explorada (AE)							Densidade (Ind.ha <sup>-1</sup> )
	DAP (cm)	Ht (m)	f (m)	Hc (m)	Apc (m <sup>2</sup> )	Vc (m <sup>3</sup> )	AB (cm <sup>2</sup> )	
Mínimo	12,7	9,0	4,0	1,0	0,4	1,3	127,3	
Máximo	140,8	36,0	28,0	8,0	284,8	1.512,8	15.419,2	
Média*	29,0 a	17,3 a	13,4 a	3,8 a	49,9 a	161,6 a	1.117,0 a	1450b
Desvio Padrão (Dp)	24,5	4,9	4,7	2,0	58,8	284,0	2799,5	
Coeficiente de variação (CV%)	84.4	28.5	34.9	50.9	117.9	175.7	250.6	

\*Valores seguidos com a mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p>0.05$ ).  
Fonte: o autor, 2021.

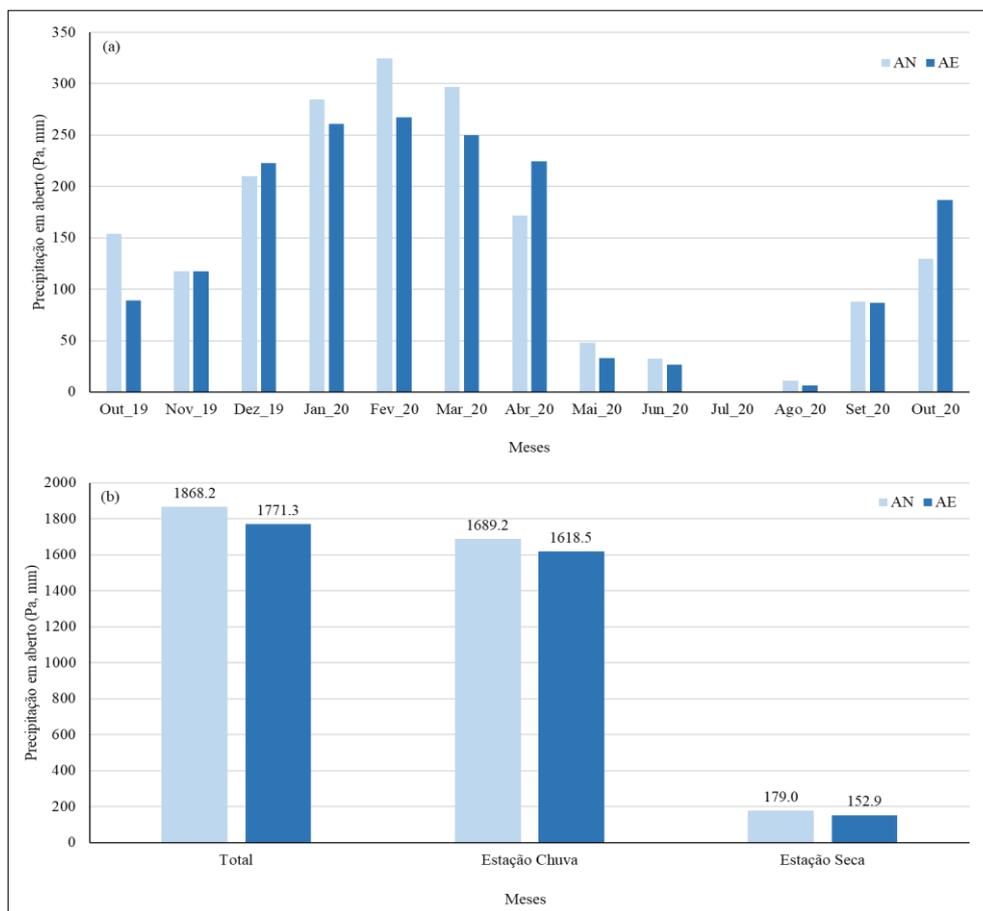
## 3.2 Parâmetros hidrológicos

A Pa acumulada para o período de monitoramento foi de 1.868,2 mm na AN e 1.771,3 mm na AE (figura 7). Para ambas as áreas, os menores acúmulos de Pa foram observados no período seco (meses de maio a setembro), sendo o mês de julho o único a não apresentar registro por ausência de chuva (figura 7 a). O período chuvoso (outubro a abril) concentrou aproximadamente 91% da Pa tanto na AN (1689,2 mm) como na AE (1618,5 mm), com valores máximos registrados no mês de fevereiro/2020 (figura 7 b).

### 3.2.1 Precipitação interna [Pi, mm]

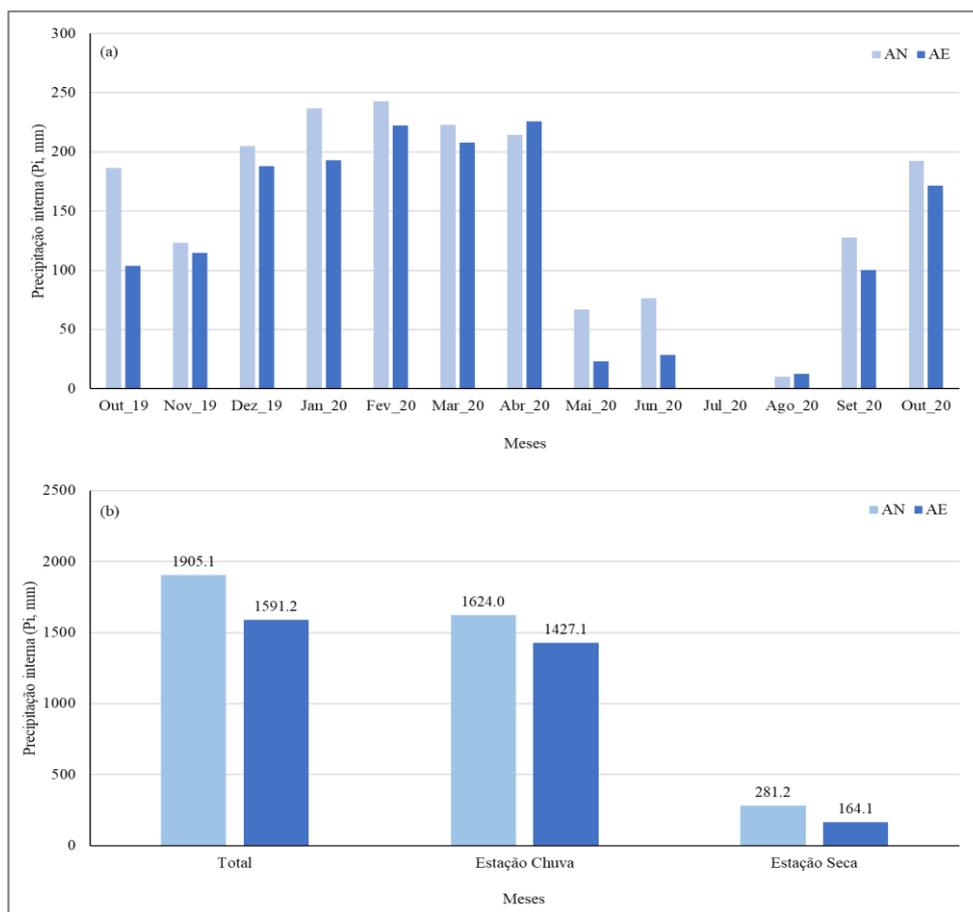
A Pi se mostrou superior à Pa em 54% dos eventos registrados na AN e 42% na AE (figura 8 a). Entre as áreas monitoradas, a Pi foi 16% maior na AN, correspondendo a 102% da Pa (1.905,1 mm), ao passo que na AE, este processo correspondeu à 90% da Pa (1.591,2 mm) (tabela 3). A ocorrência entre as estações apontou que 85% (1.624,0 mm) e 90% (1.427,1 mm) do aporte de Pi esteve associado à estação de chuva em AN e AE, respectivamente (figura 8 b).

**Figura 7 -** (a) Distribuição mensal da precipitação em aberto [Pa, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

**Figura 8** - (a) Distribuição da precipitação interna (Pi, mm) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e sca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

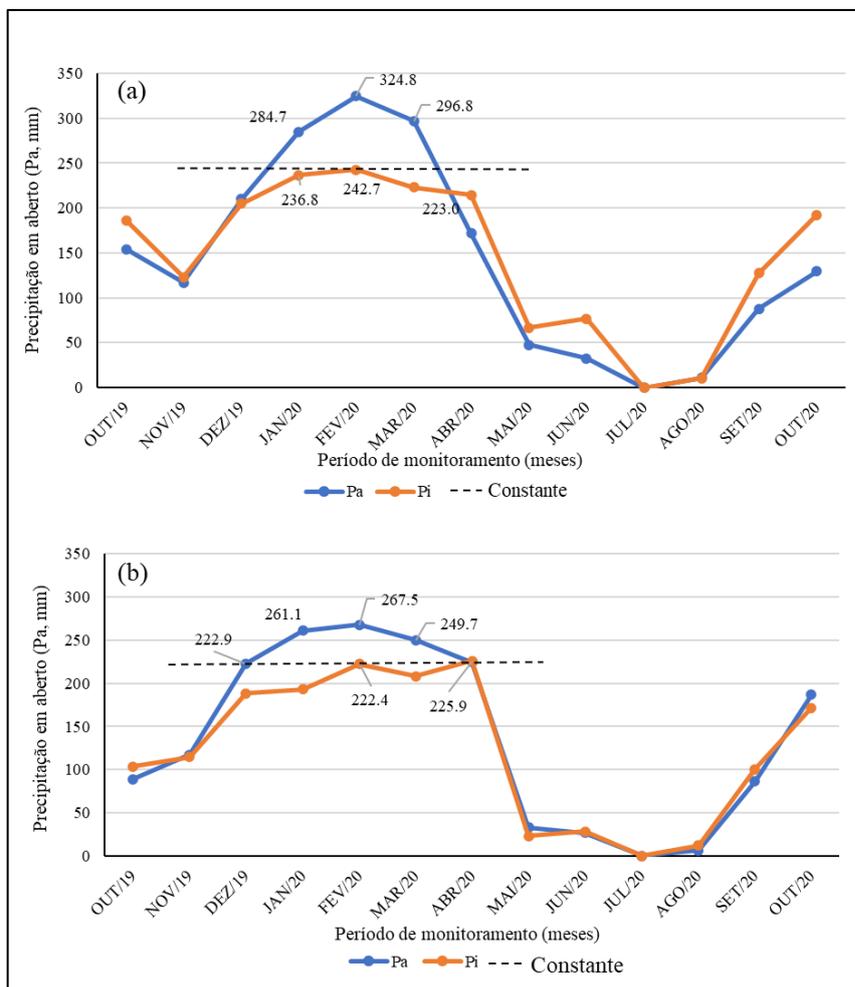
**Tabela 3** - Precipitação em aberto [Pa, mm], precipitação interna [Pi, mm e %] médios acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Estação	Área Natural (AN)			Área Explorada (AE)		
	Pa (mm)	Pi (mm)	% Pi (Pa)	Pa (mm)	Pi (mm)	% Pi (Pa)
Chuva	1689.2	1624.0	96.14	1618.5	1427.1	88,17
Seca	179.0	281.2	157,09	152.9	164.1	107,33
<b>Total</b>	<b>1868.2</b>	<b>1905.1</b>	<b>102.0</b>	<b>1771.3</b>	<b>1591.2</b>	<b>89.8</b>

Fonte: o autor, 2021. Em que precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi) ambos expressos em mm.

Verificou-se uma tendência entre as componentes Pa e Pi, especialmente nos períodos que apresentaram os menores acúmulos de Pa. Porém, entre os meses em que foram registrados os maiores volumes da componente Pa (janeiro, fevereiro e março), observa-se uma tendência de constância de Pi (estabilidade) mesmo havendo o incremento na Pa (figura 9).

**Figura 9** - Comportamento de distribuição das componentes Pa e Pi acumulados na (a) área natural (AN) e (b) área explorada (AE) ao longo dos períodos de coleta indicando uma tendência constante em relação aos volumes elevados de acúmulo.



Fonte: o autor, 2021.

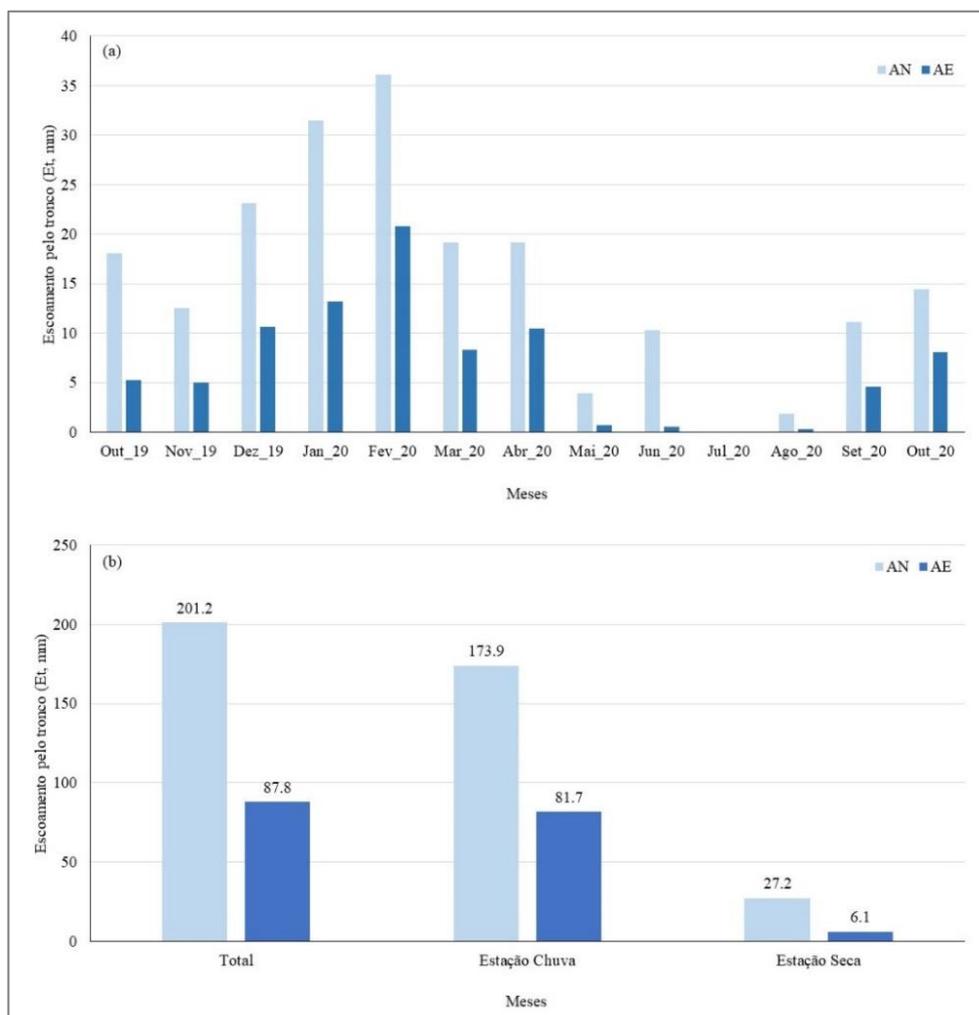
### 3.2.2 Escoamento pelo tronco (Et)

O Et apresentou grande variação entre os períodos de coleta com valores que variaram entre 0 e 36,1 mm para a AN e entre 0 e 20,8 mm para a AE (Figura 10 a). O total escoado pelo tronco na AN somou 201,2 mm (4.652,1 litros), enquanto na AE esse percentual foi 56,4% menor, correspondendo a 87,8 mm (3.017,61 litros). Em média, o Et correspondeu a 10,8% e 5,0% do total da Pa observada na AN e AE, respectivamente (tabela 4).

Sazonalmente, os maiores volumes de Et foram acumulados no período chuvoso (outubro a abril) para ambas as áreas, sendo registrados 173,9 mm na AN e 81,7 mm na AE,

com maior acúmulo em fevereiro. Durante a estação seca (meses de maio a agosto) o Et na AN foi 88% (27.2 mm) maior que na AE (6,1 mm) (figura 10 b).

**Figura 10** – (a) Distribuição do escoamento pelo tronco [Et, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Em todos os períodos do ano hidrológico monitorado, o conjunto de indivíduos florestais inseridos na AN proporcionaram um maior aporte de escoamento pelo tronco quando comparados com a AE. A lista completa contendo os valores de Et em litros, mm e a eficiência de escoamento pelo tronco (Et%) dos indivíduos florestais selecionados e monitorados as respectivas áreas de estudo podem ser consultadas no apêndice A2.

**Tabela 4** – Precipitação em aberto [Pa, mm], escoamento pelo tronco [Et, mm e %] médios acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Estação	AN			AE		
	Pa (mm)	Et (mm)	% Et (Pa)	Pa (mm)	Et (mm)	% Et (Pa)
Chuva	1689.2	173.9	10.3	1618.5	81.7	5.0
Seca	179.0	27.2	15.2	152.9	6.1	4.0
<b>Total</b>	<b>1868.2</b>	<b>201.2</b>	<b>10.8</b>	<b>1771.3</b>	<b>87.8</b>	<b>5.0</b>

Fonte: o autor, 2021. Em que precipitação em aberto (Pa), escoamento pelo tronco (Et) ambos expressos em mm.

### 3.2.3 Precipitação efetiva (Pe)

O valor da precipitação efetiva (Pe) calculada para a AN foi de 2106,28 mm, enquanto na AE o valor desta componente foi de 1679,0 mm, 20,3% menor em relação a AN. Em relação ao total calculado para as áreas, a Pe da AN totalizou um acúmulo equivalente a 112,7% do total da Pa incidente sobre a área, enquanto na AE esse percentual foi de 94,8% (tabela 5).

Na AN o percentual acumulado dessa componente (Pe) em relação a Pa incidente sobre a área totalizou respectivamente 96,2% (período chuvoso), e 16,5% (período seco) enquanto na AE esse percentual ficou dividido da seguinte maneira: 85,2% (período chuvoso) e 9,6% acumulado no período seco (tabela 5).

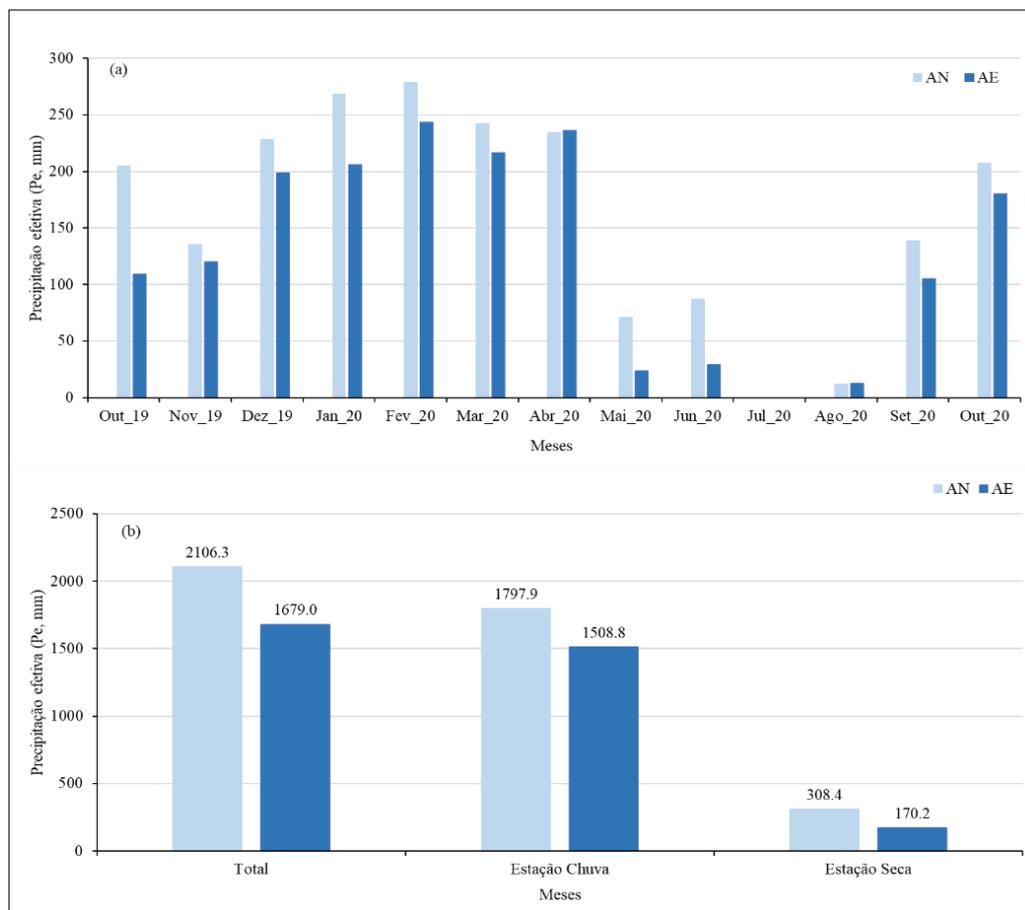
O valor máximo da precipitação efetiva (Pe) para ambas as áreas de estudo foram observados no mês de fevereiro/2020, sendo calculado um valor máximo de 278,8 mm para a AN e de 243,2 mm para a AE (figura 11 a). Sazonalmente os maiores valores de Pe foram obtidos no período chuvoso do ano (figura 11 b).

**Tabela 5** – Precipitação em aberto [Pa, mm] e precipitação efetiva [Pe mm e %] acumulados sazonalmente nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Estação	Área Natural (AN)			Área Explorada (AE)		
	Pa	Pe	% Pe (Pa)	Pa	Pe	% Pe (Pa)
Chuva	1689.2	1797.9	106,43	1618.5	1508.8	93,22
Seca	179.0	308.4	172,30	152.9	170.2	111,31
<b>Total</b>	<b>1868.2</b>	<b>2106.3</b>	<b>112.7</b>	<b>1771.3</b>	<b>1679.0</b>	<b>94.8</b>

Fonte: o autor, 2021.

**Figura 11** - (a) Distribuição da precipitação efetiva (Pe, mm) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

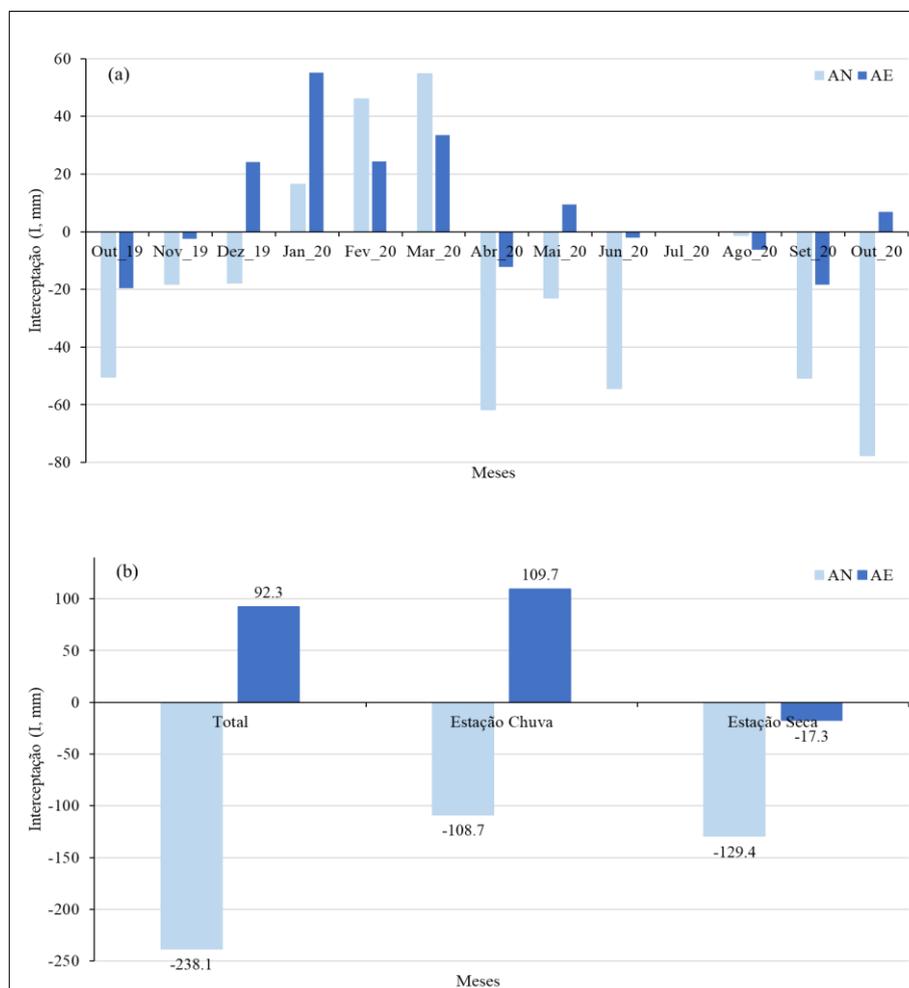
### 3.2.4 Intercepção (I)

O valor médio das perdas por intercepção (I) para a AN com base nos volumes reais observados foi de -18,3 mm, enquanto na AE esse valor foi de 7,1 mm (tabela 6). Durante o período de monitoramento a I apresentou valores negativos em 69,2% das etapas de coleta na AN e em 46,2% das etapas de coleta para a AE (figura 12 a). Sazonalmente as perdas por intercepção de ambas as áreas apresentaram valores positivos apenas no período chuvoso do ano hidrológico monitorado (figura 12 b).

Considerando que os valores de Pe calculados para as respectivas áreas foram diretamente influenciados pelos valores de Pi, resultando em valores negativos de intercepção, optou-se por calcular a intercepção considerando apenas os períodos de coleta

em que os valores médios de  $P_e$  foram inferiores ao valor médio da  $P_a$  para cada área no mesmo período.

**Figura 12** - (a) Perdas por interceptação [I, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Neste sentido, foram considerados no cálculo os valores obtidos em 30,8% dos períodos de coleta para a AN e 53,8% dos períodos de coleta para a AE. Dessa maneira, o total de perdas por interceptação da AN apresentou valor médio de 29,3 mm, enquanto na AE esse valor foi de 21,9 mm representando, respectivamente, 12,9 e 12,6% do total de  $P_a$  considerado para cada área (tabela 6).

**Tabela 6** - Estatística descritiva dos parâmetros hidrológicos  $P_a$ ,  $P_i$ ,  $E_t$ ,  $P_e$  e  $I$  ajustados, das áreas de monitoramento denominada de Área Natural (AN) e Área Explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.

Medidas	Parâmetros hidrológicos (mm)
---------	------------------------------

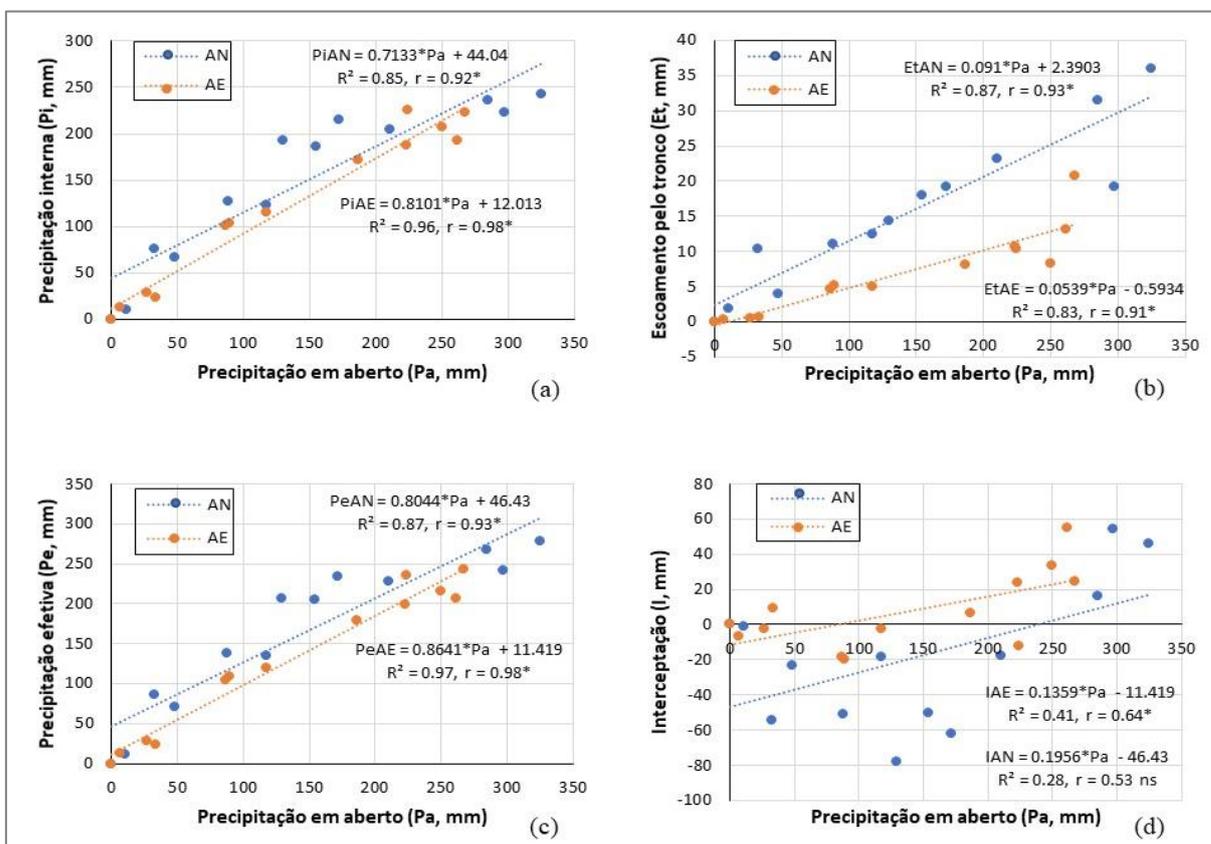
	Pa*		Pi*		Et*		Pe*		I*	
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máximo	324.8	267.5	242.7	222.4	36.1	20.8	278.8	243.2	54.7	55.1
Média	226.6	174.4	175.6	143.7	21.7	8.8	197.3	152.5	29.3	21.9
Dp	152.0	111.6	117.4	91.9	16.1	7.2	132.4	98.2	25.5	18.8
CV (%)	67.1	64.0	66.8	64.0	74.4	81.5	67.1	64.4	87.0	85.6

Fonte: o autor, 2021. Onde precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), precipitação efetiva (Pe) escoamento pelo tronco (Et) e perdas por interceptação (I) expressos em mm. (\*) Valores ajustados.

### 3.2.5 Observações hidrológicas globais

Na maioria das relações, os processos hidrológicos apontaram correlações lineares positivas e significativas ( $p < 0,05$ ) com a Pa, tanto na AN como na AE (figura 13 a-c). Apesar da moderada correlação entre I x Pa na AN, essa foi a única correlação que não se mostrou significativa ( $p > 0,05$ ) (figura 13 d).

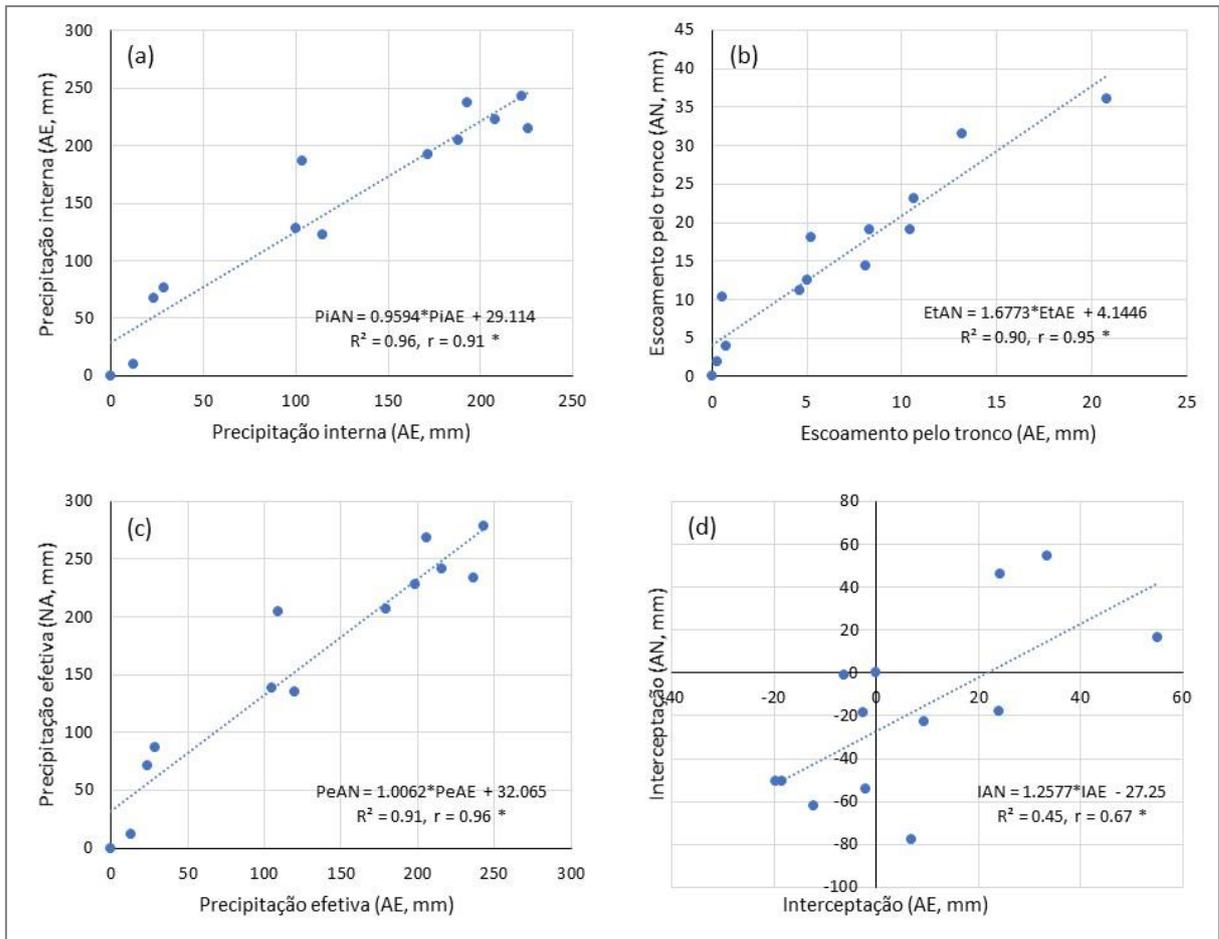
**Figura 13** - Regressão linear entre (a) precipitação interna [Pi, mm], (b) escoamento pelo tronco [Et, mm], (c) precipitação efetiva [Pe, mm] e (d) interceptação [I, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil. \* =  $p < 0,05$  e ns =  $p > 0,05$ .  $R^2$  = coef. determinação,  $r$  = coef. correlação.



Fonte: o autor, 2021.

Correlações fortes e significativas também foram obtidas ao se associar as observações hidrológicas entre AN e AE (figura 14 a-c). Entretanto, o teste de médias entre os processos envolvidos na repartição de chuva entre a AN e AE, indicou que apenas o escoamento pelo tronco se diferenciou entre as áreas estudadas ( $p = 0.02$ ) (figura 14 b).

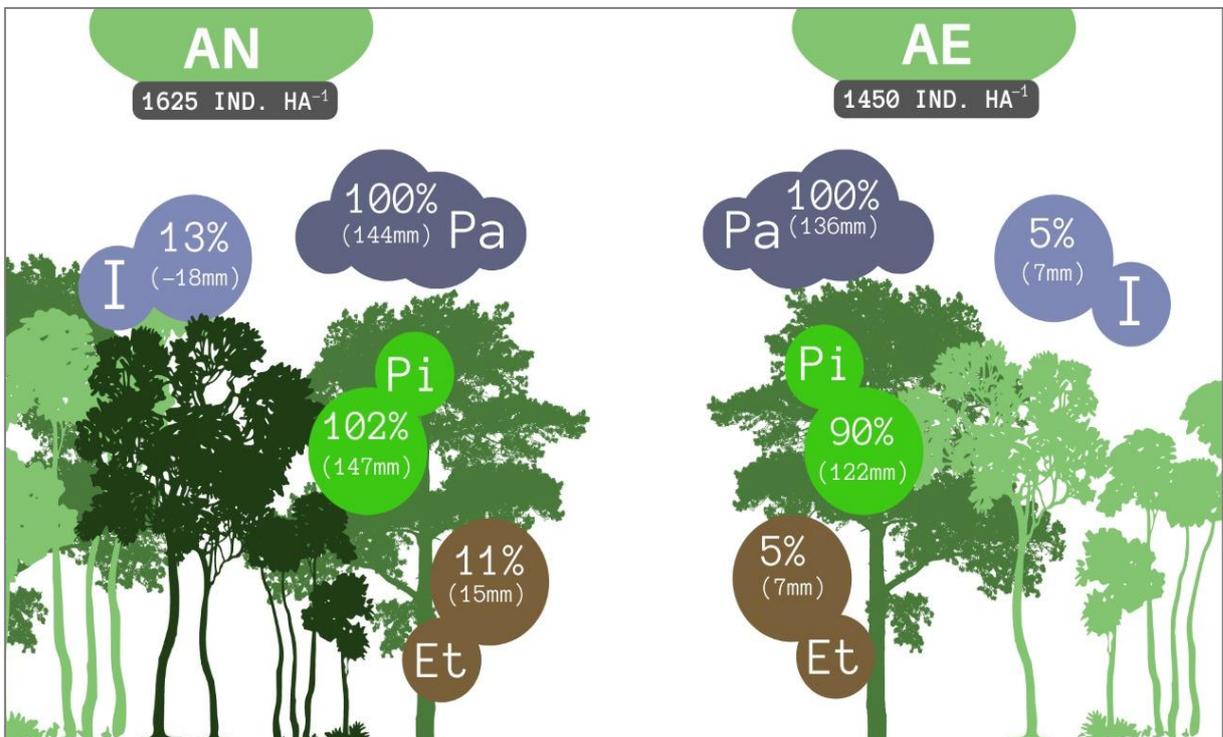
**Figura 14** - Correlação entre os processos hidrológicos da área natural (AN) e área explorada (AE): (a) precipitação interna (Pi), (b) escoamento pelo tronco (Et), (c) precipitação efetiva (Pe) e (d) Interceptação (I). \* =  $p < 0,05$  e ns =  $p > 0,05$ .  $R^2$  = coef. determinação,  $r$  = coef. correlação.



Fonte: o autor, 2021.

Um resumo com os valores médios da repartição da água da chuva obtidos nas áreas investigadas neste estudo, considerando as variáveis hidrológicas da precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), precipitação efetiva (Pe) e as perdas por interceptação (I) expressas em mm e o percentual equivalente são apresentados na figura 15.

**Figura 15** - Repartição da chuva na área natural (AN) e na área explorada (AE) em percentual (%) e média (mm) e a densidade de indivíduos florestais em cada área ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ) considerando as variáveis hidrológicas precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), o escoamento pelo tronco (Et) e as perdas por interceptação (I).



Fonte: o autor, 2021.

## 4 DISCUSSÃO

### A repartição de chuva e o Manejo Florestal Sustentável

A chuva registrada nas áreas analisadas nesse estudo ficou abaixo do valor médio para a Amazônia Ocidental o qual se situa na faixa de 2300 mm (FISCH *et al.*, 1998; GAMA, 2002; ALVARES *et al.*, 2013; CLIMATE-DATA, 2021), muito embora tenha sido enquadrada dentro dos totais de chuva já encontrados para o estado de Rondônia que apresenta variação de 1300 mm a 2600 mm (RONDÔNIA, 2000; GERMER, ELSENBEER & MORAES, 2006; WEBLER *et al.*, 2013; FRANCA, 2015).

O comportamento de distribuição sazonal da precipitação em aberto nas áreas de estudo ao longo do período hidrológico amostrado teve comportamento semelhante ao observado para a região amazônica, sendo possível identificar três períodos distintos, um mais chuvoso entre os meses de outubro e abril; um período mais seco entre junho e agosto, e dois períodos de

transição nos meses de maio e setembro (FISCH, *et al.*, 1988; FERREIRA, *et al.*, 2005; FRANCA, 2015; CLIMATE-DATE, 2019).

A precipitação interna observada nas áreas de estudo está parcialmente de acordo com as observações de outros autores e reforçam a indicação de que esse processo é a principal entrada de água em uma floresta após a chuva interagir com o ecossistema, de forma a representar mais de 80% da precipitação em aberto (LIMA & NICOLIELO, 1983; UBARANA & NOBRE, 1996; ARCOVA, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2008; HONDA *et al.*, 2015).

Neste estudo a precipitação interna, especialmente na AN, se mostrou acima dos valores registrados para a precipitação em aberto. Ainda que, aparentemente, não seja possível que a precipitação interna supere a precipitação em aberto, estes eventos são comuns e já foram relatados por outros autores (VALLEJO, 1982; CROCKFORD & RICHARDSON, 2000; MOURA, *et al.*, 2009; SARI, *et al.*, 2016, Lorenzon, *et al.* 2015, Pereira, Valcarcel & Barbosa, 2016), inclusive em ambientes amazônicos (MARIN, *et al.*, 2000; CAMPOS, *et al.*, 2020), como em floresta de terra firme sem perturbação (Lloyd e Marques, 1988) e em Floresta Ombrófila Aberta no estado de Rondônia (Germer *et al.*, 2006).

O comportamento observado em que os volumes de  $P_i$  foram superiores à  $P_a$  ( $P_i > P_a$ ) pode ser justificado pela interferência de vários fatores já relatados na literatura, como: a umidade ascendente (VALLEJO, 1982), a intensidade da chuva, a velocidade dos ventos e o intervalo entre as chuvas (MIRANDA, 1992; MOURA *et al.*, 2009), maior abertura no dossel (SARI, *et al.*, 2016), alta variabilidade espacial da precipitação sob o dossel (MOURA *et al.*, 2009), ou ainda pela morfologia da vegetação (UBARANA & NOBRE, 1996; VALLEJO, 1982) podendo ocasionar a concentração de pontos de gotejamento (MOURA, *et al.*, 2009; SARI, *et al.*, 2016) acima dos pluviômetros. As diferenças na densidade de indivíduos e nas características da vegetação corroboram para justificar a variação dos volumes desta variável ( $P_i$ ) entre as áreas.

Por sua vez, os valores de precipitação interna na AE concordam com os observados em áreas submetidas a extração seletiva de madeira em floresta de terra firme na Estação Experimental de Manejo Florestal em Manaus-AM (Ferreira, *et al.*, 2005) e aos obtidos em outros estudos realizados na Floresta Amazônia (UBARANA & NOBRE 1996, CAMPOS, *et al.* 2020 GERMER, *et al.*, 2006) (tabela 7).

A similaridade entre estes resultados aponta indícios de que as áreas monitoradas neste estudo mantém condições semelhantes com as áreas de floresta investigadas por estes autores.

Inclusive quanto ao registro da capacidade de retenção de água pelo dossel, indicando que em volumes mais elevados de chuva, há uma tendência de equilíbrio da precipitação interna.

Comportamento semelhante foi identificado em estudos realizados na região Amazônica (LLOYD & MARQUES, 1988; UBARANA & NOBRE 1996) e a similaridade dos resultados pode estar relacionado a homogeneidade climática da região e da tipologia da vegetação das áreas estudadas.

Quanto ao papel exercido pelo dossel florestal, Salati, *et al.*, (1979) mostrou que mais de 50% do vapor d'água que forma nuvens e se precipita é produzido pelo processo de evapotranspiração local. Já em relação ao balanço hidrológico e a evapotranspiração Lloyd *et al.*, (1985), sugere que a interceptação do dossel foi responsável por valores significativos de certa de 10% a 22% (FRANKEN *et al.*, 1982), comprovando quão significativa e importante é a retenção de água pelo dossel florestal, contribuindo diretamente para a formação da massa de vapor de água precipitável na atmosfera, na bacia Amazônica.

Por outro lado, não somente a precipitação interna mas o escoamento pelo tronco também apontou percentuais acima da maioria das taxas já observadas em florestas tropicais (1~2%) (BRUIJNZEEL, 1990; AKRAM *et al.*, 2017; LIMIN *et al.*, 2015) e, em especial, em estudos desenvolvidos na Amazônia brasileira (FRANKEN *et al.*, 1982; SCHUBART *et al.*, 1984; LEOPOLDO, *et al.*, 1987; LLOYD & MARQUES FILHO, 1988; UBARANA & NOBRE, *et al.*, 1996; FERREIRA, *et al.*, 2005; CUARTAS, *et al.*, 2007; OLIVEIRA, *et al.*, 2008; CAMPOS, *et al.*, 2020), principalmente na AN (10,8%).

Esse processo tem despertado o interesse da comunidade científica nos últimos anos, especialmente pela importância deste componente para estudos da hidrologia e bioquímica dos ecossistemas florestais (TONELLO, 2021). Diversos mecanismos têm sido propostos para explicar a alta variabilidade apresentada pelos fluxos de escoamento pelo tronco (HONDA *et al.*, 2015, SPENCER e VAN MEERVELD, 2016, VAN STAN e ALLEN, 2020).

Estudos mais recentes apontam que o escoamento pelo tronco está intimamente relacionado com a estrutura e a morfologia da vegetação e as características da casca (TONELLO, *et al.*, 2022), como o tamanho das árvores (ZIMMERMANN *et al.*, 2015); a estrutura das copas (que interferem na eficácia de drenagem pelas árvores, sendo proposto a hipótese da existência de um ângulo de inclinação dos galhos mais eficiente para drenar a água da chuva para o caule) (LEVIA, 2003, SADEGHI *et al.*, 2020); efeitos de “vizinhança das árvores” (onde algumas copas se sobrepõem a outras) (METZGER, *et al.*, Van Stan *et al.*, 2011)

e as características físicas da casca (já que é sobre essa estrutura que o escoamento irá fluir, sendo portanto uma variável principal) (TONELLO, *et al.*, 2021; LEVIA *et al.*, 2010; VAN STAN e LEVIA, 2010; VAN STAN, *et al.*, 2016).

Aspectos relacionados a molhabilidade e a capacidade da casca em armazenar água assumem relevante protagonismo, pois para que o fluxo de escoamento se inicie, é preciso primeiro que aconteça a capacidade de armazenamento de água pela casca tenha sido superada (CROCKFORD & RICHARDSON, 2000; TONELLO, *et al.*, 2021).

Os valores de precipitação efetiva observados na AE, mesmo sendo considerados elevados, estão próximos aos 92,8% encontrados na Reserva Florestal Ducke no Amazonas (LLOYD & MARQUES FILHO, 1988), mas inferior aos 97,6% determinados na Floresta Aberta (GERMER *et al.*, 2006).

A alta correlação observada para as áreas aponta o efeito linear da precipitação interna e escoamento pelo tronco em função da precipitação em aberto, evidenciando que a precipitação efetiva é influenciada pela quantidade de chuva que incide sobre a floresta. Esta mesma correlação foi observada na Floresta Nacional Caxiuanã, na Amazônia Oriental (OLIVEIRA *et al.* 2008) e em diferentes estágios de regeneração do Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (LORENZON *et al.* 2015).

Para melhor compreensão da repartição das chuvas que incidiram sobre as áreas, os valores de interceptação foram recalculados e ajustados. Para tanto, foram considerados apenas os valores médios de precipitação efetiva que apresentaram médias menores que a chuva em aberto. Desta maneira, os valores de interceptação da precipitação pela vegetação calculados para as áreas de estudo com base nos valores ajustados no período estão de acordo com os limites normalmente apontados para florestas tropicais que variam entre 10 e 20% (KURAJI & TANAKA, 2003), representando uma contribuição significativa para o ciclo hidrológico da região da Flona do Jamari, pois considerando uma precipitação de 1.063,7 mm, estimou-se que em média 135,3 mm foram interceptados pela cobertura florestal.

As taxas percentuais de interceptação (I) obtidas neste estudo se encontram dentro dos limites já observados em outros estudos desenvolvidos na região amazônica, tais como, em uma área de Floresta manejada (7,1 e 13,1%) e em uma área de floresta intacta (12,9 e 25,8%), ambas no estado do Amazonas (FERREIRA *et al.* 2005), assim como o registrado na Reserva Biológica do Jaru – Rondônia (11,6%) e, na Reserva Vale do Rio Doce – Pará (UBARANA & NOBRE, 1996). Os valores das variáveis hidrológicas obtidas pelo estudo evidenciam a

importância hidrológica das florestas inseridas no Bioma Amazônico quando comparado aos demais biomas brasileiros (tabela 7).

A caracterização da estrutura da floresta foi fundamental para dar suporte ao entendimento dos processos envolvidos na repartição de chuva. Ao se comparar a área natural (sem manejo) e a área explorada, com a intenção de obter respostas sobre “qual a influência das atividades dos Planos de Manejo Florestal Sustentável sob a dinâmica hídricas e os processos que condicionam as características hidrológicas na floresta amazônica?”, verificou-se que ambas possuem atributos estruturais semelhantes, sendo identificadas diferenças significativas apenas quanto à dinâmica do escoamento pelo tronco.

Na Amazônia a exploração sustentável dos recursos florestais configura-se como um dos principais desafios, frente a permanência dos elevados índices de desmatamento ilegal (RIBEIRO, FONSECA & PEREIRA, 2020).

Neste contexto, os Planos de Manejo Florestal (PMF) são vistos como uma boa alternativa para a retirada da madeira (ANGELO *et al.*, 2014), pois têm como objetivo legal a exploração racional da floresta (BRASIL, 2011), seguindo técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR), que devem ser implementados integrando às práticas silviculturais (MIRANDA, *et al.*, 2020), visando a melhoria contínua da operação florestal buscando reduzir os danos ambientais (AMATA, 2009).

Porém, apesar das melhorias nas técnicas operacionais, os PMFS normalmente são implementados com o uso de maquinários pesados (MIRANDA *et al.*, 2020), e constituem-se em essência, como uma atividade idealizada para promover o corte e a derrubada de indivíduos florestais com posterior arraste das toras para pátios provisórios. Nas parcelas da AE, observa-se que a alteração do ambiente foi ocasionada pelo arraste das toras, pois foi identificado que o trajeto percorrido para executar a etapa de remoção das toras previstas pelo manejo florestal, passou pelo espaço das parcelas de monitoramento.

Desta forma, apesar dos PMFS serem uma alternativa para atender os objetivos da sustentabilidade, visto que favorecem a manutenção da estabilidade dos espaços explorados favorecendo a resiliência das florestas, a atividade ocasiona alterações nas características destes ambientes, pois a remoção parcial ou total da vegetação influencia a disponibilidade hídrica e modificam o comportamento hidrológico (ARAÚJO NETO *et al.*, 2013).

**Tabela 7** - Valores em percentual das componentes Pi, Et, Pe e I em relação a Pa (mm) obtidos em estudos desenvolvidos em diferentes Biomas e sítios experimentais na Amazônia brasileira, incluindo os percentuais obtidos neste estudo.

<b>Autores</b>	<b>Local</b>	<b>Pa (mm)</b>	<b>Pi (%)</b>	<b>Et (%)</b>	<b>Pe (%)</b>	<b>I (%)</b>	
Franken <i>et al.</i> (1982a)	Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)		77,7	0,3		22,0	
Franken <i>et al.</i> (1982b)	Reserva Florestal Ducke, Manaus (AM)	2.570	80,2	-	-	19,8	
Schubart <i>et al.</i> (1984)	Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)		-	-	-	25,6	
Leopoldo <i>et al.</i> (1987)	Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	1.705	78,4	0,3	78,8	21,3	
Leopoldo <i>et al.</i> (1987)	Reserva Florestal Ducke (AM)		89,3	1,8		8,9	
Lloyd e Marques Filho (1988)	Reserva Florestal Ducke (AM)	2.480	91,0	1,8	92,8	7,2	
Ubarana & Nobre (1996)	Reserva Vale do Rio Doce (PA)	1.650	86,2	0,8	-	12,9	
Ubarana & Nobre (1996)	Reserva Biológica do Jarú (RO)	3.563	87,0	1,4	-	11,6	
Ferreira <i>et al.</i> (2005)	Intacta		74,2			25,8	
	Manejada	Floresta, ZF-2, km 23 (AM)	3.126	87,1	-	-	12,9
				86,9			13,1
Germer <i>et al.</i> (2006)	Floresta aberta Rancho Grande (RO)		89,8	7,8		2,4	
Cuartas <i>et al.</i> (2007)	Rebio Cuieiras INPA, Manaus (AM)	3.064	82,9	0,6	-	16,5	
Oliveira <i>et al.</i> , 2008	Floresta Nacional Caxiuanã (PA)	1.153	76,8	1,7	78,5	21,5	
Campos <i>et al.</i> (2020)	Floresta Ripária secundária, (Santarém – PA)	2.659	89,3	0,5	89,8	10,2	
Este estudo (Todo o período)	Natural	Floresta Nacional do Jamari (RO)	1.868	102,0	10,8	112,7	12,9*
	Explorada		1.771	89,8	5,0	94,8	12,6*
Valores obtidos em outros Biomas brasileiros							
Moura, <i>et al.</i> (2009)	Remanescente Mata Atlântica	1640	84,9	0,4	87,3	12,7	
Arcova, Cicco & Rocha (2003)	Floresta secundária Mata Atlântica	2220,3	81,2	0,2	81,4	18,6	
Izidio <i>et al.</i> (2013)	Caatinga (CE)	954,0	76,5	5,9	82,4	17,9	
Medeiros <i>et al.</i> (2009)	Caatinga densa	1658,0	81,0	6,0	87,0	13,0	
Tonello <i>et al.</i> (2021)	Cerrado	970,0	84,0	0,98		15	

Fonte: Organizado pelo autor, 2021. Valores de I\* foram obtidos mediante ajuste das componentes determinantes.

## Percepções sobre a dinâmica da precipitação efetiva na Floresta Amazônica

Os valores observados nesse estudo chamam a atenção, em especial, da precipitação interna e escoamento pelo tronco, em função de se mostrarem superiores aos registrados para a precipitação em aberto, principalmente na estação seca. De fato, diversos são os fatores a serem considerados ao se analisar a dinâmica da repartição de chuva em ambientes florestais,

entretanto, há ainda outro fenômeno que pode justificar esse incremento da precipitação efetiva, que não foi computado nesse estudo: a precipitação oculta.

Durante as incursões de campo às áreas de estudo, que se iniciaram na primeira hora da manhã (5am), foi observado regularmente, inclusive no período considerado seco do ano, que as estradas utilizadas no deslocamento entre as áreas e demais locais de interesse da pesquisa no interior da floresta, apresentavam elevada umidade, com aspecto de ocorrência de chuvas, mesmo que nenhum acúmulo de água tivesse sido observado nos pluviômetros, instalados nestes mesmos locais.

Essa mesma umidade, também foi observada nas estruturas da vegetação (dossel) e da serapilheira sob o solo, sendo tal aspecto mais destacado no interior das parcelas de monitoramento. Essas observações pessoais nos levaram a refletir sobre a possível influência da precipitação oculta no incremento da precipitação efetiva das áreas aqui estudadas.

Na atmosfera, a neblina se forma quando o ar está supersaturado em relação a água. No interior da floresta, a neblina possibilita a ocorrência da precipitação oculta, que por sua vez, agrega água à precipitação efetiva. Nesses ambientes, para que ocorra a precipitação oculta, esse vapor d'água precisa interagir com um objeto (nesse caso, folhas, frutos e tronco, por exemplo), ou ainda com pequenas partículas em suspensão na atmosfera para que ocorra a sua condensação (ARTAXO *et al.*, 2006), contribuindo para a redistribuição da precipitação (BALBINOT *et al.*, 2008).

Diante da condensação, a precipitação oculta passa a compor a precipitação interna e escoamento pelo tronco junto com a fração de chuva, que por sua vez, irá proporcionar o incremento das frações de água que alcançam o solo. Assim, a precipitação efetiva irá superar os registros realizados pelos pluviômetros convencionais, como foi constatado nesse estudo.

Esse fenômeno é considerado um parâmetro climático importante, resultado da intensa condensação noturna, sendo observado durante a madrugada na região amazônica, principalmente na estação considerada seca (ANDRADE & MOURA, 2011), onde é comum a formação de nevoeiros (BASTABLE *et al.* 1993; SILVA & LIRA, 1996; SOUZA, 1997).

Entretanto, uma vez que a neblina pode se tratar de um movimento horizontal de vapor d'água, esse fenômeno não é facilmente registrado pelos pluviômetros convencionais – os quais registram somente a fração chuva. Apesar desse fenômeno ser de difícil registro, estudos comprovam que a precipitação oculta pode ter uma contribuição considerável no input de água

no balanço hídrico florestal (SCHOLL *et al.* 2010; PEREIRA, VALCARCEL & BARBOSA, 2016).

As florestas são ecossistemas frágeis e altamente afetados pelas mudanças climáticas (SPERLING *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2013) e interagem com substâncias químicas e processos físicos no nevoeiro (BEIDERWIEDEN *et al.*, 2007, 2008; BURKARD *et al.*, de 2003; EL-MADANY *et al.*, 2016; EUGSTER *et al.*, 2006; GULTEPE & ISAAC, 2004; LOVETT, 1984; SIMON *et al.*, 2016; THALMANN *et al.*, 2002), demonstrando um papel importante no funcionamento do ecossistema através de sua participação em ciclos hidrológicos e biogeoquímicos.

Assim, distinguir eventos de neblina, eventos com neblina mais chuva e eventos de chuva, auxilia na compreensão e quantificação de entrada de água no ecossistema florestal e devem ser incorporados nos cálculos de balanço hídrico florestal. Especialmente na Floresta Amazônica, esse fenômeno é pouco estudado e os resultados desse estudo apontam a necessidade de melhor investigação, frente aos impactos que esse bioma vem enfrentando.

## 5 CONCLUSÃO

Em relação aos parâmetros utilizados para caracterizar a estrutura da vegetação, diferenças estatisticamente significativas foram observadas apenas em relação a densidade de indivíduos por área;

A dinâmica do comportamento de distribuição da água da chuva foi semelhante entre as áreas e refletiram a elevada variabilidade temporal e espacial, bem como a sazonalidade característicos da região Amazônica.

Eventos de precipitação com acúmulo de água foram observados durante todo o período, exceto no mês de julho em ambas as áreas. Sazonalmente os valores máximos e mínimos das variáveis monitoradas foram observados respectivamente na estação chuvosa e seca.

Os maiores valores de  $P_a$  e da  $P_i$  foram observados no mês fevereiro para a AN, e para a AE tiveram destaque os meses de fevereiro e abril. A  $P_i$  foi a variável que mais influenciou a  $P_e$ , apresentando média superior a  $P_a$  na maioria dos meses de monitoramento para a AN.

A variável hidrológica Et foi a única que apresentou diferença estatisticamente significativa entre as áreas, podendo estar relacionada a diferença na densidade de indivíduos observada entre as áreas.

Os volumes de Et acumulados pelos indivíduos florestais da AN apresentaram valores médios superiores aos observados para a região, evidenciando sua contribuição para o balanço hídrico local e a importância da vegetação na condução de água até o solo.

## 6 REFERÊNCIAS

- AB’SÁBER, A. N. Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Ascorbic acid: a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 2, p. 613-618, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Koppen’s climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, L.M.; MARENGO, J.A.; FU, R.; BOMBARDI, R.J. Sensitivity of Amazon Regional Climate to Deforestation. *American Journal of Climate Change*, 2017, 6, 75-98.
- AMARAL, P., AMARAL Neto, M., NAVA, F. R., & FERNANDEZ. Manejo florestal comunitário na Amazônia brasileira: avanços e perspectivas para a conservação florestal (p. 20). Brasília: Serviço Florestal Brasileiro – SFB, 2007.
- AMATA. **Plano de manejo florestal sustentável categoria de PMFS**: pleno. 142p. 2009. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes/92-concessoes-florestais/florestas-sob-concessao/301-amata-s-a-execucao-financeira-e-tecnica-da-concessaojamari-umf-iii>>. Acesso em: 20 out. de 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Brasília: ANA, 2017. Catálogo de Meta Dados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>. Acesso em: 04 jun. 2022.
- ANDERSON, E.P. *et al.* Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Sci. Adv.* **2018**. DOI: [10.1126/sciadv.aao1642](https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1642)
- ANGELO, Humberto; DA SILVA, Julio Cesar; DE ALMEIDA, Alexandre Nascimento; POMPERMAYER, Raquel de Souza. **Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira**. Curitiba: Floresta, 2014.
- ANDRADE, A. M. D.; MOURA, M. A. L. Condensação a superfície na Amazônia em área de pastagem durante o experimento LBA/SMOCC: Estudo de casos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n.3, 339-348, 2011.
- ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SANTOS, J. C. N.; LOBATO, F. A. O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, p. 111-120, 2013.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. D.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. *Revista Árvore*, scielo, v. 27, n. 2, p. 257–262, 2003. ISSN 0100-6762.

ARTAXO, P. *et al.* Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p. 1-22, 2006.

AYRES, M., AYRES Jr, M., AYRES, D. L., SANTOS, A. A. S. **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 2007.364p.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, A.F. **O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas**. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* v. 4, n.1 Guarapuava, PR, Jan./Abr. 2008. ISSN 2175-9405. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/294>. Acesso em 27 out. 2021.

BALIEIRO, F. D. C. *et al.* Avaliação de um coletor de água de escoamento pelo tronco. *Revista Árvore*, v. 25, n. 2, p. 1–7, 2001.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observation of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. *International Journal of Climatology*, v. 13, n. 7, p. 783-796, 1993.

BEIDERWIEDEN, E.; SCHMIDT, A.; Hsia, Y.J. *et al.* Nutrient Input Through Occult and Wet Deposition into a Subtropical Montane Cloud Forest. *Water Air Soil Pollut* **186**, 273–288 (2007). <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9483-0>

BESSI, D., DIAS, H.C.T., TONELLO, K.C. **Rainfall partitioning in fragments of cerrado vegetation at different stages of conduction of natural regeneration**. *Rev Árvore* 42:1–11. 2018a. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200015>

BRASIL. Lei 4771/1965. Código Florestal Brasileiro [on line] <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/leis/L4771.htm>.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nº 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 mar. 2006. Seção 1, p. 1-9.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa nº 05, de 11 de dezembro de 2006. Dispõe sobre os procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica do Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. Normas Florestais Federais para a Amazônia - Brasília: IBAMA / Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas, 2007. 176 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Norma de Execução nº 01, de 24 de abril de 2007. Institui, no âmbito desta Autarquia, as diretrizes técnicas para elaboração dos Planos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS de que trata o art. 19 da Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965. Normas Florestais Federais para a Amazônia - Brasília: IBAMA / Diretoria de Uso Sustentável da Biodiversidade e Florestas, 2007. 176 p.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 16, de 04 de agosto de 2011.** Regula, no âmbito do Instituto Chico Mendes, as diretrizes e os procedimentos administrativos para a aprovação do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) comunitário para exploração de recursos madeireiros no interior de Reserva Extrativista, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e FLONA.

BRUIJNZEEL, L. A. 1990. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: *Bruijnzeel, L. A. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review.* Amsterdam: IAHS. p. 5-38.

BURKARD, R.; BÜTZBERGER, P.; EUGSTER, W. Vertical fogwater flux measurements above an elevated forest canopy at the Lägeren research site, Switzerland. *Atmospheric Environment*, 2003. 37, 2979–2990. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00254-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00254-1)

CAMPOS, M. M. N.; SOUZA, M. S.; RIBEIRO, B. O.; OLIVEIRA, L. L. Interceptação em uma floresta ripária secundária urbana em Santarém- PA, Amazônia, Brasil. *Ci. e Nat.*, Santa Maria, v. 42, Special Edition: Micrometeorologia, e1, 2020. DOI: [10.5902 / 2179460X45215](https://doi.org/10.5902/2179460X45215)

CASTRO, P. S. *et al.* Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa – MG. *Revista Árvore*, v.7, n.1, p.76-89, 1983. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000100002>

CHOU, S.C. *et al.* Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 2014, v. 3, p. 512-525.

CLIMATE-DATA. Clima: Itapuã do Oeste. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/312427/> Acesso em: 20 de outubro 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Biodiversidade e indústria: informações para uma gestão sustentável.** Brasília – DF, p. 13–55, 2012.

CROCKFORD, R.H.; RICHARDSON, D.P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*. 14, pp. 2903-2920. 2000. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(200011/12\)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1099-1085(200011/12)14:16/17<2903::AID-HYP126>3.0.CO;2-6)

CUARTAS *et al.*, Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 145, Issues 1–2, 2007, Pages 69-83, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.04.008>.

DAVIDSON, E. A., ARTAXO, P. **Globally significant changes in biological processes of**

**the Amazon Basin:** results of the large-scale biosphere-atmosphere experiment. *Glob Chang Biol* 10:519–529. 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00779.x>

EL-MADANY, T.S.; GRIESSBAUM, F.; FRATINI, G.; JUANG, J.Y.; CHANG, S.C. Comparison of Sonic Anemometer Performance under Foggy Conditions. *Agric. For. Meteorol.* 2013. 173: 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.01.005>

EUGSTER, W.; BURKARD, R.; HOLWERDA, F.; SCATENA, F.; BRUIJNZEEL, L. A. Characteristics of cloud and fogwater fluxes in a Puerto Rican elfin cloud forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006. doi:[10.1016/j.agrformet.2006.07.008](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.07.008).

FAO, 2013. Forests and Water: International Momentum and action. 2013. 84 p. <http://www.fao.org/3/a-be803e.pdf>

FEARNSIDE, P.M. & W.F. LAURANCE. **Tropical deforestation and greenhouse gas emissions.** Ecological Applications, chapter14(4), p. 982-986, 2004.

FEARNSIDE, P.M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conservation Biology*, 19(3): 680-688.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: SHUGART, H. (Ed.) Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. New York: Oxford University Press, 2017. DOI: 10.1093/acrefore/9780199389414.013.102.

FERREIRA, S. J. F. et. al. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, Nov. 2005.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazônica* , v. 28, p. 101-101, 1998.

FONSECA, A., *et al.* **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal** (março 2021) SAD (p. 1). Belém: Imazon, 2021.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Interceptações das precipitações em floresta Amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, Manaus, v.12, Suplemento, p.15-22. 1982b.

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. *Geografias*, 2015, v. 11, n. 1, p. 44-58.

FRIESEN, J., VAN STAN, John T., II. "**Early European Observations of Precipitation Partitioning by Vegetation:** A Synthesis and Evaluation of 19th Century Findings". *Geosciences*, 2019. 9, no. 10: 423. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100423>

GAMA, M.J. Clima. In: Atlas geoambiental de Rondônia. Porto Velho, SEDAM, 2002.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, v.10, n.3, p.383-393, 2006.

GUIMBERTEAU, M. *et al.* Future changes in precipitation and impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins. *Environ. Res.* 8, 014035. 2013. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/1/014035>

GULTEPE, I.; ISAAC, G.A. Aircraft observations of cloud droplet number concentration: Implications for climate studies. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* (2004), 130, pp. 2377–2390. doi: 10.1256/qj.03.120.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo de recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 204, n. 3/4, p. 275-278, 1994.

HONDA, E.A., MENDONÇA, A.H., DURIGAN, G. Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado. *Ecohydrology*, 2015, 8, 1351–1362. <https://doi.org/10.1002/eco.1587>.

HORTON, R. E. Rainfall interception. *Monthly weather review* vol. 47, No. 9. . SEPTEMBER, 1919. Acesso em 24/03/2021. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1919\)47<603:RI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1919)47<603:RI>2.0.CO;2)

JAMOVI. Versão 1.6.23.9, 2021. Disponível: <https://www.jamovi.org>

KLASSEN, W.; LANKREIJER, H. J. M.; VEEN, A. W. L. Rainfall interception near a forest edge. *Journal of Hydrology*, n.185, p.349-361, 1996. ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)03011-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)03011-5).

KURAJI, K.; TANAKA, N. Estudos de Interceptação de Chuvas em Florestas Tropicais. *Jornal da Sociedade Florestal Japonesa* , v. 85, n. 1, pág. 18-28, 2003.

LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Towards A water balance in the central Amazonian region. *Experientia.*, v.43, n.3, p.222-233. 1987.

LEVIA, D. F.; S. GERMER. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands, *Rev. Geophys.* 2015; 53, 673–714, doi:10.1002/ 2015RG000479.

LEVIA JR, Delphis F.; FROST, Ethan E. Uma revisão e avaliação da literatura de fluxo de tronco nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos de ecossistemas florestais e agrícolas. *Journal of hydrology* , v. 274, n. 1-4, pág. 1-29, 2003.

LEVIA, D. F.; S. GERMER. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands, *Rev. Geophys.* 2015; 53, 673–714, doi:10.1002/ 2015RG000479.

LIKENS G.E, EATON J.S. A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs. *Ecology.* 1970; 51, 938–939. (doi:10.2307/1933996)

LIMA, W.P. NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. *IPEF*, Piracicaba, n. 24, p. 43-46, 1983.

LIMIN, S.; OUE, H.; SATO, Y.; BUDIASA, I. W.; SETIAWAN, B. Partitioning Rainfall into Throughfall, Stemflow, and Interception Loss in Clove (*Syzygium Aromaticum*) Plantation in Upstream Saba River Basin, Bali. *Procedia Environmental Sciences*. 2015, 28. 280-285. 10.1016/j.proenv.2015.07.036.

LLOYD, C. R.; GASH, W.J. Shuttleworth; MARQUES FILHOS, A. O. **The measurement and modeling of rainfall interception by Amazonian rainforest** *Agric. Forest Meteorol.*, 43 (1988), pp. 277-294

LLOYD, C.R.; MARQUES FILHO, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. ***Agricultural and Forest Meteorology***, v.42, p.63-73. 1988.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 423-430, 2015.

LOVETT, G. M. Rates and mechanisms of cloud water deposition to a subalpine Balsam Fir forest. *Atmospheric Environment*, 1984, 18, 361–371. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(84\)90110-0](https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90110-0)

LUIZÃO, F.J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 59, p. 31-36, 2007.

MARIN, C. T., BOUTEN, W. SEVINK, J. **Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia**. *Journal of Hydrology*, Volume 237, Issues 1–2, 2000, Pages 40-57, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00301-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00301-2).

MMA/IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Brasília-DF, 2005.

MARENGO, JOSE. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 21, 2006.

MARENGO, J.A., TOMASELLA, J., SOARES, W.R. *et al.* Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theor Appl Climatol* **107**, 73–85, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0465-1>

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *Int. J. Climatol.* **2016**, 36, 1033–1050. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>

MARTINS, J. A.; **Efeitos da turbulência no crescimento de gotículas por condensação de vapor d'água em nuvens**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 128p, 1999.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. ***Revista Ciência Agronômica***, v. 40, n. 2, p. 165-174, 2009.

METZGER, J. C., SCHUMACHER, J., LANGE, M., HILDEBRANDT, A. Neighbourhood and stand structure affect stemflow generation in a heterogeneous deciduous temperate forest, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 4433–4452, <https://doi.org/10.5194/hess-23-4433-2019>, 2019.

MINITAB Inc. Statistical Software Data Analysis Software. Version 17.

MIRANDA, K. F.; NETO, M. A.; SOUZA, R. P.; COELHO, R. F. Manejo Florestal Sustentável em áreas protegidas de uso comunitário na Amazônia. *Sociedade & Natureza*. Uberlândia, MG, v.32, p.778-792, 2020. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-51621

MOURA, Albert Einstein Spindola Saraiva de *et al* . Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. *Rev. Árvore*, Viçosa , v. 33, n. 3, p. 461-469, June 2009 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622009000300008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000300008&lng=en&nrm=iso)>. access on 03 Apr. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300008>.

MMA/IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Brasília-DF, 2005.

NEVES, R. G. S. S., TONELLO, K. C., BRAMORSKI, J. Análise da produção bibliográfica sobre hidrologia florestal no bioma amazônico. *Rev. Sítio Novo*. Palmas, Tocantins, v. 4, n. 4, p. 133-140 out./dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2020.v4.i4.133-140p>

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia**: relatório de avaliação científica. São José dos Campos, SP: ARA: CCST-INPE: INPA, 2014. e-book. : il. ISBN: 978-85-17-00072-0

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F. da; COSTA, A. C. L. da; SOUSA, F. A. S. de; BRAGA, A. P. Modelagem da interceptação na floresta nacional de caxiuanã, no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 318-326, Set. 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. *Rev. Árvore*, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

PEREIRA, C. R.; VALCARCEL, R.; BARBOSA, R.S. Quantificação da chuva oculta na Serra do Mar, Estado do Rio de Janeiro. *Ciência Florestal* , v. 26, p. 1061-1073, 2016.

PLANAFLORO. Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia. Porto Velho, 2000.

RIBEIRO, A. C. F.; FONSECA, L. C.; PEREIRA, M. P. C. O Plano de Manejo Florestal como instrumento de desenvolvimento sustentável na Amazônia. *Direito e Desenvolvimento*, João Pessoa, v. 11, n. 1, p. 264-276, jan./jun. 2020. ISSN 2236-0859

SADEGHI, Seyed Mohammad Moein *et al* . A importância de considerar a partição de chuvas em iniciativas de arborização em climas semiáridos: uma comparação de espécies de árvores plantadas comuns em Teerã, Irã. *Ciência do Ambiente Total* , v. 568, p. 845-855, 2016.

SALATI, E. ; Lovejoy, T.E. ; Vose, P.B. . Precipitation and water recycling in tropical rain forests with special reference to the Amazon basin. *Environmentalist* (Lausanne), v. 3 (1), p. 67-74, 1983.

SARI, Vanessa; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de; PAIVA, João Batista Dias de. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. *RBRH* , v. 21, p. 65-79, 2016.

SCHOLL, M.; WERNER, E.; RETO, B. Determining input and partitioning of cloud water in montane forests understanding the role of fog in forest hydrology: stable isotopes as tools forests. *Hydrological Processes*. 2010, v.25, Issue 3. <https://doi.org/10.1002/hyp.7762>

SCHUBART, H.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2(10): 26-32, 1984.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. A floresta e a água. Vol 2. Porto Alegre: AFUBRA, 1998. 70p.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. 2002. Atlas Geoambiental de Rondônia. Organizadores: FERNANDES, L.C.; GUIMARÃES, S.C.P. Porto Velho: SEDAM.

SHINZATO, E.T., TONELLO, K.C., GASPAROTO, E.A.G., VALENTE, R.O.A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. *Scientia Forestalis*. 2011;39(92):395-402.

SIMON, S., KLEMM, O. *et al.* Chemical Composition of Fog Water at Four Sites in Taiwan. *Aerosol Air Qual.* 2016. Res. 16: 618-631. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.03.0154>

SPELLERBERG, I.; FEDOR, P. A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the “Shannon–Wiener” Index. *Global ecology and biogeography*, v. 12, n. 3, p. 177–179, 2003.

SPENCER, Sheena A.; VAN MEERVELD, HJ van. Afunilamento duplo em uma floresta costeira madura da Colúmbia Britânica: padrões espaciais de fluxo de tronco após infiltração. *Processos Hidrológicos* , v. 30, n. 22, pág. 4185-4201, 2016.

SILVA, M. R. G.; LYRA, R. Efeitos do desmatamento na termodinâmica da camada limite noturna: Projeto RBLE. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 2, p. 1229-1232. 1996.

SOUZA, S. S. A substituição da floresta Amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da camada limite atmosférica: Projeto RBLE. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba. 110p. 1997.

SU, L.; ZHAO, C.; XU, W.; XIE, Z. **Hydrochemical Fluxes in Bulk Precipitation, Throughfall, and Stemflow in a Mixed Evergreen and Deciduous Broadleaved Forest.** *Forests*. 2019, 10, 507. <https://doi.org/10.3390/f10060507>

SU, L., *et al.* "Inter-and intra-specific variation in stemflow for evergreen species and deciduous tree species in a subtropical forest." *Journal of Hydrology*, 2016. 537, 1-9. DOI: [10.1016/J.JHYDROL.2016.03.028](https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2016.03.028)

THALMANN, E.; BURKARD, R.; WRZESINSKY, T.; EUGSTER, W.; KLEMM, O. Ion fluxes from fog and rain to an agricultural and a forest ecosystem in Europe. *Atmospheric Research*, 64, 147–158. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(02\)00087-X](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(02)00087-X)

TOBÓN, M. C., BOUTEN, W., SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia, **Journal of Hydrology**, Volume 237, Issues 1–2, 2000, Pages 40-57, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00301-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00301-2).

TOBÓN, M. C., SEVINK, J., VERSTRATEN, J.M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Biogeochemistry*. 2004; **70**, 1-25.

TONELLO, K.C.; LIMA, M.; URSO-GUIMARÃES, M.; VAN STAN, J. Stemflow metazoan transport from common urban tree species of varying canopy structure. Preprint. April 2022.10.22541/au.164933838.80910687/v1.

TONELLO, K. C.; ROSA, A.; SALIM, J.; CORREA, C.; LIMA, M. **The dynamics of knowledge about stemflow**: a systematic review. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, v. 56, n. 1, p. 16-27, 4 fev. 2021.

TONELLO, K. C. *et al.*, 2021. Stemflow variability across tree stem and canopy traits in the Brazilian Cerrado. *Agricultural and Forest Meteorology* 308-309:108551. 2021. DOI: [10.1016/j.agrformet.2021.108551](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108551)

TONELLO, K. C. *et al.*, Rainfall partitioning in the Cerrado and its influence on net rainfall nutrient fluxes, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 303, 2021, 108372, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108372>.

TONELLO, K. C. *et al.* **Net precipitation in different forest fragments of Ipanema National Forest**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 38, n.2, p. 383-390, 2014.

UBARANA, V. N.; NOBRE, C. A. Observation and modelline of raifall interception at two experimental sites in Amazônia. **Amazonian deforestation and climate**. p.151-162. 1996.

VALLEJO, L.R. A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais. Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, 1982.

VAN STAN, J.T. *et al.* Spatial variability and temporal stability of local net precipitation patterns. *Precipitation Partitioning by Vegetation*. Springer, Cham, pp. 89–104. 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2_6).

VAN STAN II, John T. *et al.* Efeitos da chuva impulsionada pelo vento na geração de fluxo de tronco entre espécies arbóreas codominantes com diferentes características de copa. *Meteorologia Agrícola e Florestal*, v. 151, n. 9, pág. 1277-1286, 2011.

VAN STAN II, J. T.; LEVIA, D. F. Inter-and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. *Ecohydrology*, v. 3, n. 1, p. 11–19, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/eco.83>. Acesso em: 8 nov. 2021.

VAN STAN, J. T.; PYPKER, T. G. A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation. **Science of The Total Environment**, Volume 536, 2015, Pages 813-824, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.134>

VENANCIO, D. L.; OLIVEIRA, P. C. F. **A Floresta e o Ciclo Hidrológico: Os Modelos para Estimativa de Interceptação Florestal da Precipitação**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 02, Ano 02, Vol. 01. pp 604-616, Maio/2017. ISSN:2448-0959

ZIMMERMANN, Anna Paula Lora; FLEIG, Frederico Dimas; MARANGON, Gabriel Paes. Determinação da distância de dispersão efetiva de *Cabralea canjerana*. *Floresta e Ambiente*, v. 22, p. 204-210, 2015.

ZHOU, X.; FU, Y.; ZHOU, L.; LI, BO; LUO, Y. An imperative need for global change research in tropical forests. *Tree physiology*. 2013, 33. 903-912. DOI:[10.1093/treephys/tpt064](https://doi.org/10.1093/treephys/tpt064)

W. P. LIMA; N. NICOLIELO. **Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado**. IPEF, n.24, p.43-46, ago.1983.

W.J. Shuttleworth. **Evaporation from amazonian rain forest**. Proc. R. Soc. Lond., B 233 (1988), pp. 321-346. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspb.1988.0024>

WEBLER, A.D.; AGUIAR, R. G.; ANDRADA, N. L. R.; AGUIAR, L.J.G. **Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudeste da Amazônia**. Revista Brasileira de Energia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 8, p. 868-876, 2013.

YANG X.; SHAO, M.; WEI, X. Stemflow production differ significantly among tree and shrub species on the Chinese Loess Plateau. *Journal of Hydrology*. 568, pp. 427-436. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.008>

YUE, K., *et al.* Global patterns and drivers of rainfall partitioning by trees and shrubs. *Global Change Biology*. 2021, 27, 3350–3357. DOI: [10.1111/gcb.15644](https://doi.org/10.1111/gcb.15644)

## 7 APÊNDICE

**Apêndice A 1** - Espécies florestais e famílias encontradas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, identificadas pelo nome vulgar, nome científico, ordenadas por ordem alfabética pelo nome da família e sua distribuição nas respectivas parcelas de monitoramento.

Família	Nome Vulgar	Área	PARCELAS						Total
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	
<b>ANACARDIACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	AN/AE		1				1	2
<b>ANNONACEAE</b>									<b>12</b>
<i>Duguetia lanceolata</i>	Pindaíba	AN/AE		2		1	2		5
<i>Guatteria australis</i> A.St.-Hil.	Pindaíba Preta	AN	1	3					4
<i>Xylopia</i> sp	Envira, Envira branca	AN/AE	1	1				1	3
<b>APOCYNACEAE</b>									<b>1</b>
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Guarantã	AE						1	1
<b>ARECACEAE</b>									<b>69</b>
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	Açaí	AN/AE	1			1		1	3
<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	Bacaba	AE				1			1
<i>Orbignya speciosa</i> (Mart.) Barb. Rodr.	Babaçú	AN/AE	11	7	6	17	11	12	64
<i>Socratea exorrhiza</i>	Paxiuba	AE					1		1
<b>ASTERACEAE</b>									<b>1</b>
<i>Gochnatia polymorpha</i>	Cambará Mandioqueiro	AE				1			1
<b>BIGNONIACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	Caxeta Branca	AE					1	1	2
<b>BIXACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Bixa orellana</i> L.	Urucum Nativo	AN/AE		1		1			2
<b>BOMBACACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Ochroma pyramidale</i> Urb.	Algodoeiro	AE	1			1			2
<b>BORAGINACEAE</b>									<b>1</b>
<i>Cordia alliodora</i> (R.F.) Chaw.	Freijó, Freijó cinza	AE					1		1
<b>BURSERACEAE</b>									<b>46</b>
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart.	Breu Vermelho	AN/AE	8	9	12	4	9	4	46
<b>CAESALPINIACEAE</b>									<b>31</b>
<i>Dialium Guianensis</i>	Jataí Pororoca	AN	1	1					2
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Copaíba	AN	1						1
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandw.	Tamarino	AN			1				1
<i>Peltogyne lecointei</i>	Roxinho, Pau-roxo	AN		2	10				12
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	Tachi-amarelo	AN/AE	1		1	2	2	5	11
<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	Taxi	AE				1	1	1	3
<i>Swartzia platygyne</i> Ducke	Pitaica	AE				1			1
<b>CHRYSOBALANACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Couepia bracteosa</i> Benth	Pajurá	AN/AE					1		1
<i>Hirtella</i> sp.	Macucu	AE						1	1
<b>CLUSIACEAE</b>									<b>2</b>
<i>Platonia insignis</i> Mart.	Bacuri de Anta	AE				1			1
<i>Symphonia</i> sp.	Anani	AE				1			1
<b>COMBRETACEAE</b>									<b>1</b>
						1			1

<i>Terminalia</i> sp.	Mirindiba-amarela	AE						1	1
<b>FABACEAE</b>									<b>14</b>
<i>Zygia</i> sp.	Ingarana	AE						1	1
<i>Bauhinia variegata</i>	Pata de Vaca	AN	1						1
<i>Diplostropis purpurea</i>	Sucupira Preta	AE					1	1	2
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	AN	1						1
<i>Inga</i> sp.	Ingá	AN/AE	2				1	1	4
<i>Ormosia</i> sp.	Murapiranga	AN/AE	1				1	1	3
<i>Ormosiopsis flava</i> (Ducke) Ducke	Tento	AE					1		1
<i>Vatairea</i> sp.	Angelin Amargoso	AN	1						1
<b>FLACOURTIACEAE</b>									<b>10</b>
<i>Casearia gossypiospermum</i>	Laranjinha	AN/AE	2	2	1	2	3		10
<b>HUMIRIACEAE</b>									<b>1</b>
<i>Endopleura uchi</i>	Uxi	AN	1						1
<b>LAURACEAE</b>									<b>6</b>
<i>Ocotea miriantha</i>	Louro abacate	AN	1						1
<i>Ocotea neesiana</i>	Louro Preto	AN				1			1
<i>Ocotea</i> sp.	Louro	AN/AE	1	1	1		1		4
<b>LECYTHIDACEAE</b>									<b>7</b>
<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.	Castanheira	AN/AE	1			1			2
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.)	Matamatá	AN/AE				1	1	1	2
<b>LEGUMINOSAE</b>									<b>4</b>
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Faveira Ferro	AN/AE	1	2					3
<i>Inga Vera</i>	Ingazeiro	AE						1	1
<b>MALVACEAE</b>									<b>4</b>
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita cavalo	AE						1	1
<i>Sterculia striata</i> St. Hil. et Naudin	Xixá Bolão	AN/AE	1	1			1		3
<b>MELIACEAE</b>									<b>11</b>
<i>Guarea</i> sp.	Jitó	AN/AE	2	2	1	1	1	1	8
<i>Trichillia</i> sp.	Murici	AN/AE	1				2		3
<b>MIMOSACEAE</b>									<b>4</b>
<i>Parkia pendula</i> Benth. ex. Walp.	Angelin Saia	AN	1						1
<i>Parkia</i> sp.	Fava branca						1	1	2
<i>Stryphnodendron Guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Baginha	AN	1						1
<b>MORACEAE</b>									<b>54</b>
<i>Brosimum rubescens</i> Taub	Amapá	AE					1		1
<i>Castilla ulei</i> Warburg.	Caucho	AE	1				1		2
<i>Pseudolmedia laevis</i> (R.& P) Macabr.	Pama Cegador	AN/AE	17	8	9	3	5	9	51
<b>MYRISTICACEAE</b>									<b>16</b>
<i>Iryanthera tricomis</i>	Ucuúba-sangue	AN/AE	2	1			1	3	7
<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Ucuúba D'água, Virola	AN/AE	3	1	2	1	2		9
<b>OLACACEAE</b>									<b>1</b>
<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Acariquara	AE					1		1
<b>RUBIACEAE</b>									<b>3</b>
<i>Balizia</i> sp.	Escorrega Macaco	AN	2						2
<i>Duroia macrophylla</i> Huber	Sanguinho	AN					1		1
<b>RUTACEAE</b>									<b>1</b>

<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam	Mamica de porca	AE						1	1
<b>SAPOTACEAE</b>									
<i>Manilkara huberi</i>	Maçaranduba	AN				1			1
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	Abiorana	AN/AE	3	3	5		4	1	16
<b>STERCULIACEAE</b>									
<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K. Schum.	Xixá	AN	1	1					2
<i>Theobroma</i> sp.	Cupuí	AN/AE	1		1			1	3
<i>Theobroma sylvestris</i> Mart.	Cacauí	AN			1				1
<b>TILIACEAE</b>									
<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	Pente de Macaco	AN/AE				1	1	1	4
<b>ULMACEAE</b>									
<i>Ampelocera ruizii</i> Kuhlm.	Cinzeiro	AE					1		1
<b>URTICACEAE</b>									
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	Embaúbarana	AN/AE	1					1	2
<b>VERBENACEAE</b>									
<i>Lantana camara</i> L.	Cambará	AN	1	1					2
<b>VOCHYSIACEAE</b>									
<i>Erisma uncinatum</i> Warm	Cambará Rosa	AN		2	1				3
<i>Qualea paraense</i> Ducke	Mandioqueiro	AE						1	1
<i>Qualea tesmannii</i> Milldr.	Catuaba amarela	AN/AE			1		1		2
<b>I - INDETERMINADAS</b>									
I_1	Indeterminada	AN	1						1
I_2	Indeterminada	AN	1						1
I_3	Indeterminada	AN	1						1
I_4	Indeterminada	AN	1						1
I_5	Indeterminada	AN	1						1
I_6	Indeterminada	AN		1					1
I_7	Indeterminada	AN		1					1
I_8	Indeterminada	AN		1					1
I_9	Indeterminada	AN			1				1
I_10	Indeterminada	AN			1				1
I_11	Indeterminada	AN			1				1
I_12	Indeterminada	AE				1			1
I_13	Indeterminada	AE				1			1
I_14	Indeterminada	AE					1		1
I_15	Indeterminada	AE				1			1
I_16	Indeterminada	AE						1	1
I_17	Indeterminada	AE					1		1
I_18	Indeterminada	AE					1		1
I_19	Indeterminada	AE					1		1
I_20	Indeterminada	AE					1		1
I_21	Indeterminada	AE					1		1
<b>Total</b>			74	59	63	56	59	58	369

Fonte: o autor, 2021. Onde I = indeterminada; AN = Área Natural; AE = Área Explorada.

**Apêndice A 2** - Tabela com os valores de escoamento pelo tronco (Et) em mm e L, e eficiência de escoamento pelo tronco (Et%) das espécies florestais identificadas, caracterizadas e monitoradas na Flona do Jamari, Rondônia entre outubro/2019 e outubro/2020.

NR	Nome Científico	Família	Et (L)	Et (mm)	Et (%)
1	<i>Dialium Guianencis</i>	CAESALPINIACEAE	120,08	6,29	0,34
2	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	138,57	3,99	0,21
3	<i>Euterpe precatória Mart.</i>	ARECACEAE	81,84	10,18	0,54
4	<i>Castilla ulei Warburg.</i>	MORACEAE	73,76	3,23	0,17
5	<i>Trichillia sp.</i>	MELIACEAE	221,84	3,72	0,20
6	<i>Tetragastris altissima (Aubl.) Swart.</i>	BURSERACEAE	153,58	2,11	0,11
7	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	234,58	15,47	0,83
8	<i>Capirona sp.</i>	RUBIACEAE	281,72	39,16	2,10
9	<i>Sterculia pruriens (Aubl.) K. Schum.</i>	STERCULIACEAE	168,58	5,58	0,30
10	<i>Pourouma guianensis Aubl.</i>	URTICACEAE	221,39	13,61	0,73
11	<i>Guarea sp.</i>	MELIACEAE	204,19	2,82	0,15
12	<i>Peltogyne sp.</i>	CAESALPINIACEAE	146,79	3,60	0,19
13	<i>Pouteria sp.</i>	SAPOTACEAE	93,22	3,47	0,19
14	<i>Guatteria australis A.St.-Hil.</i>	ANNONACEAE	217,96	10,23	0,55
15	<i>Bixa orellana L.</i>	BIXACEAE	121,72	3,53	0,19
16	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	155,24	4,72	0,25
17	<i>Bertholletia excelsa Bonpl.</i>	LECYTHIDACEAE	218,85	1,10	0,06
18	<i>Ocotea miriantha</i>	LAURACEAE	102,04	3,34	0,18
19	<i>Guatteria australis A.St.-Hil.</i>	ANNONACEAE	143,2	3,01	0,16
20	<i>Erisma uncinatum Warm</i>	VOCHYSIACEAE	211,41	16,09	0,86
21	<i>Tetragastris altissima (Aubl.) Swart.</i>	BURSERACEAE	168,41	1,81	0,10
22	<i>Peltogyne sp.</i>	CAESALPINIACEAE	42,45	0,71	0,04
23	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	259,53	10,63	0,57
24	<i>Tachigali chrysophylla (Poepp.)</i>	FABACEAE	182,84	12,80	0,69
25	<i>Peltogyne sp.</i>	CAESALPINIACEAE	89,99	3,07	0,16
26	<i>Peltogyne sp.</i>	CAESALPINIACEAE	266,06	3,33	0,18
27	<i>Eschweilera coriacea (DC.) S.A. Mori</i>	LECYTHIDACEAE	152,96	5,60	0,30
28	<i>Protium hebetatum Daly</i>	BURSERACEAE	113,72	5,69	0,30
29	<i>Tetragastris altissima (Aubl.) Swart.</i>	BURSERACEAE	48,12	2,00	0,11
30	<i>Peltogyne sp.</i>	CAESALPINIACEAE	17,46	0,27	0,01
31	<i>Platonia insignis Mart.</i>	CLUSIACEAE	161,12	1,40	0,08
32	<i>Piptadenia sp.</i>	MIMOSACEAE	178,33	3,50	0,20
*33	<i>Ampelocera ruizii Kuhl.</i>	ULMACEAE	-	-	-
34	<i>Swartzia platygyne Ducke</i>	CAESALPINIACEAE	211,8	5,52	0,31
35	<i>Trichillia sp.</i>	MELIACEAE	139,9	3,85	0,22
36	<i>Minuartia macrophylla Ducke</i>	OLACACEAE	98,42	1,43	0,08
37	<i>Diploporis purpurea (Rich.) Amsh.</i>	FABACEAE	92,42	5,63	0,32
38	<i>Trichillia sp.</i>	MELIACEAE	75,72	1,11	0,06
39	<i>Bertholletia excelsa Bonpl.</i>	LECYTHIDACEAE	294,94	1,04	0,06
40	<i>Gochnatia polymorpha</i>	ASTERACEAE	74,67	1,37	0,08

41	<i>Tetragastris altissima (Aubl.) Swart.</i>	BURSERACEAE	35,66	1,90	0,11
42	<i>Tachigali chrysophylla (Poepp.)</i>	FABACEAE	161,61	0,81	0,05
43	<i>Pouteria sp.</i>	SAPOTACEAE	53,03	5,11	0,29
44	<i>Guarea sp.</i>	MELIACEAE	121,21	4,40	0,25
45	<i>Ormosiopsis flava (Ducke) Ducke</i>	FABACEAE	66,44	2,66	0,15
46	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	70,03	1,36	0,08
47	<i>Pourouma guianensis Aubl.</i>	URTICACEAE	99,44	1,89	0,11
48	<i>Couepia bracteosa Benth</i>	CHRYSOBALANACEAE	31,97	2,80	0,16
*49	<i>Iryanthera tricomis</i>	MYRISTICACEAE	-	-	-
50	<i>Cordia alliodora (R.F.) Chaw.</i>	BORAGINACEAE	75,36	2,78	0,16
51	<i>Tabebuia cassinoides</i>	BIGNONIACEAE	233,76	6,96	0,39
52	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	RUTACEAE	74,47	3,88	0,22
53	<i>Hirtella sp.</i>	CHRYSOBALANACEAE	61,23	1,48	0,08
54	<i>Ocotea canaliculata (Rich.) Mez</i>	LAURACEAE	99,31	2,36	0,13
55	<i>Guarea sp.</i>	MELIACEAE	171,08	4,16	0,23
56	<i>Apeiba echinata Gaertn.</i>	TILIACEAE	43,74	3,48	0,20
57	<i>Guatteria sp.</i>	ANNONACEAE	131,14	8,77	0,50
58	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	34,49	0,74	0,04
59	<i>Aspidosperma macrocarpon Mart.</i>	APOCYNACEAE	68,15	5,04	0,28
60	<i>Pseudolmedia laevis (R. &amp; P) Macabr.</i>	MORACEAE	58,17	2,38	0,13
<b>Total</b>			<b>7669,71</b>	<b>288,95</b>	<b>0,26</b>

Fonte: organizado pelo autor, 2021. Espécies numeradas de 1 a 30 estão inseridas na (AN), de 31 a 60 na (AE). \* Espécies que morreram no período.

## CAPÍTULO II – CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA DA SERAPILHEIRA EM AMBIENTES FLORESTAIS AMAZÔNICOS

### RESUMO

A estrutura das florestas desempenha um papel importante na circulação da água em um ambiente. Esses fluxos de água interagem com as propriedades do solo formando frentes de umedecimento e caminhos preferenciais para uma recarga localizada. No entanto, antes de alcançar o solo, a água é interceptada pela camada da serapilheira, que, dependendo de suas propriedades e regime de chuva, poderá retê-la e evaporar ou disponibilizá-la para o solo. Poucos são os estudos que avaliam a capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRHS) em florestas tropicais. Neste sentido, o estudo teve como objetivo analisar a CRHS em Floresta Ombrófila aberta, Amazônica Ocidental, traçando um comparativo entre uma área de vegetação natural e uma área de vegetação explorada. Foram instaladas 3 parcelas (20 x 20 m) em duas áreas: uma com floresta preservada (AN) e outra explorada (AE), as quais foram monitoradas ao longo de 13 meses. A precipitação em aberto (Pa) e a precipitação interna (Pi) foram coletadas por meio de pluviômetros fixados a 1,50 m de altura do solo, instalados no interior das parcelas e no entorno das áreas de estudo. A estrutura da floresta foi caracterizada através de uma análise individualizada para obtenção de atributos morfológicos e dendrométricos da vegetação. O escoamento pelo tronco foi obtido pelo monitoramento de 60 indivíduos florestais com diâmetro a altura do peito (DAP)  $\geq 10$  cm. Amostras da serapilheira foram coletadas mensalmente com o auxílio de um quadrante, armazenadas em sacolas plásticas e analisadas em laboratório. A determinação da CRHS (%) foi obtida para as frações da serapilheira (galhos, folhas, sementes/frutos e o material amorfo) sendo imersas em água por 90 min e, em seguida dispostas em peneiras para drenagem por 30 min e pesadas para determinação da massa úmida (MU). Posteriormente as amostras foram colocadas em embalagens de papel, identificadas e secas em estufa a 70 °C, até atingir massa constante, e novamente pesadas para determinar sua massa seca (MS). A umidade das amostras (UAS) foi calculada pela diferença entre o peso natural das amostras trazidas do campo (MN) e sua MS. O estoque total da serapilheira acumulada e suas frações foi semelhante entre as áreas, sendo observadas diferenças significativas entre as frações da serapilheira dentro de cada área. O acúmulo de serapilheira foi maior no período chuvoso, e as frações seguiram o padrão galho>folha>material amorfo>sementes/frutos, em ambas as áreas. A CRH média das frações da serapilheira contribuiu de maneira efetiva para a CRH do estoque total da serapilheira acumulada nas áreas de estudo, sendo a sequência de contribuições obtidas em condições ideais: CRH amorfo>CRH folhas>CRH sementes >CRH galhos, diferentes da efetiva capacidade de retenção hídrica (ERH) que apresentou a sequência: ERH galhos> ERH sementes> ERH amorfo> ERH folhas). A pesquisa ajudou a entender o processo hidrológico do sub-bosque nas áreas de floresta, fornecendo uma base científica para o manejo florestal sustentável, que de acordo com os dados desse estudo, não afetou de maneira significativa o comportamento hidrológico na área explorada.

**Palavras-chave:** Florestas tropicais; Hidrologia Florestal; Repartição de chuva; Amazônia.

## ABSTRACT

The forest structure can play an essential role in the water circulation in an environment. These water flows interact with soil properties to form wetting fronts and preferential paths for localized recharge. However, the litter layer intercepts the water before reaching the ground. According to its properties and rainfall regime, it may retain it and evaporate or make it available to the soil. Few studies evaluate litter water content in tropical forests. In this sense, the study aimed to analyze the retention capacity of litter in an open rainforest in the Western Amazon, comparing preserved with exploited forests. Thus, three plots (measuring 20 x 20m each) were installed in the two areas: the first plot in preserved forest and another exploited, which was monitored for 13 months. Open and internal precipitation were collected using rain gauges fixed at 1.50m above the ground, installed inside the plots and around the study areas. The forest structure was characterized through an individualized analysis to obtain morphological and dendrometric attributes of the vegetation. Trunk runoff was obtained by monitoring 60 forest individuals with a diameter at breast height (DBH)  $\geq 10$  cm. Litter samples were collected monthly with the aid of a quadrant, stored in plastic bags, and analyzed in the laboratory. The litter holding capacity (%) was determined for the fractions of twigs, leaves, seeds, fruits, and amorphous material, then was immersed in water for 90 minutes, placed in sieves for drainage for 30 minutes, and weighed for determination of the wet mass. Finally, the samples were placed in paper packages, identified and dried in an oven at 70°C until they reached constant mass, and then weighed to determine their dry mass. Sample moisture was calculated by the difference between the natural weight and dry mass. The total stock of accumulated litter and its fractions was similar between the areas, with significant differences between the litter fractions within each area. Litter accumulation was higher in the rainy season, and the fractions followed the pattern twig>leaf>amorphous material>seeds/fruits in both areas. The average water retention capacity (WRC) of the litter fractions contributed effectively to the total litter stock accumulated in the study areas, with the following contributions obtained under ideal conditions: amorphous>leaves>seeds>branches. On the other hand, the effective water retention capacity presented the sequence: twigs>seeds>amorphous>leaves. The study helped to understand the hydrological process of the understory in plantations, providing a scientific basis for sustainable forest management, which, in this area, did not significantly affect the hydrological behavior in the exploited forest.

**Keywords:** Tropical forests; Forest Hydrology; Rain distribution; Amazon.

## 1 INTRODUÇÃO

A serapilheira florestal é a principal fonte de matéria orgânica do solo em um ecossistema florestal sendo suas propriedades determinadas pelo tipo de vegetação, composição de espécies, estação do ano e práticas de manejo florestal (ILEK 2014, ACHARYA 2016).

Os estudos sobre a serapilheira estão majoritariamente relacionados ao seu estoque, taxa de decomposição e ciclos biogeoquímicos (ALMEIDA, LUIZAO, RODRIGUES, 2015; HOLANDA, *et al.*, 2017; SETA, DEMISSEW, ZERIHUM, 2018; GIWETA, 2020), mas é preciso ressaltar que a serapilheira também atua como uma camada isolante que protege o solo de flutuações extremas quanto ao teor de umidade e temperatura (SAYER, 2005), assim como desempenha um papel fundamental na regulação dos processos hidrológicos superficiais (SATO, 2008; ZAGYVAI-KISS, KALICZ, GRIBOVSKI, 2019).

A quantidade de serapilheira e suas propriedades hidrológicas em uma bacia florestal podem afetar não apenas a qualidade da água, mas também a produção de água da bacia (Ilek *et al.*, 2021). Embora seja reconhecido o seu papel de mediar o impacto do respingo da chuva, reduzir, atrasar ou muitas vezes eliminar o fluxo superficial e a erosão do solo da floresta (SUN *et al.*, 2013, GILLEROT *et al.*, 2020; GIÁCOMO, *et al.*, 2017), a relevância da serapilheira ainda é muitas vezes subestimada na hidrologia florestal (DUNKERLEY, 2015; ILEK *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2018; CUI *et al.*, 2022), especialmente em florestas tropicais.

A serapilheira constitui a camada intermediária que irá interferir no caminho a ser seguido pela chuva que atravessa o dossel e alcança o piso florestal. A chuva, ao interagir com o dossel florestal, pode seguir diversos caminhos: parte pode ser interceptada pelo dossel florestal e retornar para a atmosfera pelo processo de evaporação, outra fração pode atravessar o dossel e alcançar o solo pelos processos de precipitação interna e escoamento pelo tronco, que juntos, somam a fração representada pela precipitação efetiva.

Mesmo alcançando o piso florestal, a umidade do solo irá depender da interação da serapilheira com precipitação efetiva, podendo essa última: (1) interagir com a serapilheira, ser retida nessa camada, mas ainda não alcançar o solo; (2) atravessar a camada de serapilheira, mas dar início ao escoamento superficial; (3) atravessar a camada de serapilheira e então infiltrar nos solos. Ou ainda, diante de uma perspectiva “invertida”, a serapilheira pode proteger a água do solo – que resultou da infiltração da precipitação efetiva - de forma a minimizar a sua evaporação em função do vento e da radiação, por exemplo.

Nesse sentido, a retenção de água da camada de serapilheira é um parâmetro essencial para a modelagem hidrológica devido à capacidade da serapilheira em alterar as quantidades de água disponíveis para infiltração e/ou escoamento no solo (DICKOW, *et al.*, 2012; PINTO & NEGREIROS, 2018; ZAGYVAI-KISS *et al.*, 2019; ILEK *et al.*, 2021). Mas ainda é preciso considerar que esse papel depende da constituição físico-química desse material (SANTOS, *et al.*, 2017), que irá depender da estrutura da floresta e condições climáticas.

Conhecer a estrutura e a composição da serapilheira do ecossistema florestal é um dos primeiros passos para se determinar a melhor forma de manejo deste sistema, contribuir para a conservação do solo e da água sob o qual a serapilheira exerce papel essencial (CASTILLO *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2013) contribuindo para o entendimento dos demais processos hidrológicos que ocorrem no ambiente florestal.

Face aos incrementos das taxas de desmatamento, em especial na Amazônia, a quantidade e a qualidade dos serviços ecossistêmicos prestados por esses ambientes florestais merecem mais estudos. A relevância ambiental da Floresta Amazônica é reconhecida mundialmente, não apenas por sua diversidade (vegetal e animal), mas também em função dos impactos ambientais gerados pela sua exploração humana.

Este estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari, Rondônia, Brasil), unidade de conservação que tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos naturais e a pesquisa científica (BRASIL, 2000) onde é permitida a prática do manejo florestal sustentável, de forma a coibir o comércio ilegal de madeira.

No sentido de se investigar como as ações de manejo florestal sustentável podem interferir nos processos hidrológicos da floresta, esse estudo busca comprovar a seguinte hipótese: as alterações na estrutura da vegetação ocasionadas pelas atividades de exploração por Plano de Manejo Florestal Sustentável influenciam na composição das frações da serapilheira, alteram a distribuição da água da chuva no interior da floresta, condicionando a capacidade de retenção hídrica da serapilheira.

Desta forma o capítulo II – Capacidade de retenção hídrica da serapilheira em ambientes florestais amazônicos, teve como objetivo: (1) compreender a dinâmica do aporte de serapilheira e sua sazonalidade na floresta tropical amazônica, (2) examinar a capacidade de retenção hídrica da serapilheira e (3) avaliar a retenção hídrica efetiva da serapilheira na floresta amazônica brasileira intacta e na explorada por meio do manejo florestal sustentável. Por fim, espera-se fornecer uma base científica para a compreensão das ações do manejo florestal sustentável na Amazônia sob a dinâmica hidrológica da serapilheira nesse bioma.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), reserva de uso sustentável com 222,1 mil hectares localizada na porção ocidental da Amazônia brasileira (figura 16), contemplando a bacia hidrográfica dos rios Jacundá (82,8%), do rio Jamari (9,06%) e rio Preto do Crespo (8,14%) (MMA/IBAMA, 2005; ANA, 2017).

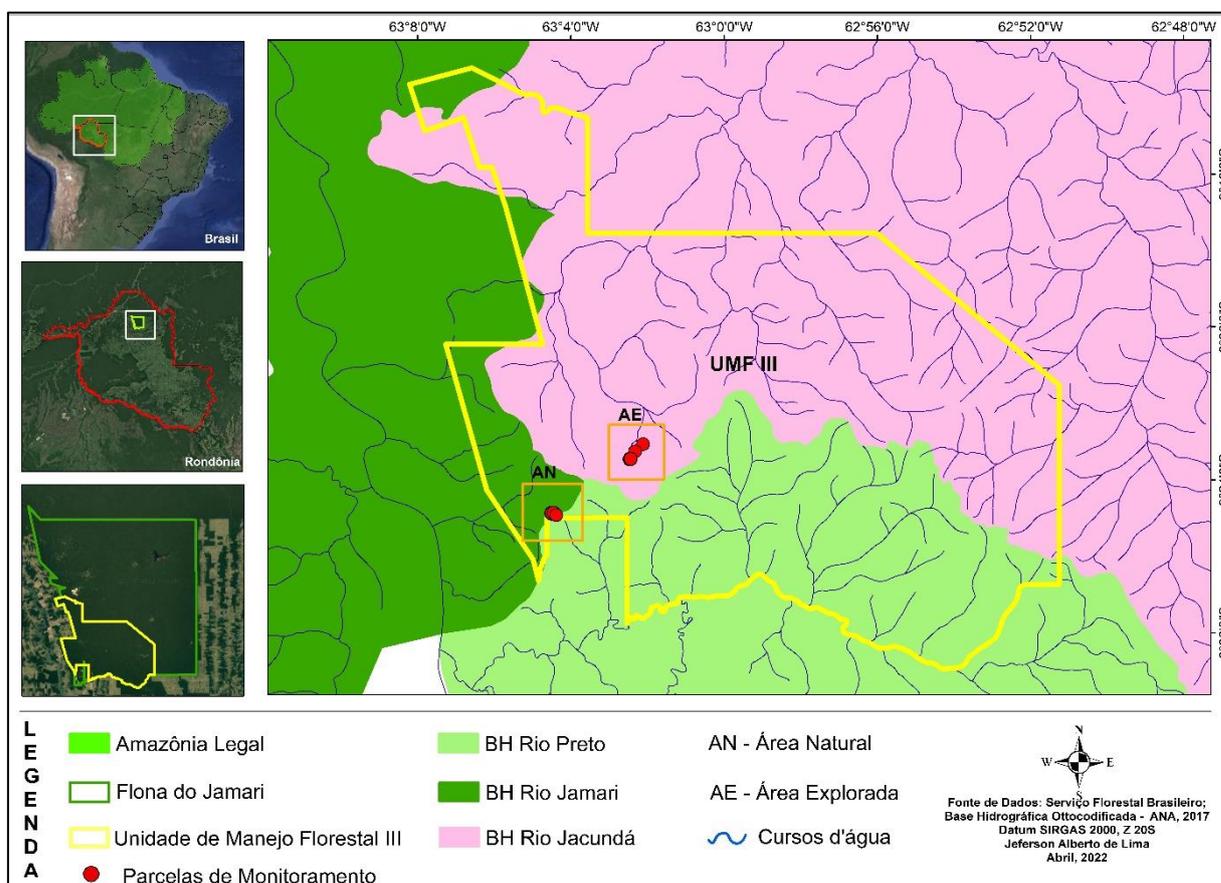
O clima da região segundo a classificação de Koppen-Geiger é do tipo Am - Tropical Monção (ALVARES *et al.*, 2013; CLIMATE-DATA, 2019), quente e úmido, com precipitação média entre 1800 e 2200 mm/ano, com dois períodos distintos (chuvoso entre outubro e abril) e um período seco (entre junho e agosto), maio e setembro são considerados meses de transição. A região apresenta médias de temperatura do ar entre 24 e 26°C, e umidade relativa entre 80 e 90% no verão, e em torno de 75% no outono-inverno (GAMA, 2002; AB'SÁBER, 2003; BRASIL, 2005).

Esse estudo foi desenvolvido na Unidade de Manejo Florestal III (UMF III), destinado para exploração por Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), distante 140 km da capital Porto Velho (figura 16). Nesse local são encontrados três tipos de solos, distribuídos em duas classes (Latosolos e Argissolos), com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico).

A unidade é caracterizada como ambiente de floresta de terra firme, com estado natural de floresta primária onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila Aberta Submontana, com presença de árvores espaçadas formando um dossel com altura de aproximadamente 40 m e ocorrência de formações irregulares de palmeiras, compondo um mosaicos de florestas densas e abertas com e sem presença de palmeiras e cipós. (IBAMA/MMA, 2005).

Na UMF III, duas áreas foram selecionadas: (a) uma na unidade de produção anual (UPA-18) definida como Área Natural (AN) representativo da vegetação que mantém as características da floresta não explorada (9°24'53.15" S e 63°04'29.48" O), e (b) a outra área definida como Área Explorada (AE) foi inserida na unidade de produção anual (UPA-11), representativa da vegetação que já sofreu alteração (9°23'27.52" S e 63°02'27.08" O).

**Figura 16** - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2017.

Tanto o monitoramento dos parâmetros hidrológicos como o aporte de serapilheira foi realizado no período de outubro de 2019 a outubro de 2020 (13 meses). Em cada área, foram instaladas 3 parcelas de 20 x 20m, cujas características da estrutura da vegetação estão descritas na tabela 8.

**Tabela 8** - Característica das áreas selecionadas, denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Medidas	Parâmetros da estrutura da vegetação								Densidade* (indivíduos.ha <sup>-1</sup> )	
	DAP (cm)		Ht (m)		Apc (m <sup>2</sup> )		Vc (m <sup>3</sup> )		AN	AE
	na	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE		
Mínimo	12,7	12,7	12,0	9,0	7,2	0,4	8,0	1,3		
Máximo	111,5	140,8	28,0	36,0	199,7	284,8	795,4	1512,8	1625	1450
Média	21,8	29,0	17,4	17,3	41,4	49,9	133,7	161,6		
Desvio padrão (Dp)	18,0	24,5	3,5	4,9	37,5	58,8	154,5	284,0		

CV (%)            82.3    84.4    19.9    28.5    90.55    117.92    115.6    175.7

Fonte: o autor, 2021. Onde: diâmetro a altura do peito (DAP) em cm, altura total (Ht), área de projeção da copa (Apc) em m<sup>2</sup> e volume da copa (Vc) em m<sup>3</sup>. \* Indica diferença estatisticamente significativa entre as médias (p<0,05).

## 2.2 Quantificação da precipitação em aberto e precipitação efetiva

Pluviômetros confeccionados a partir de tubos e conexões de PVC com área de captação de 78,5 cm<sup>2</sup>, altura variando entre 20 e 40 cm, com capacidade de armazenamento entre 1,57 e 3,14 litros foram utilizados para o monitoramento da precipitação em aberto e precipitação interna (figura 17 a). Barras de aço e ripas de madeira foram usadas para fixação dos pluviômetros à 1,50 m de altura do solo (figura 17 b e c). Um funil foi colocado na parte superior de cada pluviômetro para evitar a entrada de galhos, folhas, sementes e insetos que pudessem interromper o fluxo da água, promover a alteração da constituição da água coletada e minimizar a evaporação da água acumulada (figura 17 d).

Para monitorar a precipitação em aberto, foram utilizados 2 pluviômetros por área, instalados em pátios localizados no entorno das áreas (50 m de distância da AN e 200 m da AE), em pontos que permitiam a incidência direta da água da chuva sobre a área de captação, livre da copa das árvores e demais estruturas da floresta. A precipitação interna foi monitorada por meio de 7 pluviômetros instalados aleatoriamente no interior de cada parcela, totalizando 21 pluviômetros por área.

**Figura 17** - Pluviômetros construídos com tubos e conexões de PVC (a), fixados com ripa de madeira (b) e barras de aço (c) usados para monitorar a Pa e Pi, contendo na parte superior um funil (d).



Fonte: o autor, 2021.

O volume de água acumulado nos pluviômetros foram mensurados por meio de uma proveta graduada com capacidade de 1 litro. O cálculo para determinação da precipitação em aberto [Pa, mm] foi obtido a partir da equação 6.

$$Pa [mm] = \frac{V [L]}{A [m^2]} \quad (6)$$

O cálculo para determinação da precipitação interna [Pi, mm] foi obtido pela média dos volumes acumulados nos pluviômetros a partir da equação 7.

$$Pi [mm] = \sum_{n=1}^n \frac{V [L]}{A [m^2]}_{ni} \quad (7)$$

O volume de água do escoamento pelo tronco no interior das parcelas foi obtido pelo monitoramento de 60 indivíduos florestais (30 em cada área) com DAP  $\geq 10$  cm medidos no início do período de monitoramento. A água escoada pelo tronco foi coletada por meio de calhas de poliuretano construídas com espuma expansiva (figura 18 b) baseada na metodologia proposta por Likens & Eaton (1970). Este material possibilita maior eficiência na captação do fluído e menor interferência microbiológica por ser inerte, apresentando baixa reatividade bioquímica (BALIEIRO *et al.*, 2001).

Mangueiras de 5/8” foram utilizadas para conectar e conduzir a água coletada para galões de armazenamento com capacidade de 20 litros (figura 18 c), o quais eram substituídos quando a capacidade de armazenamento era atingida (figura 18 d). O volume armazenado nos galões foi medido com um balde graduado com capacidade de 20 litros e uma proveta com capacidade de 1 litro (figura 18 e).

**Figura 18** - (a) Molde em papel jornal para construir a calha coletora, (b) espuma expansiva de poliuretano aplicada sob o molde, (c) calha coletora e tambor de armazenamento ligados por uma mangueira conectora, (d) água armazenada, (e) proveta e balde utilizados para medição da água acumulada.



Fonte: organizado pelo autor, 2021.

O cálculo para determinação do escoamento pelo tronco [Et, mm] dos indivíduos florestais selecionados considerou a razão entre o volume total do escoamento [Vt, mm] armazenado nos galões e a área de projeção da copa [Apc, m<sup>2</sup>] de cada indivíduo, a partir da equação 8 (Horton, 1919; 2013; Lorenzon *et al.*, 2015; Bessi *et al.*, 2018a; Pereira *et al.*, 2021):

$$Et [mm] = \frac{Vt [L]}{Apc [m^2]} \quad (8)$$

A volume de água do Et de cada indivíduo monitorado foi considerado para obtenção do valor total do Et da respectiva área de estudo (AN e AE), onde: Et<sub>1</sub> + Et<sub>2</sub> + Et<sub>3</sub> + Et<sub>4</sub> ..... + Et<sub>30</sub> = Et<sub>área (AN/AE)</sub>.

A precipitação efetiva foi obtida pela soma dos valores médios da precipitação interna [Pi, mm] e do escoamento pelo tronco [Et, mm] medidos em cada uma das áreas (AN e AE). Os valores mensurados durante as medições foram registrados em planilhas de campo, e em gabinete as informações foram organizadas e salvas em planilhas do programa Microsoft® Excel®. (Excel, 2013).

### 2.3 Aporte e capacidade de retenção hídrica da serapilheira

Amostras de serapilheira acumulada sob a superfície do solo foram coletadas mensalmente com o uso de um gabarito de 50 x 50 cm subdividido em 4 quadrantes (XU, *et al.*, 2018; PEREIRA, *et al.*, 2021) (figura 19 a), o qual foi lançado de forma aleatória dentro do limite de cada parcela, repetidamente por 10 vezes, coletando-se o material acumulado em um dos quadrantes (25 x 25 cm) para compor uma única amostra composta. Em cada área foram coletadas mensalmente 3 amostras compostas de serapilheira.

O material coletado em campo foi acondicionado em sacos plásticos, identificados e encaminhados para análise (figura 19 b). No laboratório, as amostras foram peneiradas para remoção do solo e separadas nas frações: galhos, folhas sementes/frutos e material amorfo (figura 19 c e d), as quais foram pesadas em balança de precisão 0,01g (figura 19 e), para determinação da massa no seu estado natural (MN). A estimativa da quantidade de serapilheira mensal e anual acumulada no período em cada área foi obtida pela soma das frações da serapilheira.

**Figura 19** - Quadrante para coleta da serapilheira (a), acondicionamento em sacos plásticos (b), separação das frações (c e d) e pesagem no laboratório (e) das amostras para determinação da CRHS.



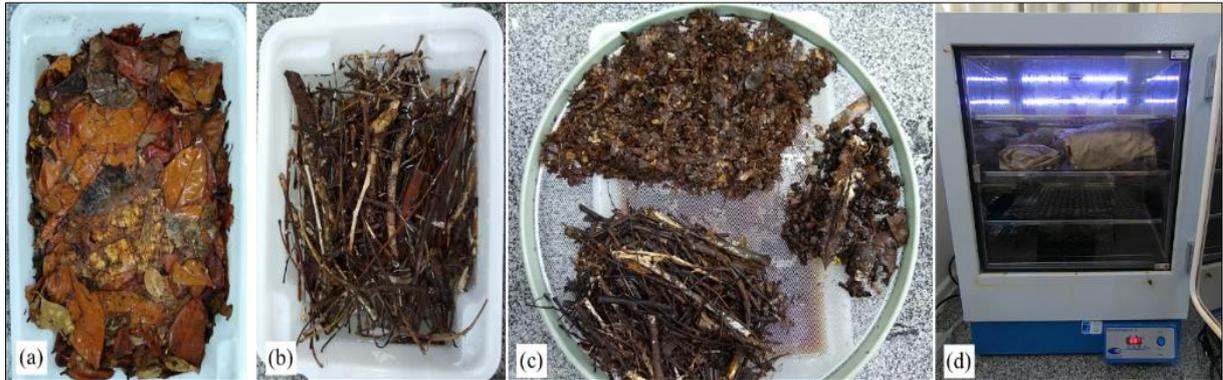
Fonte: o autor, 2021.

A determinação da capacidade de retenção hídrica da serapilheira e suas frações [CRHS, %] se deu a partir da imersão do material em água por 90 minutos (Blow, 1955) (figura 20 a e b), que em seguida foram dispostas em peneiras para drenagem por 30 minutos (figura 20 c) e pesadas para determinação da massa úmida [MU, g] em balança de precisão de 0,01g.

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em embalagens de papel devidamente identificadas e secas em estufa de circulação forçada a 70 °C, até atingir massa

constante (figura 20 d), quando então foram novamente pesadas para determinação de sua massa seca [MS, g].

**Figura 20** - Frações folhas e galhos da serapilheira imersas em água (a e b), sob peneira para drenagem (c) e, secagem em estufa sob ventilação forçada a 70°C (d).



Fonte: o autor, 2021.

A capacidade de retenção hídrica da serapilheira foi obtida por meio da equação 9.

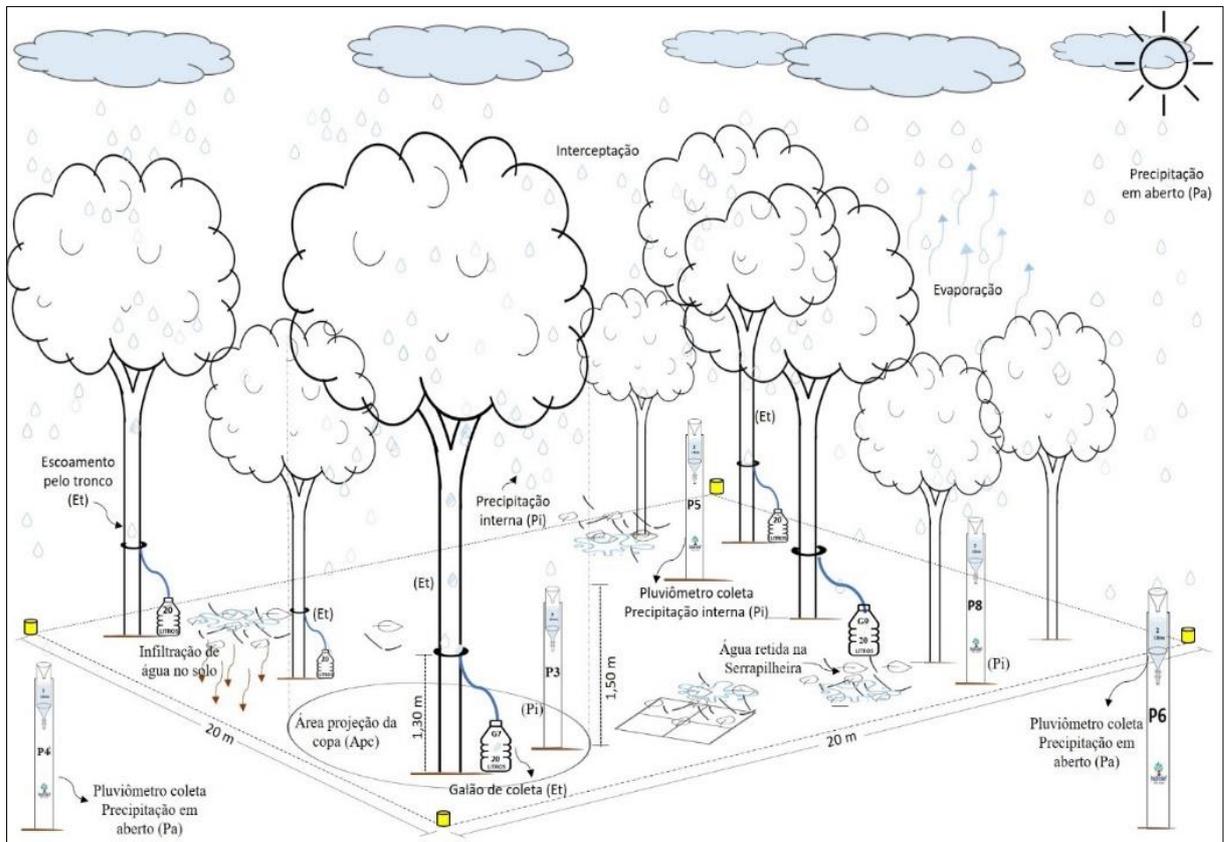
$$CRHS (\%) = \left[ \frac{MU [g] - MS [g]}{MS [g]} \right] \times 100 \quad (9)$$

A relação entre a massa fresca [MF, %] e saturada [MU, %] da serapilheira foi utilizada para determinar a retenção hídrica efetiva da serapilheira [ERHS, %] em condições de campo (Pereira *et al.*, 2021), determinada pela equação 10.

$$ERHS (\%) = \left[ \frac{MF [g]}{MU [g]} \right] \times 100 \quad (10)$$

Um croqui ilustrativo das parcelas de monitoramento contendo os principais indicadores amostrados é apresentado na figura 21.

**Figura 21** - Croqui ilustrativo de uma parcela de monitoramento e coleta de dados e informações necessárias à determinação da capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRHS), localizadas na Flona do Jamari, Rondônia – Amazônia brasileira.



Fonte: o autor, 2021.

## 2.4 Análise dos dados

Os dados da precipitação efetiva [Pe, mm], do estoque acumulado da serapilheira e suas frações ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ), da umidade da serapilheira [U, %] e da capacidade de retenção hídrica da serapilheira [CRH, %] foram submetidos ao teste de homoscedasticidade das variâncias pelo teste F e de normalidade pelo teste de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), em seguida foi realizada a análise da variância dos dados que apresentaram distribuição normal com o teste de T Student a 5% de probabilidade afim de determinar se as médias das amostras obtidas em cada área diferiam significativamente entre si ao longo do período de monitoramento.

Dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos ao teste não paramétrico. Ambas as análises foram processadas com o auxílio do software BioEstat 5.3 (AYRES, *et al.*, 2007) e @Minitab 17 (Minitab, 2021).

Foi realizada uma análise de correlação e calculado o coeficiente de correlação de Pearson, que pode medir a força da relação linear entre duas variáveis, neste caso, entre a

precipitação efetiva [Pe, mm] e o estoque de serapilheira ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); Pe e a umidade da serapilheira [U, %]; Pe e a capacidade de retenção hídrica [CRH, %]. Utilizamos a descrição de Evans (1996) para classificar o coeficiente de correlação e a correspondente força de relacionamento (Tabela 9).

**Tabela 9** - Resumo das forças do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Força da correlação	Coefficiente de correlação de Pearson (r)
Muito fraca	0.0 – 0.19
Fraca	0.20 – 0.39
Moderada	0.40 – 0.59
Forte	0.60 – 0.79
Muito forte	0.80 – 1.00

Fonte: Evans (1996.)

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Quantificação da precipitação em aberto [Pa, mm] e precipitação efetiva [Pe, mm]

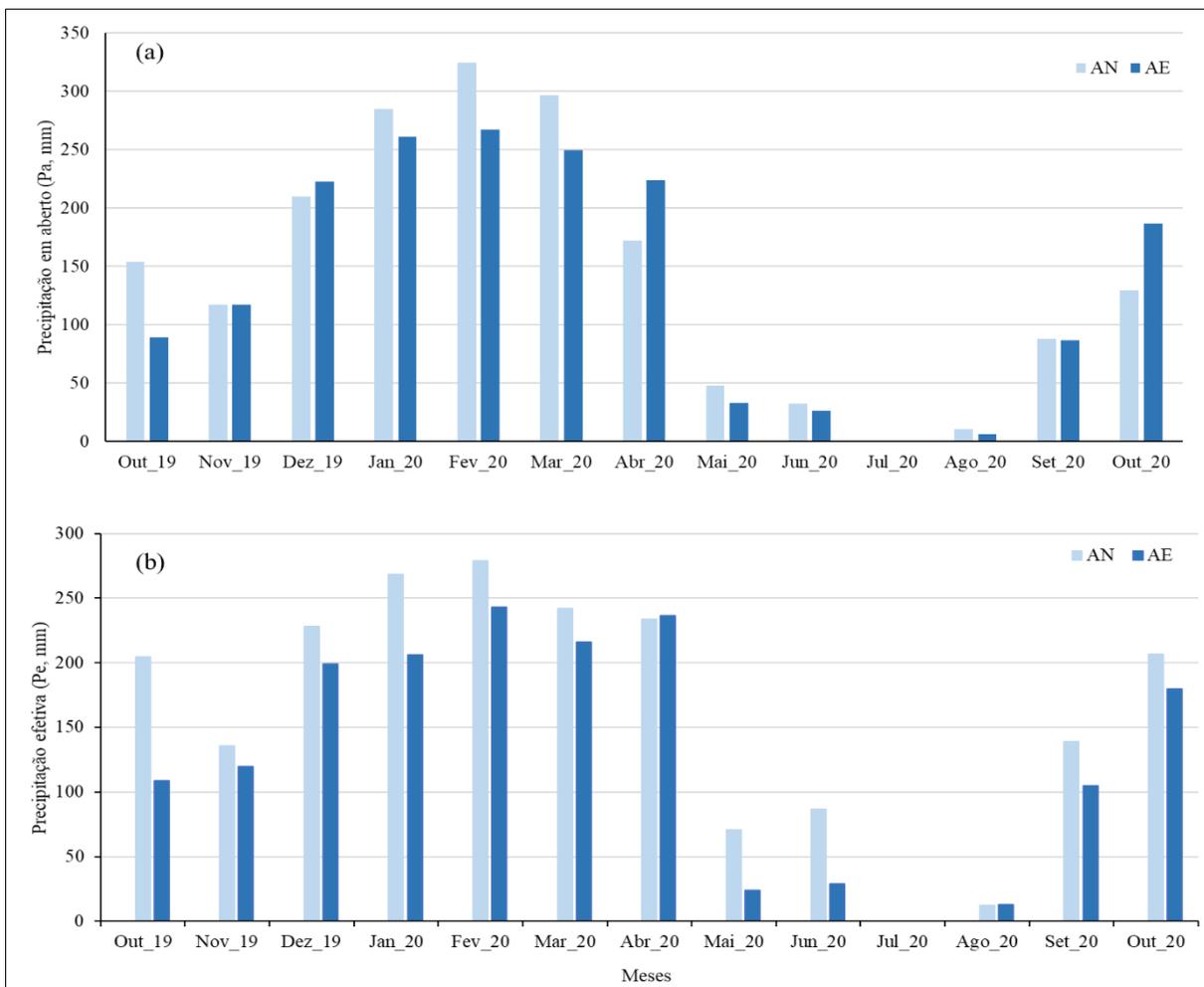
A precipitação em aberto [Pa, mm] acumulada ao longo do período de monitoramento correspondeu a 1868,2 mm na AN e 1771,3 mm na AE. O valor médio da Pa registrado na AN foi 5,14% superior ao valor da Pa registrado para a AE. A AN também apresentou maior amplitude de variação da Pa entre as áreas, sendo registrados valores mínimos e máximos variando entre 0 e 324,8 mm na AN e valores entre 0 e 267,5 mm (mínimo e máximo) para a AE (figura 22 a).

Sazonalmente os menores acúmulos da Pa foram observados no período seco do ano hidrológico monitorado (meses de maio a setembro) acumulando aproximadamente 9,6 e 8,6% do total de Pa registrados nas AN e AE respectivamente, sendo o mês de julho o único a não apresentar acúmulo desta variável em ambas as áreas. No período chuvoso (outubro a abril) foram registrados os maiores acúmulos de Pa, com valores máximos registrados no mês de fevereiro/2020 para ambas as áreas.

A precipitação efetiva [Pe, mm] calculada neste mesmo período na AN foi de 2106,28 mm, enquanto na AE o valor desta componente foi de 1679,9 mm. Os valores médios da precipitação efetiva calculados na AN (162 mm) foram 20,3% superiores aos valores calculados na AE, que registrou uma média de 129,2mm. Na AN a Pe foi superior a Pa incidente sobre a

área em dez dos trezes períodos de coleta, já na AE a Pe superou a Pa em cinco períodos de coleta (figura 22 b).

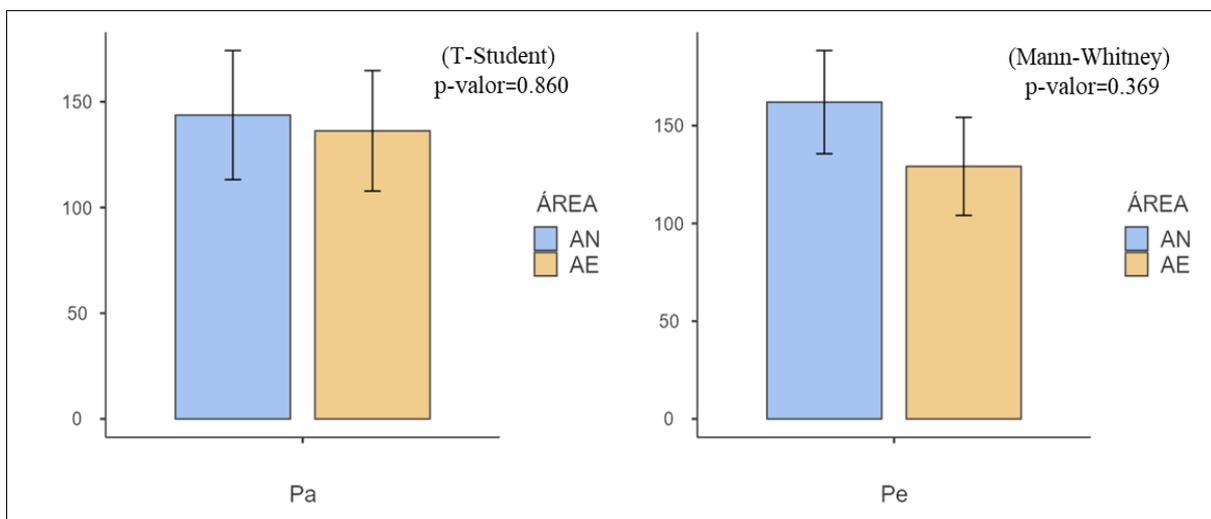
**Figura 22** - (a) Distribuição mensal da precipitação em aberto [Pa, mm] e (b) distribuição mensal da precipitação efetiva [Pe, mm] na área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Os dados da precipitação das áreas analisadas apresentaram homogeneidade da variância (Test Levene), no entanto, apenas os valores da Pa apresentaram distribuição normal ( $p > 0,05$ , Shapiro-Wilk). Mesmo sendo possível perceber diferenças entre a média da precipitação (Pa e Pe) observadas entre as áreas, estas não foram estatisticamente significativas (figura 23). A tabela com a estatística descritiva dos parâmetros hidrológicos (Pa, Pi, Pe e Et) obtidos das áreas de estudo podem ser acessados nos apêndices desse capítulo (apêndice A3).

**Figura 23** - Valores médios da precipitação em aberto (Pa, mm) e precipitação efetiva (Pe, mm) observados na áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021. Em que, p-valor <0,05 = significativa

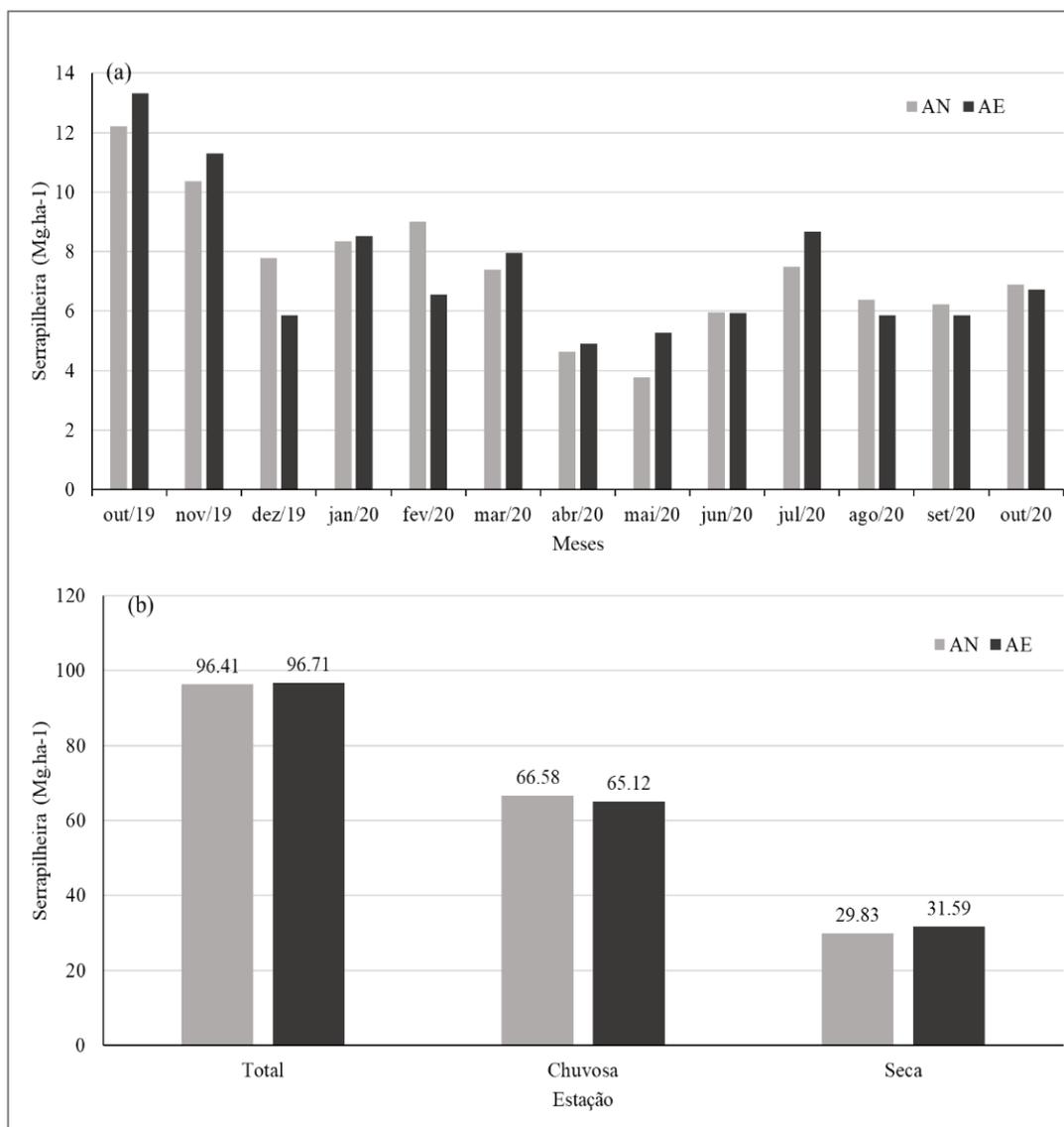
### 3.2 Serapilheira acumulada e suas frações

O acúmulo do estoque de serapilheira mostrou-se semelhante ( $p=0,974$ ) entre as áreas estudadas ( $7,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e contínuo durante todo o período de monitoramento, independente da ocorrência de precipitação. Os maiores acúmulos foram observados no mês de outubro em ambas as áreas (12,20 e 13,3 para AN e AE respectivamente).

Os menores acúmulos de estoque de serapilheira foram registrados na transição entre a estação chuvosa e seca (meses de abril e maio) onde foram registrados valores de acúmulo de 4,6 e 3,8  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para a AN e 4,9 e 5,3  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para a AE (figura 24 a).

Sazonalmente o maior estoque de serapilheira foi acumulado no período chuvoso (outubro a abril), sendo acumulado o equivalente a 69,1% ( $66,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na AN e 67,3% ( $65,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na AE (figura 24 b). No período seco (maio a setembro) o estoque total médio de serapilheira acumulada na AN foi de 29,8  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  enquanto na AE foi registrado uma média de 31,6  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (figura 24 b).

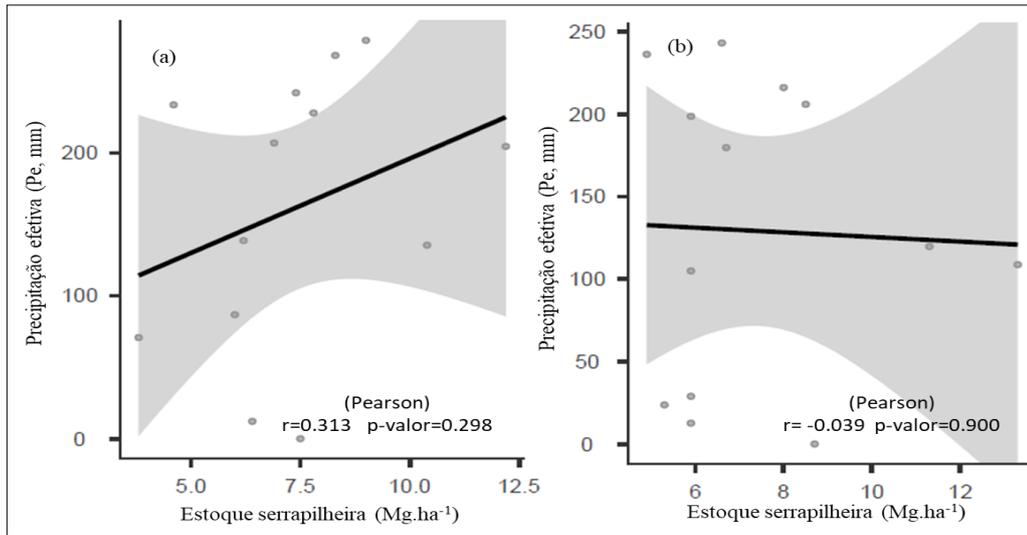
**Figura 24** - Distribuição do estoque acumulado de serapilheira ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na área natural (AN) e área explorada (AE) e (b) sua distribuição entre as estações de chuva e seca. Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

De acordo com os testes de correlação e considerando a força da relação conforme proposto por Evans, (1996), na área natural o estoque acumulado de serapilheira apresentou uma correlação do tipo fraca e positiva em relação a precipitação efetiva (figura 25 a). Na área explorada (AE) essa correlação foi do tipo muito fraca e negativa (figura 25 b).

**Figura 25** - Correlação entre o estoque acumulado de serrapilheira ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em relação precipitação efetiva ( $P_e$ , mm) na (a) área natural e (b) na área explorada.

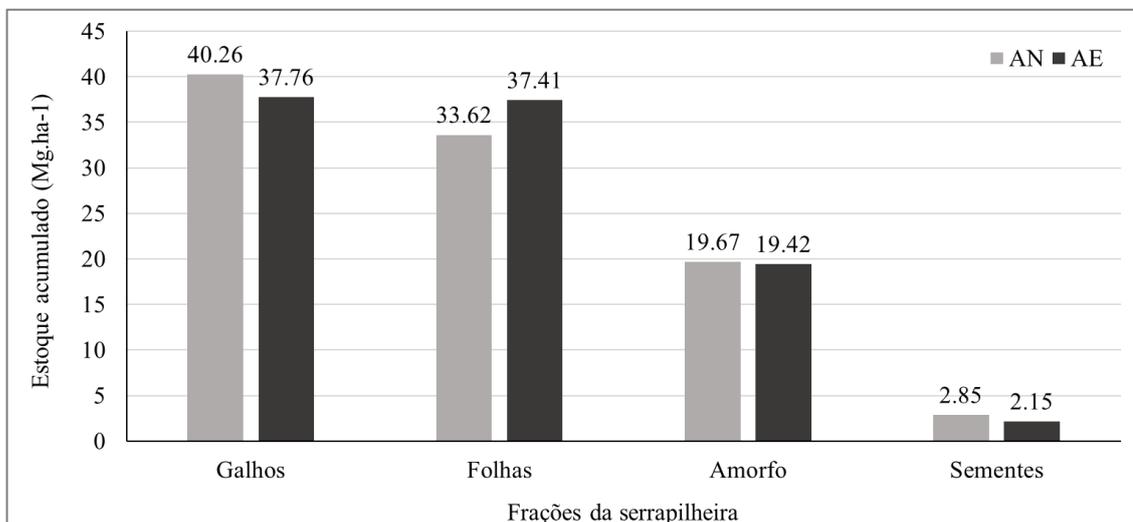


Fonte: o autor, 2021.

### 3.3 Frações da serrapilheira

A composição do estoque total de serrapilheira acumulada nas áreas de estudo seguiu a mesma sequência de acúmulo em relação às frações: galhos>folhas>amorfo>sementes, sendo que na AN essas frações representaram o equivalente a 40,3% (Galhos), 33,6% (Folhas), 19,7% (Amorfo) e 2,9% (Sementes); enquanto na área explorada, 39,0% (Galhos), 38,7% (Folhas), 19,4% (Amorfo) e 2,2% (Sementes) (figura 26).

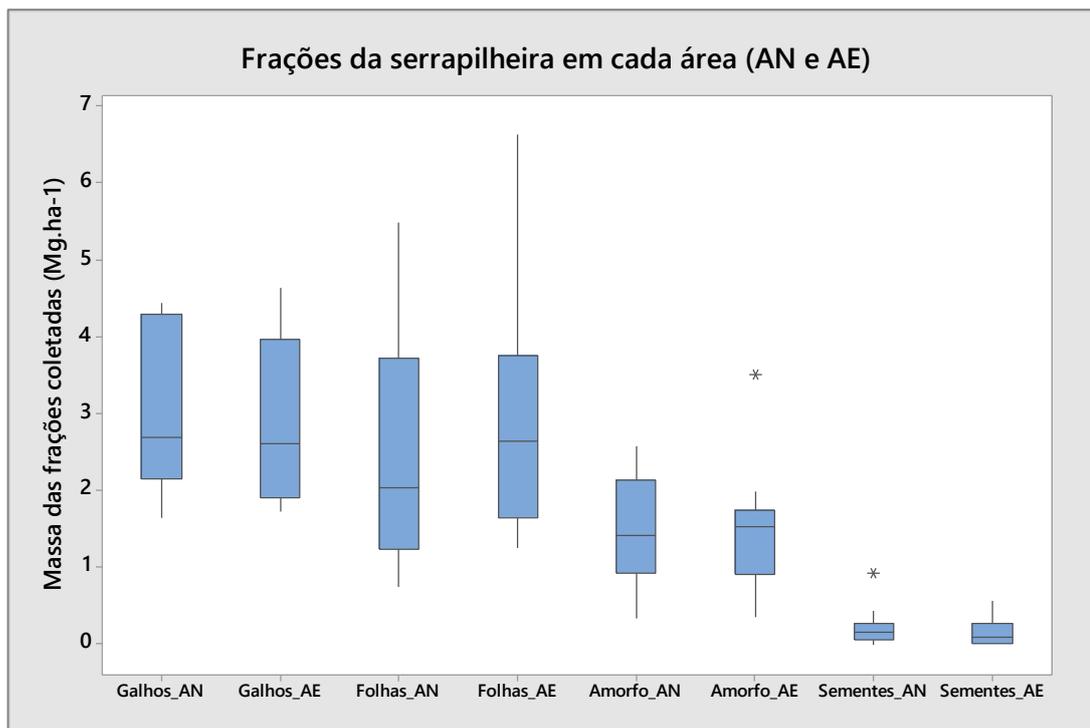
**Figura 26** - Estoque acumulado das frações da serrapilheira ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A análise dos volumes das frações acumuladas entre as áreas de estudo (galhos-galhos, folhas-folhas, amorfo-amorfo e sementes-sementes) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ) (figura 27).

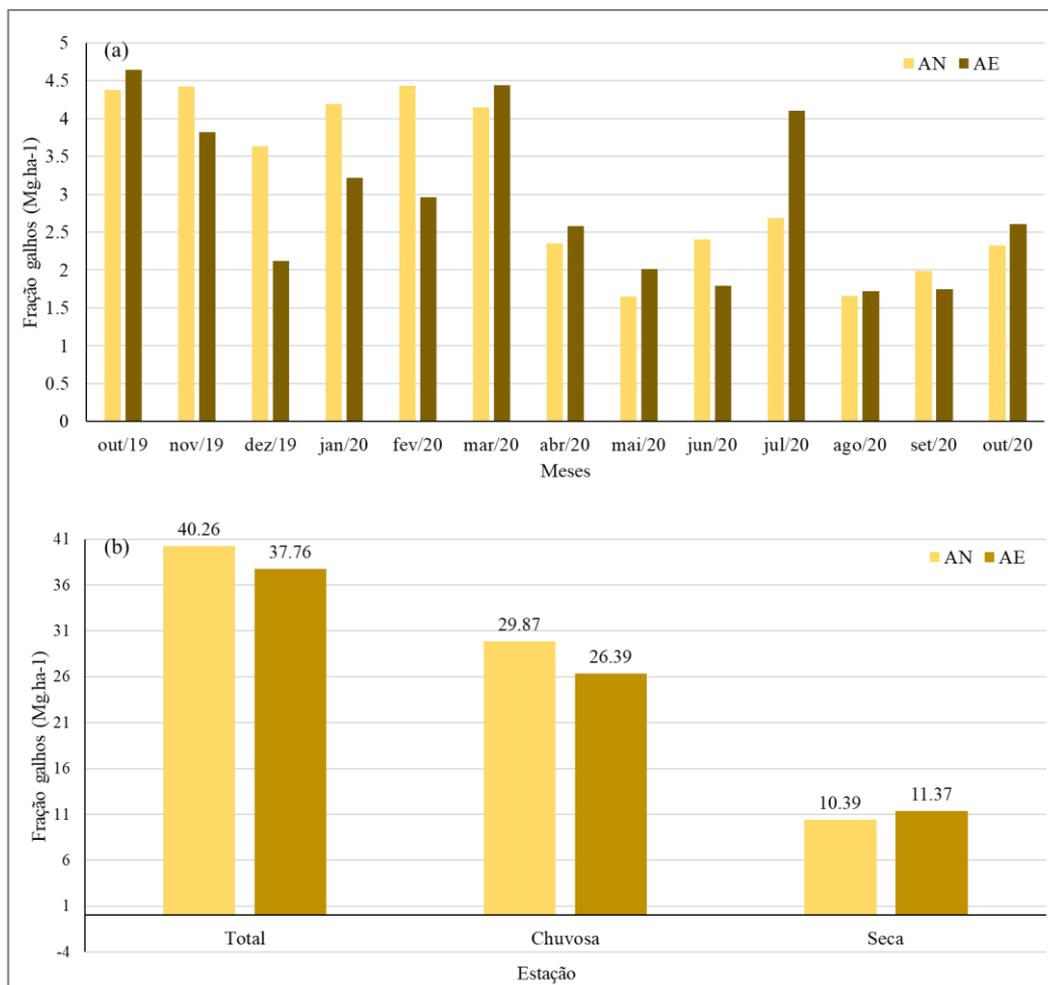
**Figura 27** - Repartição do estoque médio das frações da serapilheira ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) acumuladas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) entre outubro/2019 e outubro/2020, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia – Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A massa média da fração “galhos” acumulada na AN foi de  $3,10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$ , correspondendo ao total de  $40,3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  no período. Na AE a média foi de  $2,90 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$ , com o total de  $37,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (figura 28 a e tabela 10). Sazonalmente os maiores acúmulos da fração galhos em ambas as áreas foi observado na estação chuvosa (figura 28 b).

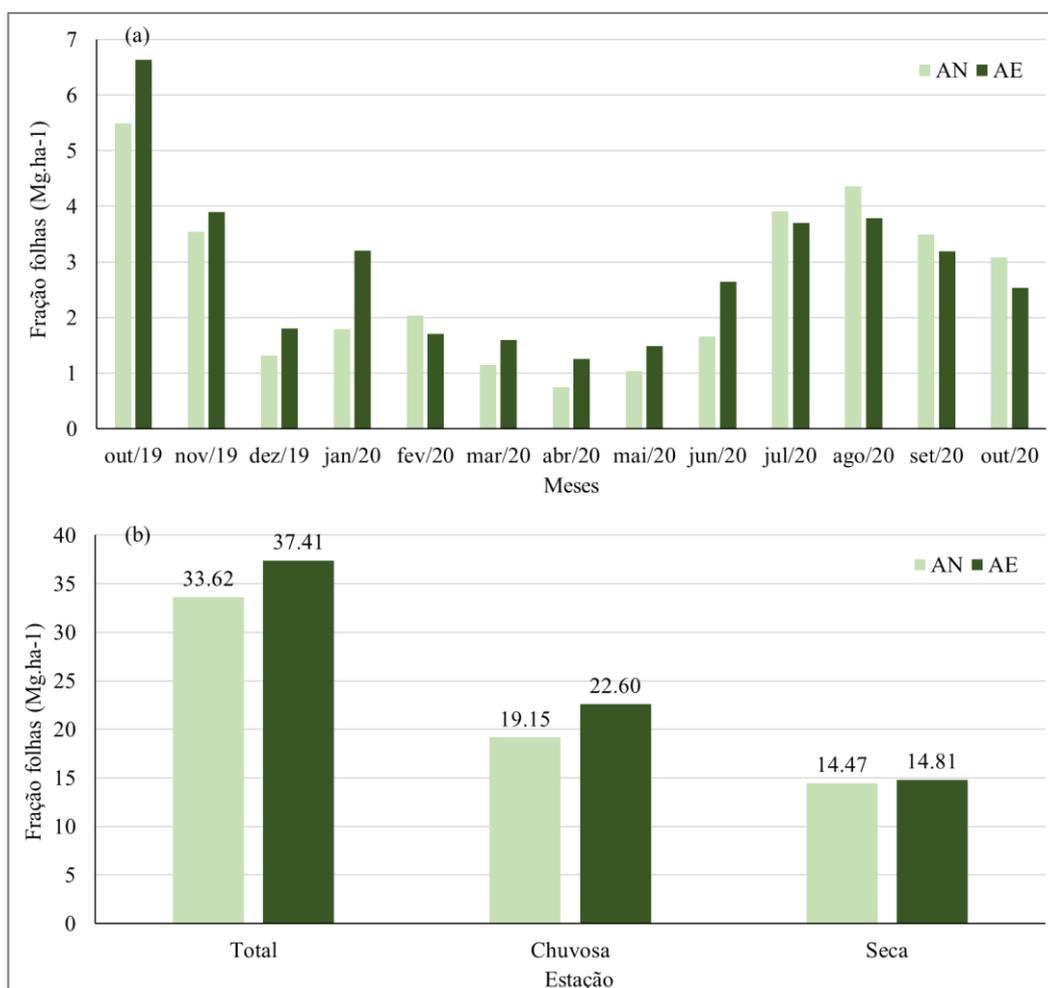
**Figura 28** - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração galhos ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em cada etapa de coleta e (b) em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A fração “folhas” apresentou um estoque médio acumulado de  $2,59 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AN e  $2,88 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AE com valores mínimos e máximos variando entre  $0,75$  e  $5,49 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AN e entre  $1,25$  e  $6,63 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para a AE (figura 29 a). O estoque total da fração “folhas” acumulado na AN durante o período de monitoramento foi de  $33,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , já na AE esse total foi de  $37,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Sazonalmente os maiores acúmulos da fração “folhas” em ambas as áreas foi observado na estação chuvosa (figura 29 b).

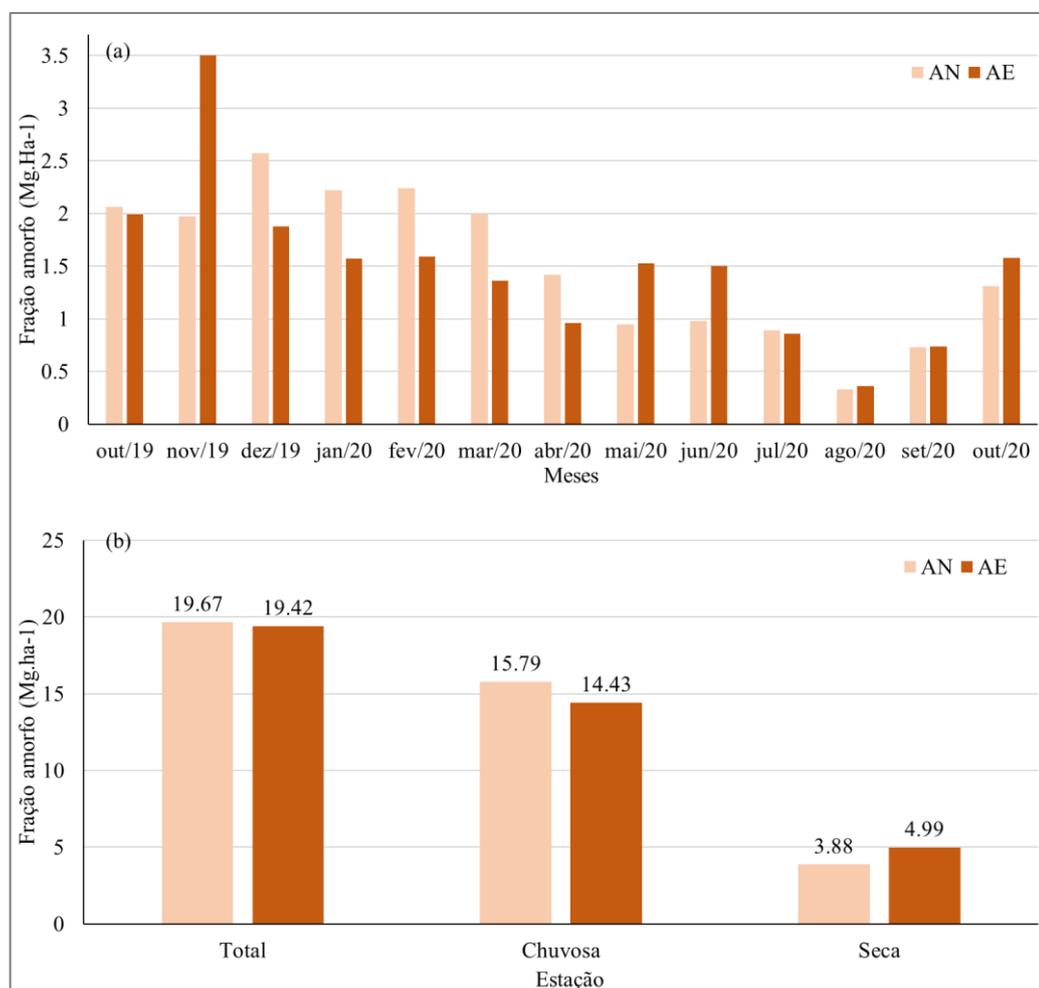
**Figura 29** - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração folhas ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em cada etapa de coleta e (b) em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A média do estoque acumulado da fração “amorfo” foi de  $1,51 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AN, enquanto na AE a média acumulada desta fração foi de  $1,49 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (figura 30 a). O estoque total acumulado da fração amorfo na AN foi de  $19,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , enquanto na AE correspondeu a  $19,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Sazonalmente os maiores e menores acúmulos desta fração foram observados respectivamente na estação chuvosa e seca (figura 30 b).

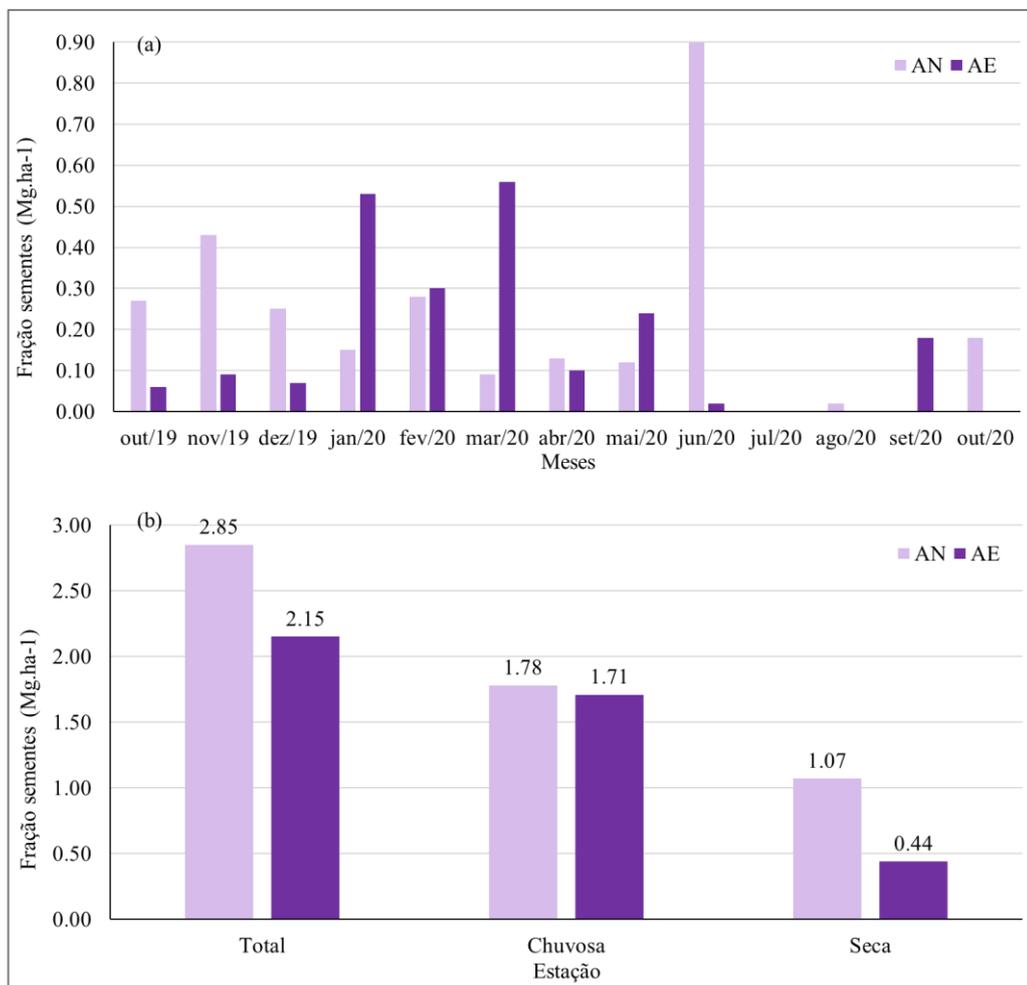
**Figura 30** - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração amorfo ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A fração “sementes” apresentou média de acúmulo de  $0,22 (\pm 0,25) \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AN e  $0,17 (\pm 0,29) \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na AE. O estoque total acumulado desta fração na AN foi de  $2,9 \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  enquanto na AE esse total foi de  $2,2 \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Os valores mínimos dessa fração foram observados no mês de julho para ambas as áreas, já os valores máximos foram observados no mês de junho para a AN e no mês de março para a AE (figura 31 a). Sazonalmente os maiores e menores acúmulos desta fração foram observados respectivamente na estação chuvosa e seca (figura 31 b).

**Figura 31** - (a) Distribuição do estoque acumulado da fração sementes ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) em cada etapa de coleta e (b) e em relação a estação chuvosa e seca, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

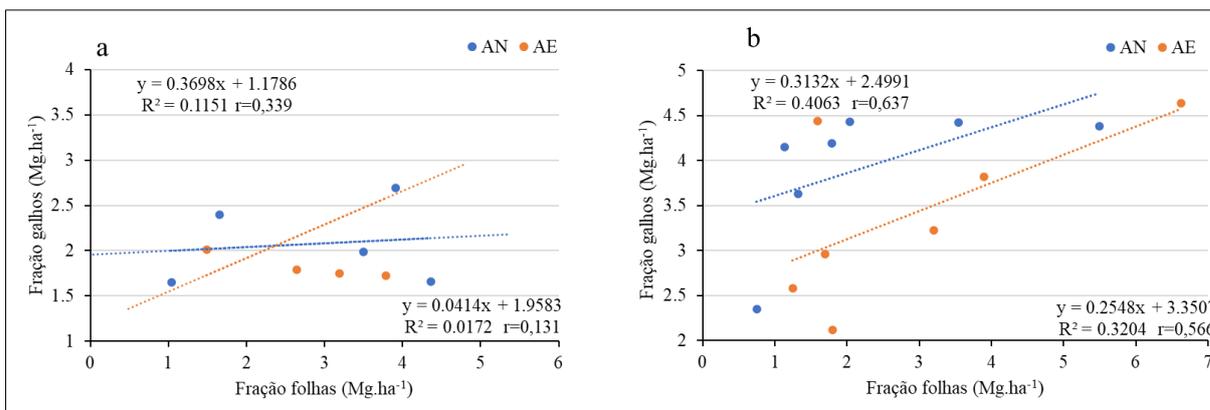


Fonte: o autor, 2021.

Em ambas as áreas, a dinâmica de acúmulo entre as frações galhos e folhas que representam os maiores volumes de estoque acumulados entre as frações que compõem a serapilheira, é possível observar uma variação em relação ao volume de estoque acumulado entre os meses de junho a outubro na área natural, e entre agosto e novembro na área explorada passando a predominar a oferta da fração folhas.

Na AN, entre novembro e junho se observa uma predominância da fração galhos e redução da fração folhas, enquanto na AE essa dinâmica de oferta é observada entre novembro e maio. As correlações obtidas entre essas frações na estação seca e chuvosa (figura 32 a e b) respectivamente ilustram esse comportamento.

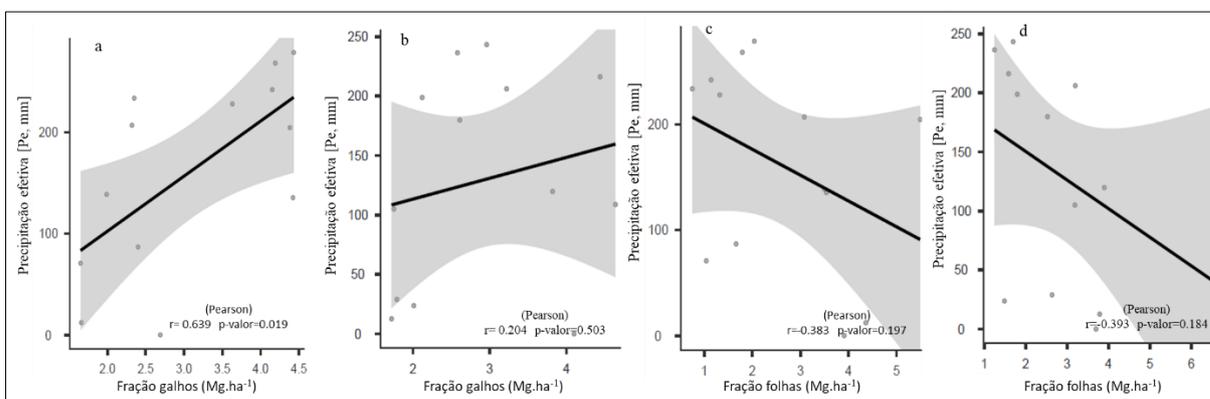
**Figura 32** - Correlação entre o estoque das frações galhos e folhas ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) obtido nas áreas de estudo entre os meses que integram a estação (a) seca e (b) chuvosa na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Na área natural (AN), a fração “galhos” apresentou correlação significativa do tipo positiva e forte com a precipitação efetiva (figura 33 a), enquanto na AE a correlação entre essas variáveis foi do tipo fraca e não significativa (figura 33 b). A fração “folhas” apresentou correlação do tipo fraca e negativa com a precipitação efetiva ( $P_e$ , mm) para ambas as áreas (figura 33 c e d), porém nenhuma dessas correlações foi estatisticamente significativa.

**Figura 33** - Correlação entre a precipitação efetiva [ $P_e$ , mm] com o estoque das fração galhos ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na (a) área natural e (b) área explorada, e com a fração folhas ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na (c) área natural e (d) na área explorada.

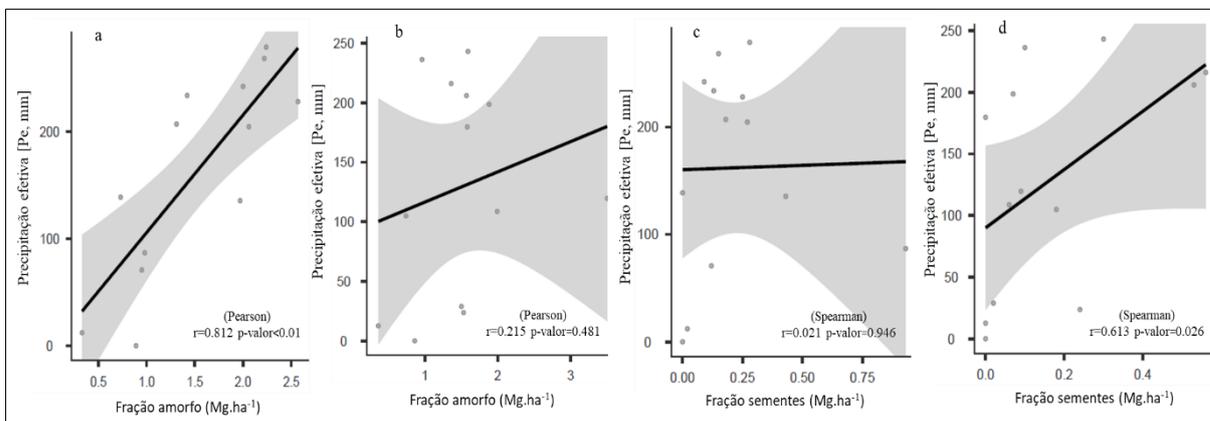


Fonte: o autor, 2021. Em que,  $p\text{-valor} < 0,05 =$  significativo.

Na AN a fração “amorfo” apresentou correlação significativa do tipo forte e positiva com a  $P_e$  ( $r = 0.812$ ,  $p\text{-valor} < 0,01$ ) (figura 34 a), enquanto na área explorada essa correlação foi do tipo fraca e positiva ( $r = 0.215$ ,  $p\text{-valor} = 0,481$ ), porém não foi significativa (figura 34 b). A fração “sementes” que apresentou o menor acúmulo entre as frações avaliadas, na área natural apresentou uma correlação do tipo fraca e positiva (figura 34 c) enquanto na área explorada

essa correlação foi do tipo muito fraca e negativa (figura 34 d), porém, nenhuma dessas correlações foi estatisticamente significativa.

**Figura 34** - Correlação entre a precipitação efetiva [Pe, mm] com o estoque das fração amorfo (Mg.ha<sup>-1</sup>) na (a) área natural e (b) área explorada, e com a fração sementes (Mg.ha<sup>-1</sup>) na (c) área natural e (d) área explorada.



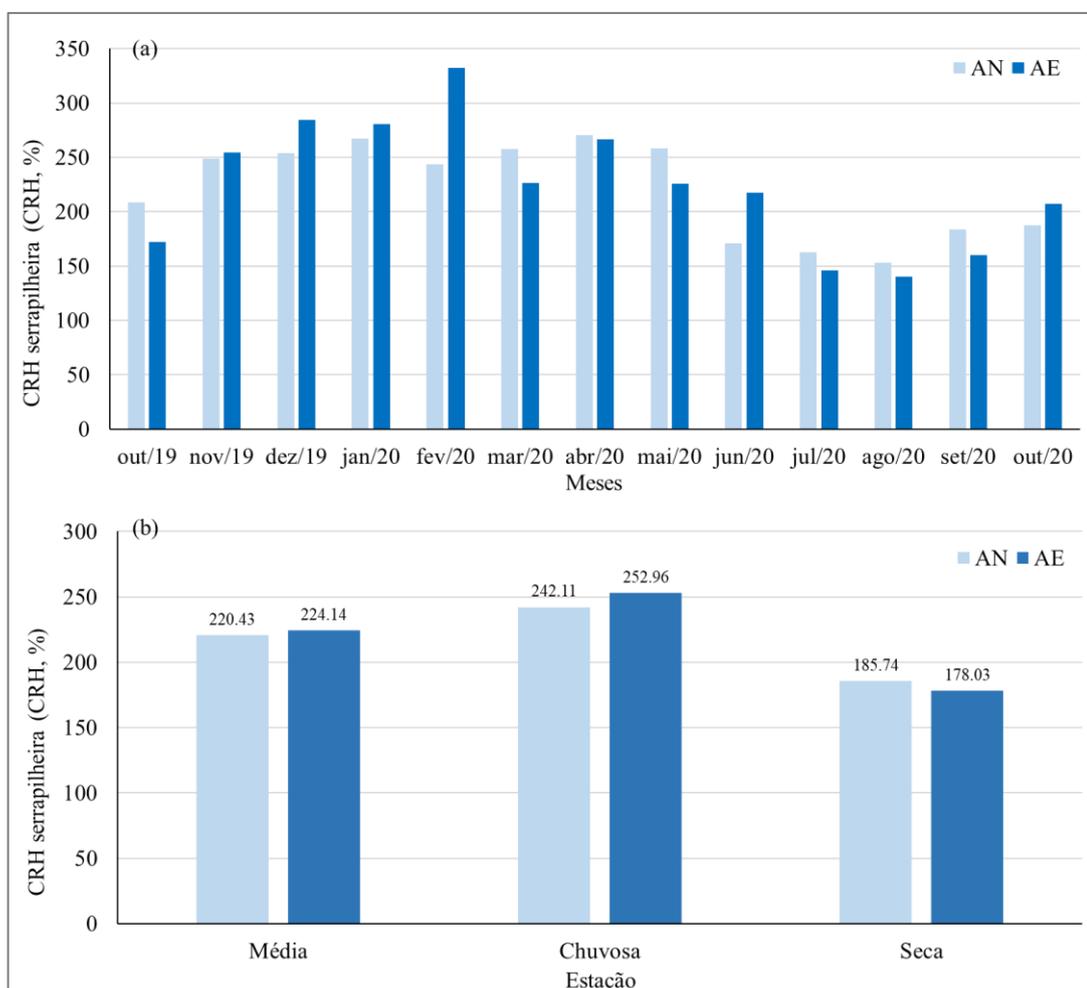
Fonte: o autor, 2021. Em que, p-valor <0,05 = significativa.

A massa média (Mg.ha<sup>-1</sup>) das frações que compõem a serapilheira e o seu estoque total, bem como a tabela com as correlações obtidas entre o estoque de serapilheira acumulado nas áreas de estudo e suas frações em relação a precipitação pode ser consultada no apêndice deste capítulo (apêndice A4 e A5).

### 3.4 Capacidade de retenção hídrica da serapilheira

A capacidade de retenção hídrica da serapilheira apresentou taxas semelhantes entre as áreas (p-valor=0,856), correspondendo a 220,4% ( $\pm 43,7$ ) para a AN, enquanto na AE essa média foi de 224,1% ( $\pm 58,7$ ) (figura 35 a). Ao longo do período de estudo, uma menor amplitude foi observada para AN (153,0 e 270,6%) quando comparada à AE (140,4 a 332,2%) (figura 35 a). A taxa média da capacidade de retenção hídrica das frações da serapilheira em ambas as áreas apontou que CRHS amorfo > CRH folhas > CRH fração sementes > CRH fração galhos, com maiores valores na área explorada (figura 36 b).

**Figura 35** - (a) Capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRHS, %) em cada período de coleta e (b) em relação as estações chuvosa e seca nas áreas de estudo natural (AN) e explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Na AN a fração “galhos” apresentou taxa de retenção média de 136,1% ( $\pm 34,4$ ) com índices variando de 89,2 a 200,5%. Na AE essa fração “galhos” apresentou taxa média de 145,8% ( $\pm 43,3$ ) com percentuais variando entre mínimo e máximo de 82,5 a 217,5%.

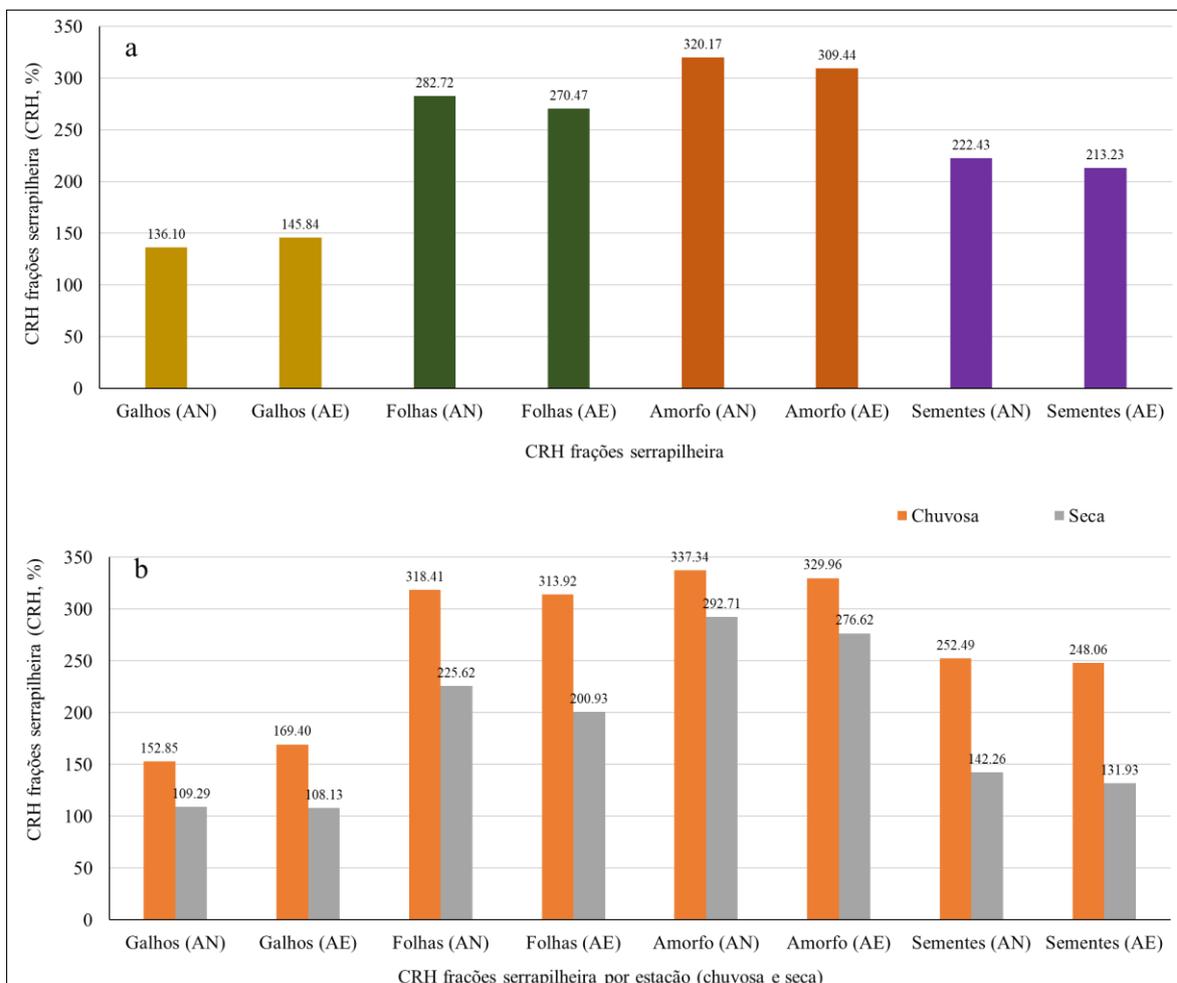
A fração “folhas” apresentou taxa média de CRH de 282,7% ( $\pm 79,6$ ) com valores variando entre 167,6 e 412,2% na AN, enquanto na AE a fração folhas apresentou taxa média de 270,5% ( $\pm 88,1$ ) com índices variando de 154,3 a 472,2%.

A fração “amorfo” que apresentou as taxas mais elevadas, alcançou CRH média de 320,2% ( $\pm 65,9$ ) na AN, com índices variando entre 205,7 e 400,6%. Na área natural essa fração apresentou taxa média de 309,4% ( $\pm 67,8$ ) com percentuais variando entre 191,4 e 425,4%.

A fração “sementes” apresentou CRH média de 222,4% ( $\pm 99,7$ ) na AN e 213,2% ( $\pm 99,5$ ) na AE com valores variando entre mínimo e máximo de 53,2 a 374,8% para a AN e entre 94,4 e 408,8%. A estatística descritiva da CRH das frações da serapilheira obtidas em

cada período de coleta para ambas as áreas de estudo pode ser consultada nos apêndices deste capítulo (apêndice A6).

**Figura 36** - (a) capacidade de retenção hídrica (CRH, %) das frações da serapilheira, (b) variação das taxas retenção hídrica das frações da serapilheira acumuladas nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil na estação chuvosa e seca.



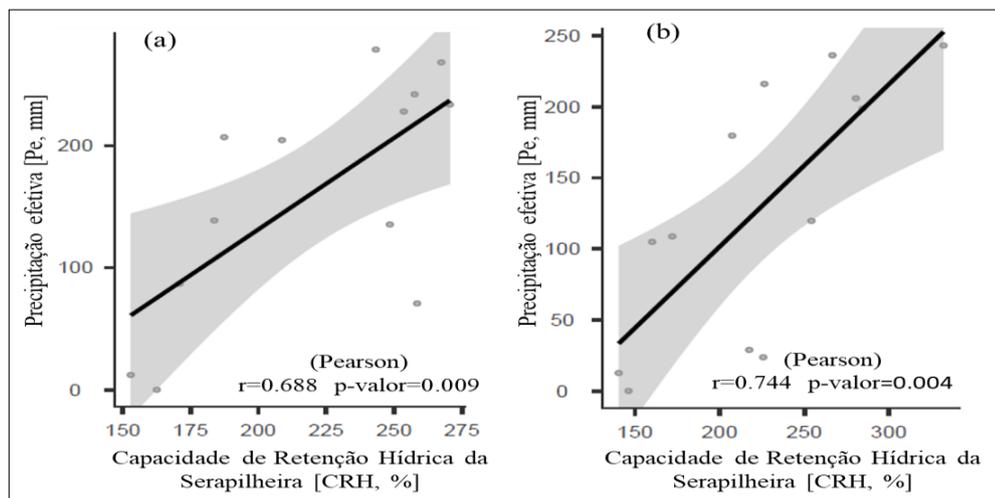
Fonte: o autor, 2021.

Em relação a análise da variância, as taxas da CRH das frações da serapilheira apresentaram variância desiguais entre as áreas. Em relação a sua distribuição, os dados apresentaram distribuição normal ( $p\text{-valor} > 0,05$ ) com base no teste de Lilliefors. Mesmo sendo observadas diferenças entre as taxas de retenção hídrica das frações da serapilheira, estas não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as áreas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ).

Os dados da CRH do estoque de serapilheira acumulados em ambas as áreas de estudo apresentaram distribuição normal. O coeficiente de correlação de Pearson indicou a existência

de uma correlação estatisticamente significativa do tipo forte e positiva entre a CRH da serapilheira com a variável Pe em ambas as áreas (figura 37 a e b).

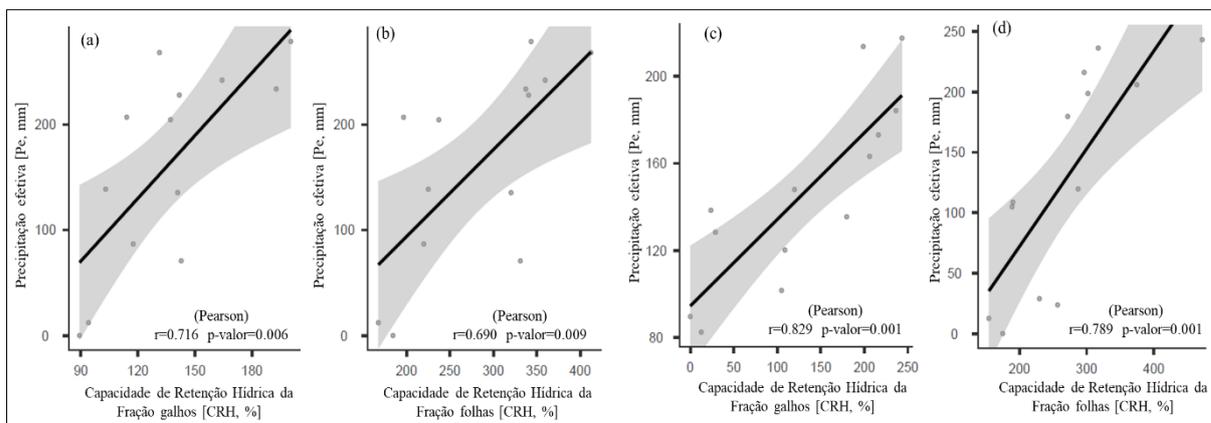
**Figura 37** - Correlação de Pearson entre a CRH da serapilheira (%) e a precipitação efetiva [Pe, mm] observadas na (a) área natural (AN) e (b) na área explorada, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021. Em que, p-valor <0,05 = significativa.

Correlações estatisticamente significativas do tipo forte e positiva foram observadas entre a precipitação efetiva [Pe, mm] e a capacidade de retenção hídrica [CRH, %] das frações galhos e folhas na área natural (figura 38 a e b) e na área explorada (figura 38 c e d).

**Figura 38** - Correlação de Pearson entre (a) a precipitação efetiva [Pe, mm] e a (a) CRH da fração galhos [CRH, %], e (b) precipitação efetiva (Pe, mm) e a CRH da fração folhas para a área natural, e correlação entre a (c) Pe e a CRH da fração galhos e (d) precipitação efetiva e a CRH da fração folhas na área explorada, inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

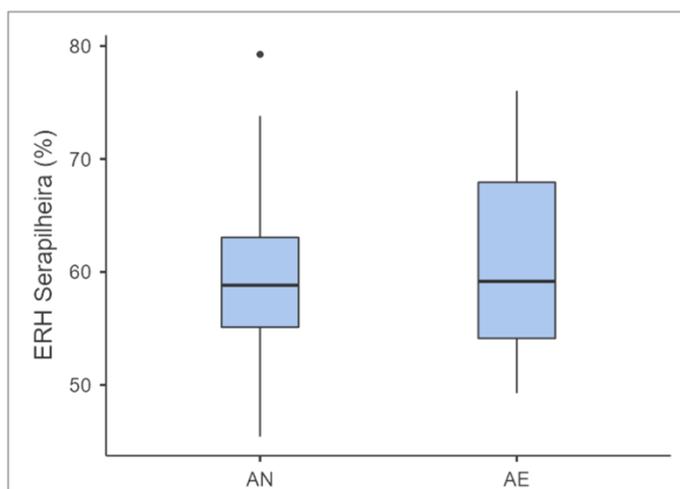


Fonte: o autor, 2021. Em que, p-valor <0,05 = significativa.

Na área natural foi registrada correlação do tipo fraca e positiva entre a Pe e a CRH da fração amorfo ( $r=0,251$ ) e do tipo moderada entre a Pe e a CRH da fração sementes ( $r=0,424$ ), no entanto nenhuma dessas correlações foi significativa. Na área explorada foram registradas correlações do tipo moderada entre a Pe e a CRH fração amorfo ( $r=0,484$ ), e entre a Pe e a CRH fração sementes ( $r=0,486$ ), porém nenhuma dessas correlações foi significativa.

A média da efetiva retenção hídrica [ERH, %] da serapilheira obtida ao longo do período de monitoramento para cada área de estudo (AN e AE) apresentou valores percentuais semelhantes, não sendo observada diferença significativa entre as áreas (figura 39). Na AN o valor médio da ERH (%) foi de 59,92% com percentuais variando entre 45,43 e 79,26% (mínimo e máximo). Na AE os percentuais variaram entre 49,28 (mínimo) e 76,04% (máximo) com valor percentual médio de 61,14%.

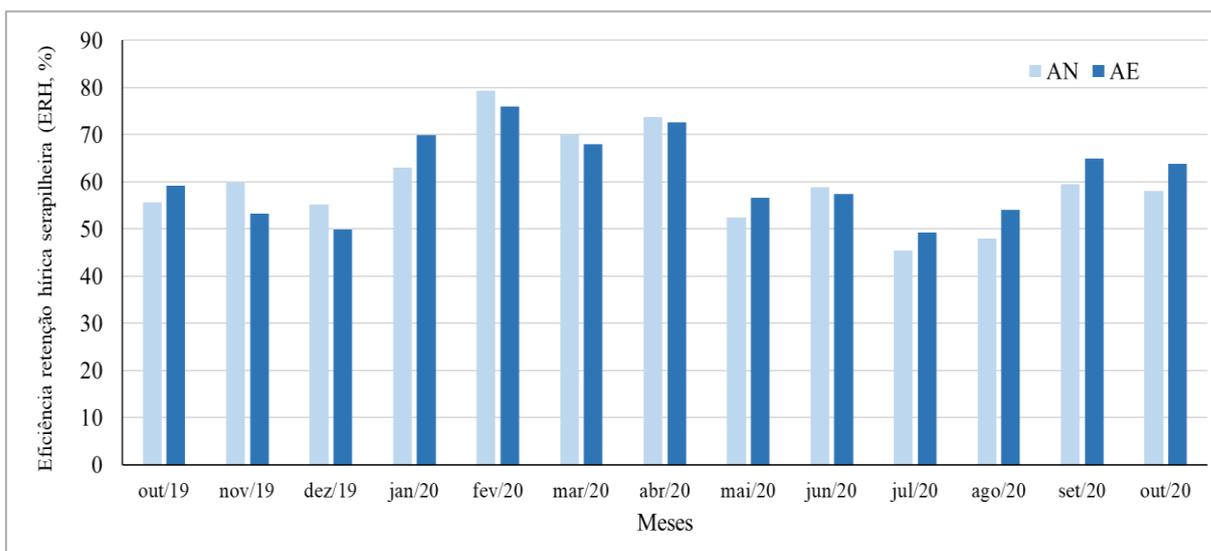
**Figura 39** – Efetiva retenção hídrica (ERH, %) da serapilheira nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Os valores percentuais médios da efetiva capacidade do estoque da serapilheira em reter água (ERH, %) apresentou similaridade entre as áreas em todas as etapas de avaliação, sendo percebido que as variações nos percentuais entre as etapas são observadas em ambas as áreas (figura 40).

**Figura 40** – Efetiva retenção hídrica (ERH, %) do estoque de serapilheira acumulada nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Considerando que a efetiva retenção hídrica da serapilheira está diretamente relacionada com sua condição (quantidade, composição, estado de decomposição, e outros), e as características do ambiente (temperatura, umidade), foi determinado a massa seca, fresca e saturada da serapilheira acumulada entre cada período de acúmulo (figura 41).

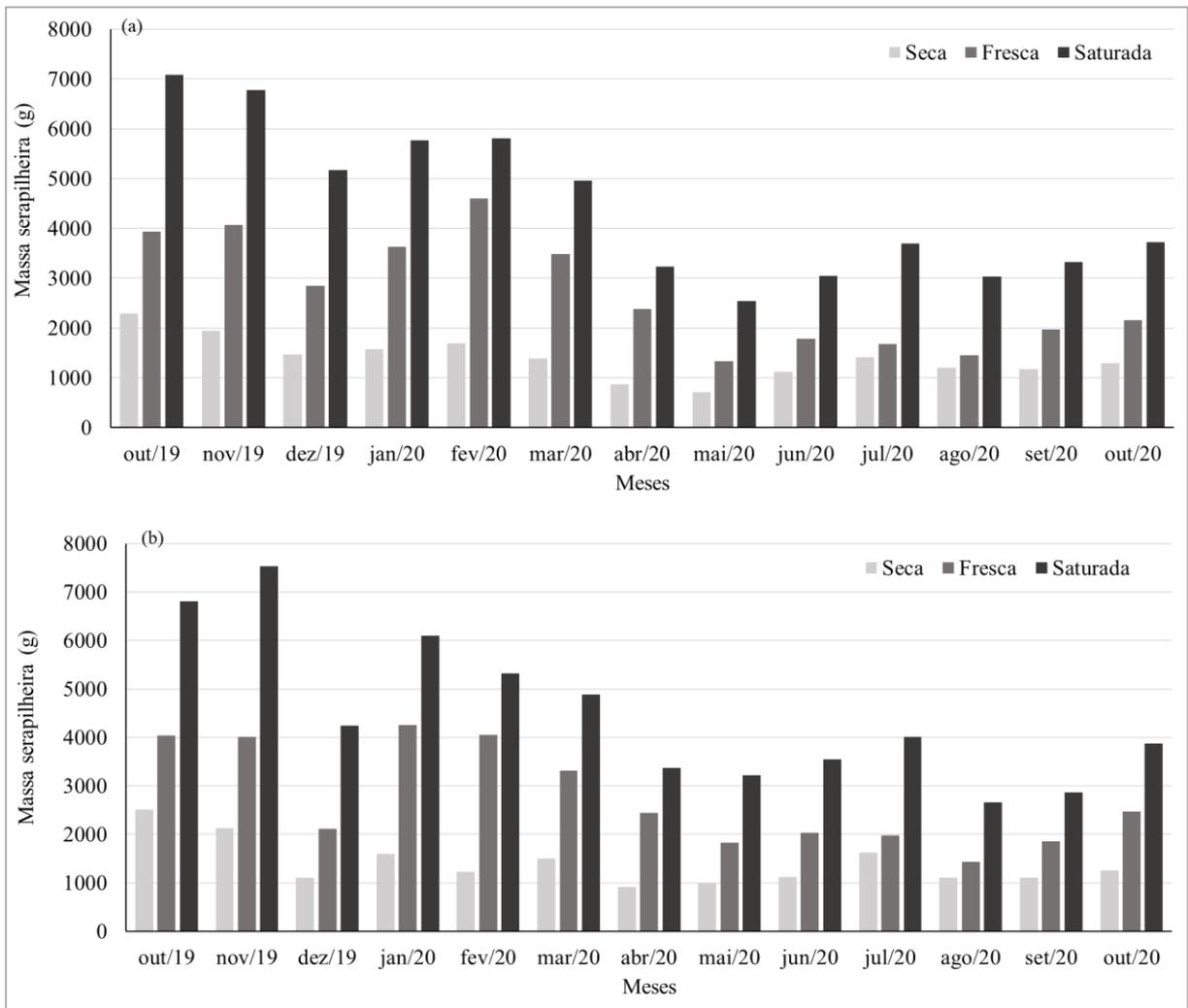
O comportamento da condição do estoque da serapilheira acumulada nas áreas de estudo em relação a efetiva capacidade de retenção de água em cada período de coleta foi semelhante entre as áreas. Tanto na AN (figura 41 a) como na AE (figura 41 b) se observa que a massa da serapilheira na condição de campo (massa fresca) apresentou valores superiores a massa seca (obtida pela secagem do material em laboratório) durante todo período de monitoramento, indicando a presença de umidade e consequente retenção de água pela serapilheira em todas as etapas de coleta. Na AN a massa fresca da serapilheira apresentou valor médio de 2.718,1 (g) ( $Dp=1.107,8$ ) já a AE apresentou massa média de 2.756,5 (g) ( $Dp=1.023,4$ ).

Em relação a massa da serapilheira saturada, a AN apresentou massa média de 4.472,6 (g) com  $Dp=1.533,3$ , enquanto na AE essa média foi de 4.494,8 (g) e  $Dp=1.540,3$ . É possível observar que os valores obtidos pela saturação em condição de laboratório se mantem acima da massa fresca (condição natural no campo) durante todo o período de monitoramento em ambas as áreas (figura 41 a e b).

A variação na condição da massa da serapilheira acumulada nas áreas de estudo (seca, fresca e saturada) apresentou relação direta com os períodos seco e chuvoso, refletindo a

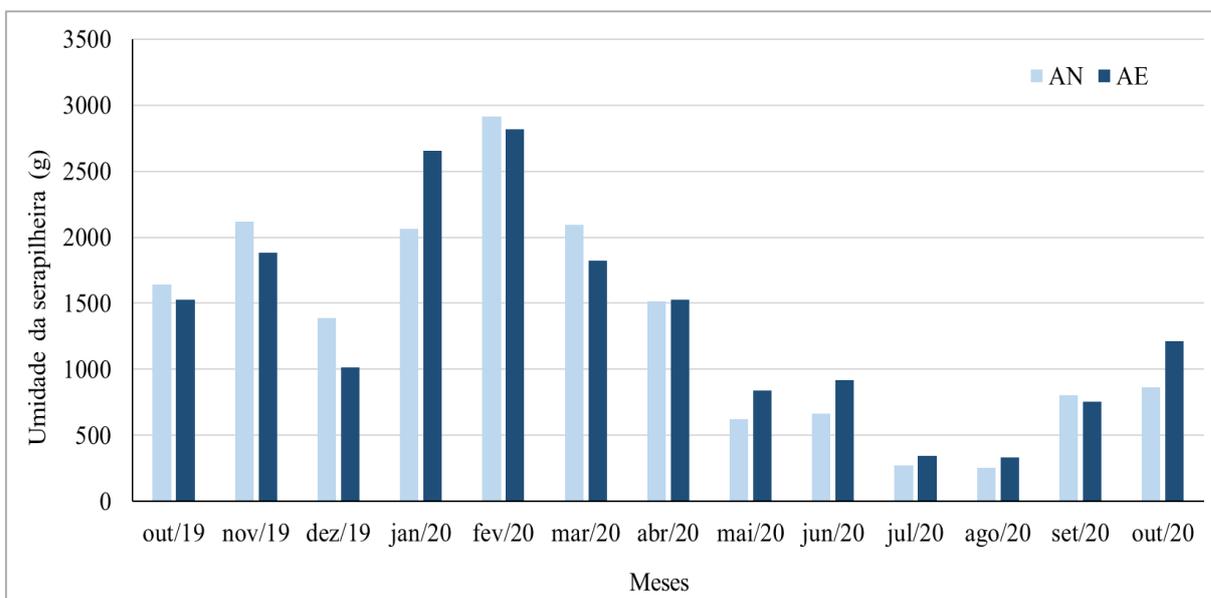
sazonalidade da região. Esse mesmo comportamento também foi observado em relação aos valores da umidade retida no estoque de serapilheira entre cada período de acúmulo, que apresentou comportamento semelhante entre as áreas (figura 42).

**Figura 41** - Massa da Serapilheira (g) obtida na condição seca, fresca e saturada acumulada na (a) área natural (AN) e (b) na área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

**Figura 42** – Umidade do estoque de Serapilheira fresca (g) acumulada na área natural (AN) e na área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

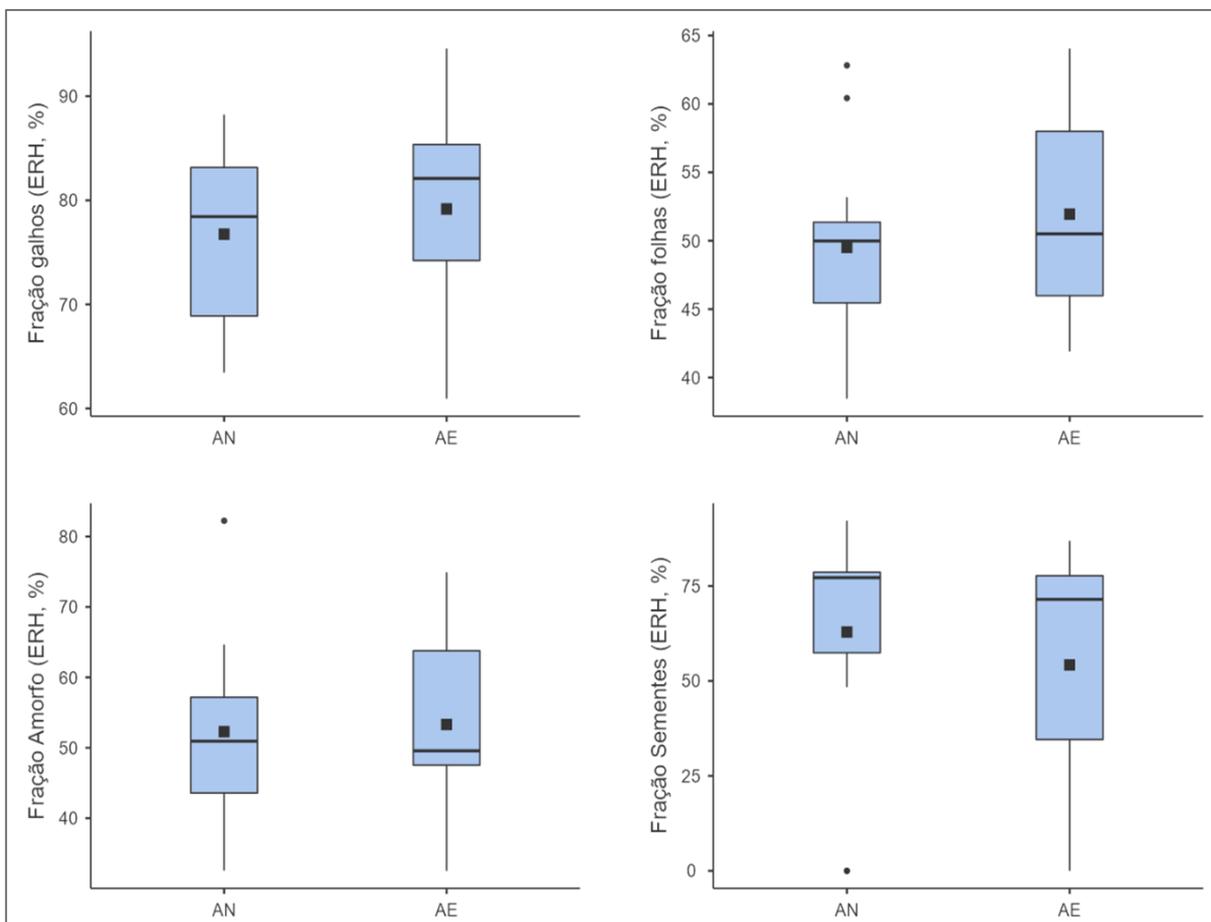


Fonte: o autor, 2021.

Os dados dos percentuais da ERHS (%) da serapilheira obtidos nas áreas de estudo apresentaram homogeneidade de variância (Teste Levene), distribuição normal (Teste Shapiro-Wilk) e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p$ -valor=0.739, teste T). Os valores da massa da serapilheira seco apresentou homogeneidade da variância e normalidade, já os valores da massa da serapilheira fresca e saturada apresentaram homogeneidade da variância, porém não apresentaram distribuição normal. No entanto, ambos os valores da serapilheira em seus diferentes estados (seco, fresco e saturado) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p$ -valor>0,05).

A efetiva capacidade em reter água obtido pela relação entre a massa da serapilheira no estado natural e saturado (ERH, %) das frações galhos, folhas, amorfo e sementes entre as áreas de estudo apresentou comportamento semelhante (figura 43). Os percentuais da efetiva capacidade de retenção de água entre as frações que constituem o estoque de serapilheira acumulada seguiram a mesma sequência em ambas as áreas, sendo observados ERH galhos > ERH sementes > ERH amorfo > ERH folhas).

**Figura 43** – Efetiva retenção hídrica [ERH, %] das frações da serapilheira galhos, folhas, amorfo e sementes acumulados nas áreas de estudo denominadas, área natural (NA) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

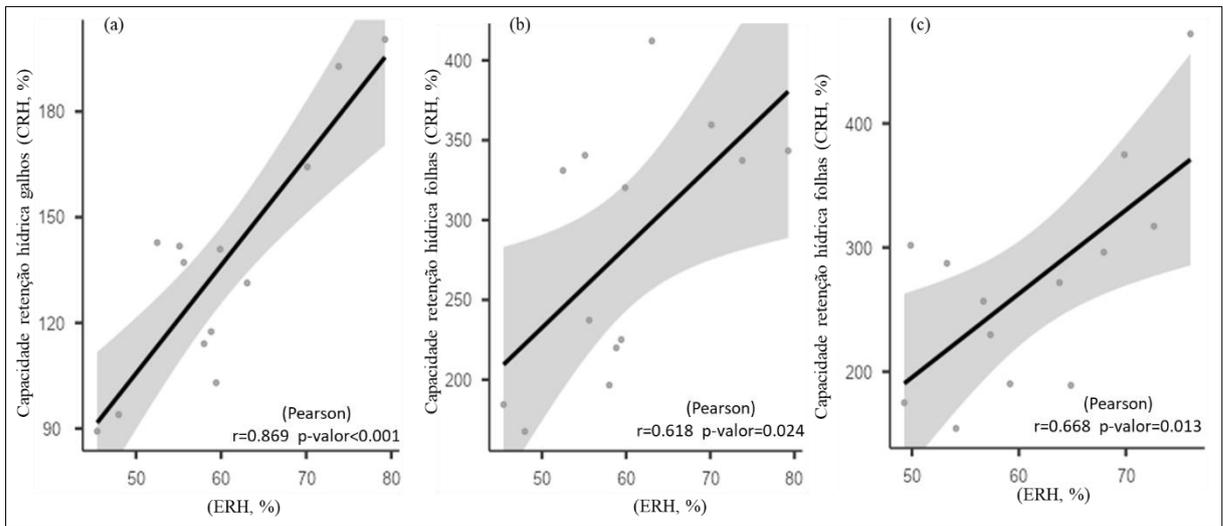


Fonte: o autor, 2021.

Não foram observadas correlações estatisticamente significativa entre o estoque da serapilheira acumulada nas áreas de estudo e os valores percentuais da retenção hídrica efetiva (ERH). No entanto, se observou correlações significativas entre a ERH e o estoque das frações galhos, folhas e amorfo em ambas as áreas, sendo as maiores correlações observadas em relação a fração galhos na AN que apresentou uma correlação do tipo muito forte e positiva ( $r=0,883$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ), enquanto na AE a maior correlação foi observada em relação a fração amorfo ( $r=0,815$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ), classificada como muito forte e positiva de acordo com a classificação de Evans (1996).

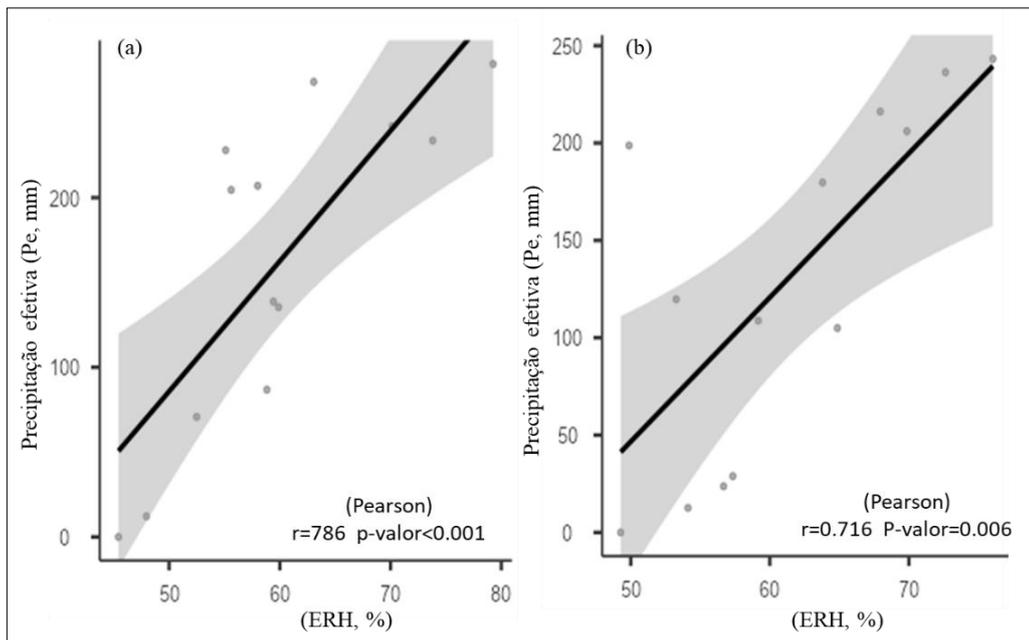
Diferenças estatisticamente significativas foram observadas em relação a CRH das frações galhos e folhas na AN (Figura 44 a e b) e com a CRH da fração folhas na AE ( $p\text{-valor}<0,05$ ) (figura 44 c). Correlações significativas também foram observadas entre a ERH com as variáveis hidrológicas (Pe) em ambas as áreas (figuras 45 a e b).

**Figura 44** - Correlação entre a capacidade efetiva de retenção hídrica da serapilheira (ERH, %) e as variáveis hidrológicas (a) capacidade de retenção hídrica da fração galhos e (b) da fração folhas observadas na área natural e entre a ERH com a CRH da fração folhas na área explorada.



Fonte: o autor, 2021.

**Figura 45** – Correlação entre a capacidade efetiva de retenção hídrica (ERH, %) e a precipitação efetiva (Pe, mm) observadas na (a) área natural e (b) na área explorada.



Fonte: o autor, 2021.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Dinâmica de acúmulo da Serapilheira

A ausência de diferenças significativas em relação ao estoque total da serapilheira acumulada entre as áreas indica que os ambientes apresentam variações fisionômicas pequenas mantendo aspectos funcionais similares.

A dinâmica de acúmulo do estoque de serapilheira observado nas áreas de estudo apresentaram comportamento semelhante à florestas tropicais que apresentam variações sazonais (RODRIGUES *et al.*, 2021), e a floresta tropical de transição onde os maiores acúmulos de serapilheira ocorreram entre os meses de janeiro e abril e os menores valores observados nos meses de agosto e setembro (fim do período seco e transição para o período chuvoso), e em Floresta Estacional Decidual, onde foram registradas as maiores deposições de serapilheira quando as precipitações foram mais elevadas (CUNHA, *et al.*, 1993; SANCHES *et al.*, 2009).

Os valores mínimos de estoque de serapilheira acumulados nas áreas de estudo estão de acordo com os valores obtidos para o bioma Amazônia (RODRIGUES, *et al.*, 2021) e muito próximos daqueles observados em uma região de transição entre floresta tropical úmida e o Cerrado (3,20 e 5,72 t.ha<sup>-1</sup>), e em florestas tropicais onde foram registrados acúmulos de 4,31 t.ha<sup>-1</sup> na estação úmida e 5,80 t.ha<sup>-1</sup> na estação seca, já os valores máximos obtidos nas áreas avaliadas pelo estudo serapilheira apresentaram média superior ao observado nestas florestas (WIEDER & WRIGHT, 1995; SANCHES, *et al.*, 2009).

Analisando a produção científica sobre o tema no Brasil, é possível observar que os valores máximos obtidos nas áreas de estudo são superiores aos maiores acúmulos de estoque de serapilheira atribuídos ao Cerrado (7,24 ± 1,98 Mg.ha<sup>-1</sup>) e a Caatinga (6,82 ± 4,49 Mg.ha<sup>-1</sup>) (RODRIGUES *et al.*, 2021), porém, estão muito próximos dos valores já encontrados para a região central da Amazônia que alcançaram acúmulos de 12,0 t.ha<sup>-1</sup> e 10,6 Mg.ha<sup>-1</sup> em áreas de florestas exploradas seletivamente na região sul da Amazônia (MARTIUS, *et al.*, 2004; ALMEIDA, *et al.*, 2015).

Considerando que o estoque de serapilheira acumulado no solo está diretamente relacionado com os padrões de produção desta serapilheira, é possível afirmar que os elevados valores de acúmulo observados nas áreas de estudo estão dentro dos padrões descritos para a Amazônia Ocidental que sugerem que nesta província fisiográfica a produção média é superior a 10,5 Mg.ha<sup>-1</sup> (BARLOW *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2009; OURIQUE *et al.*, 2016; FREIRE *et al.*, 2020).

A amplitude de variação em relação ao total de serapilheira acumulado em cada período de coleta pode estar relacionado à diferença na composição da estrutura da vegetação entre as áreas, pois o acúmulo de serapilheira é variável e depende de fatores relacionados à espécie, idade, sítio e disponibilidade de nutrientes no solo (SELLE, 2007; PAIVA, *et al.*, 2015), ou ainda a sazonalidade na deposição do material ao solo, que se relaciona diretamente com a produção da serapilheira, que são influenciados por diversos fatores, especialmente pelas condições edafoclimáticas, como a altitude, precipitação, temperatura, luminosidade, vento, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e outros (HOLANDA *et al.*, 2017).

Mesmo que a produção de serapilheira seja influenciada pelas taxas de precipitação (NETO, *et al.*, 2013), no presente estudo, os elevados valores do estoque de serapilheira acumulados nas áreas podem ser respondidos pela similaridade da estrutura da vegetação entre as áreas, que apresentam elevada densidade e diversidade de árvores, que são fatores que aumentam a produção de matéria orgânica e influenciam a queda e o acúmulo de serapilheira (BÓREM & RAMOS, 2002; CORREIRA & ANDRADE, 2008; MATEUS, *et al.*, 2013; ALMEIDA, *et al.*, 2015; PAIVA, *et al.*, 2015).

A manutenção da oferta elevada do estoque de serapilheira acumulado nas áreas indica que as florestas dessa região mantem a estabilidade frente as interações com as atividades antrópicas desenvolvidas na unidade, e a ausência de eventos extremos relacionados ao clima, pois esse é outro fator que permite que a floresta em regiões tropicais produza serapilheira durante todo o ano (SELLE, G. L., 2007).

As fracas correlações observadas em relação a sazonalidade do acúmulo do estoque de serapilheira e precipitação pode significar limitações dos dados e a influência de mecanismos biológicos que afetam essa sincronia (CHAVES *et al.*, 2019), pois globalmente os padrões sazonais da serapilheira são determinados tanto por mecanismos fisiológicos quanto pelas variáveis ambientais (ZHANG, *et al.*, 2014).

Porém, mesmo não sendo observada uma correlação estatisticamente significativa com a precipitação, observa-se que em ambas as áreas de estudo, o acúmulo do estoque de serapilheira mante uma dinâmica de interação com o regime pluviométrico da região, reforçando sua relação com a temperatura e chuvas (SETA, 2018).

## **4.2 Repartição da serapilheira**

A sequência de acúmulo do estoque das frações da serapilheira nas áreas analisadas neste estudo apresentou diferenças em relação a sequência observada em diferentes ecossistemas florestais em que a fração folhas foi predominante, representando mais de 60% da serapilheira total (FERNANDES, *et al.*, 2006; SOARES, *et al.*, 2008; CIANCIARUSO *et al.*, 2006; PAIVA *et al.*, 2016; SCHUMACHER *et al.*, 2013).

Os valores da composição das frações da serapilheira observados nas áreas avaliadas na Flona do Jamari, são diferentes dos percentuais observados em floresta tropical de transição onde se observou que a composição da serapilheira foi majoritariamente formada por folhas, seguida de galhos, raízes e miscelânea (frutos e flores) (SANCHES, *et al.*, (2009).

A predominância de acúmulo da fração galhos em relação a fração folhas observadas neste estudo também foi registrada em estudo que comparou o acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais no município de Além Paraíba/MG, que registrou um percentual de 55% da fração galhos e 45% da fração folhas na primeira coleta realizada na área de floresta secundária (CUNHA NETO, *et al.*, 2013).

Comportamento semelhante foi verificado em estudo que avaliou o estoque de biomassa em diferentes sítios florestais no sudoeste da Bahia, em que no fragmento de floresta nativa, a fração galhos representou 44,1% da serapilheira, a fração folhas representou 40,4%, cascas respondeu por 10,3%, estruturas reprodutivas por 3,5% e material amorfo representou 1,7% do total de serapilheira acumulado na floresta nativa (BARBOSA, *et al.*, 2017).

As diferenças em relação a predominância da fração galhos sob a fração folhas na composição da serapilheira observadas nas áreas avaliadas podem ser justificadas pelo fato de não ter sido realizada a separação e divisão desta fração em galhos finos e galhos grossos, sendo observado nas amostras ramos de diâmetro considerável, que possivelmente contribuíram para essa diferença. Pois a elevada contribuição de material lenhoso (galhos grosseiros) na composição da serapilheira aumenta o tempo médio de decomposição do material no solo, promovendo um maior acúmulo do mesmo (BALIEIRO, *et al.*, 2004).

Outro aspecto que pode ter influenciado o aumento da fração galhos no estoque de serapilheira acumulado nas áreas de estudo podem estar relacionado a idade do povoamento florestal, pois quanto mais velho for o povoamento, maior será a produção de galhos finos e grossos, com conseqüente diminuição da percentagem de folhas (REIS & BARROS, 1990; MISHRA *et al.*, 2004). Alterações no sub-bosque ocasionadas pela abertura de estradas para

extração de madeira e práticas madeireiras também podem afetar a proporção das frações da serapilheira (MELO *et al.*, 2013).

A elevada produção de galhos no período chuvoso do ano (outubro a abril) pode estar relacionada a maior ocorrência de ventanias e superior quantidade de água absorvida pelos vegetais neste período, resultando na elevação do peso e atrito da galhada, e conseqüente quebra (SILVA *et al.*, 2016). Já no período seco, a produção desta fração pode ocorrer devido ao secamento dos galhos pelo estresse hídrico ocasionados pelas altas temperaturas características deste período, aliada a ocorrência de ventos fortes (FREIRE *et al.*, 2020).

O maior acúmulo do estoque da fração folhas no período mais quente ou seco do ano, pode estar ligado ao comportamento das plantas, pois na Amazônia, a maior produção de serapilheira nos períodos mais quentes acontece pela renovação devido ao déficit hídrico (MARTINS, *et al.*, 2018) e está associada à uma estratégia ecofisiológica das plantas no controle hídrico, com fechamento dos estômatos e posterior abscisão foliar durante o período menos chuvoso, reduzindo a perda de água por transpiração em períodos de elevada radiação solar e baixa precipitação pluviométrica (SANCHES, *et al.*, 2008; MACHADO *et al.*, 2015) ou ainda a renovação das folhas pelas árvores afim de melhor utilizar a radiação fotossinteticamente ativa que é utilizada no processo de fotossíntese, mesmo com pouca água disponível no solo (KIM, *et al.*, 2012).

O comportamento observado entre as áreas em relação ao grande acúmulo de folhas, com máxima e mínima deposição nos períodos seco e chuvoso respectivamente, já foi observado na Amazônia (ALMEIDA *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2017).

A maior produção da fração folhas na AE pode indicar um maior stress hídrico das plantas dessa área, pois a variação do acúmulo de estoque entre as frações folhas-galhos e galhos-folhas observados entre os diferentes períodos (seco-transição-chuvoso) em ambas as áreas, pode estar relacionado a maior variação da temperatura e diferenças na umidade entre as áreas, que são aspectos associados a uma estratégia das plantas para controlar a perda de água (PEREIRA *et al.*, 2017).

Apesar de ser observado uma dinâmica de acúmulo semelhante das frações folhas-galhos entre as áreas, é possível observar que na AN os períodos de acúmulo destas frações, são melhor definidos e as diferenças menos pronunciadas.

Mesmo não sendo identificado diferenças significativas da fração amorfo entre as áreas, é possível perceber que na área natural a fração amorfo apresenta uma maior regularidade

no estoque acumulado entre os períodos de coleta, indicando um processo mais ativo de decomposição nesta área, que pode estar ligado a melhores condições (temperatura e umidade) proporcionando um microclima favorável à atuação dos organismos decompositores, pois de acordo com FREIRE *et al.*, (2020), a dinâmica de decomposição de serapilheira em ambientes amazônicos pode ser acelerada ou lenta, conforme determinados fatores ambientais, sendo a umidade um dos principais contribuintes. As significativas correlações obtidas entre a fração amorfo e a precipitação na área natural corroboram esta interação, fato não observado na AE.

No presente estudo a fração sementes foi observada em onze dos treze períodos de coleta na AN e em dez períodos na AE e sua presença contínua durante o período de monitoramento pode estar associada aos eventos de precipitação, que foram observados em todos os períodos de coleta, exceto no mês de julho.

De acordo com ALMEIDA, *et al.*, (2015) o maior incremento desta fração é observado no fim da estação seca e início da estação úmida, considerados os períodos mais propícios para germinação vegetal. Mesmo apresentando os menores volumes em relação as frações que compõem o estoque de serapilheira, esta fração “sementes” possui grande significado, pois normalmente sua ocorrência está relacionada às adaptações das plantas a sazonalidade climática da região.

#### **4.3 Capacidade de retenção hídrica da serapilheira**

A capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH) reflete a máxima condição que a serapilheira possui para absorver e reter umidade na superfície do solo. Essa capacidade está diretamente relacionada a sua composição, constituição e ao seu estado de decomposição (MELOS *et al.*, 2020).

A presença da serapilheira recobrando a superfície dos solos em ambientes florestais é considerada uma importante via de equilíbrio ecológico e dinâmico nestes ambientes (COSTA *et al.*, 2020), especialmente por sua contribuição em relação ao ciclo da água e de nutrientes.

A capacidade da serapilheira em reter umidade está diretamente relacionado com fenômenos, como absorção e adsorção, sendo o primeiro dependente dentre outros, da porosidade do material depositado, da velocidade de decomposição, da variação da precipitação e da temperatura do ambiente, enquanto a adsorção depende da área das folhas e sua estrutura,

forma e relevo, bem como da composição orgânica e da relação superfície/peso seco (VOIGT & WALSH, 1976).

As taxas percentuais da CRH do estoque da serapilheira obtidas no estudo não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as áreas, indicando a existência de semelhanças nos padrões de acúmulo de serapilheira e na dinâmica hidrológica das áreas.

Os percentuais da CRH do estoque de serapilheira acumulada na AN são muito próximos dos valores obtidos na serapilheira de florestas de carvalho no Tennessee, EUA onde foram registrados percentuais variando entre 200 e 250% (BLOW, 1955).

Percentuais semelhantes também foram encontrados em pastagem perturbada e abandonada (230%) e em fragmento florestal nativo, que registrou taxa de 206% (MATEUS *et al.*, 2013). Registros de taxas médias elevadas também foram observadas em floresta ombrófila Mista (200%) (MIRANDA, 1992), e em clones híbridos de *Eucalyptus* na Chapada dos Guimarães-MT, onde foi obtido valores médios de CRH de 249,58% (SANTOS, *et al.*, 2017).

As taxas obtidas na AE que apresentaram maior amplitude de variação e estão muitos próximos dos valores da CRH da serapilheira obtidos serapilheira em fragmentos florestais apresentando diferentes estágios de condução de regeneração natural na região de Brotas/SP, onde foram obtidos taxas variando entre 221,4 e 394% (PEREIRA, *et al.*, 2021), e em floresta latifoliada perene no Parque Nacional da Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, onde foram registradas taxas de retenção hídrica superior a 300% (VALLEJO, 1982).

Valores de CRH elevados também foram obtidos em espécies de híbridos de *Eucalyptus*, que mesmo com composição do material mais homogêneo em relação as florestas naturais, apresenta taxas de retenção semelhantes (MELOS *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017).

Nas áreas analisadas a fração da serapilheira que apresentou os maiores estoques de acúmulo foi a fração galhos, seguido da fração folhas e das frações amorfo e sementes. No entanto, em ambas as áreas, as maiores taxas de CRH foram observadas entre a fração amorfo.

Isso ocorre, pelo fato de a CRH não depender apenas da quantidade do material orgânico, mas também do grau de decomposição das suas frações (VALLEJO, 1982). As elevadas taxas de retenção hídrica observadas na fração amorfo se devem ao fato deste material possuir menor adesão superficial (SANTOS *et al.*, 2017; MATEUS, *et al.*, 2013), pois estoques de serapilheira que apresentem maior grau de decomposição, também apresentarão maior superfície específica, e conseqüentemente seu potencial de retenção hídrica será maior quando comparado a outras frações mais superficiais e menos decompostas (VALLEJO, 1982).

O comportamento em que a fração amorfo apresentou a maior CRH entre as frações da serapilheira foi observado por outros autores. Em estudo para avaliar a CRH das frações galhos, folhas e material amorfo na composição da serapilheira de clones de espécies de *Eucalyptus* plantados na Chapada dos Guimarães-MT, se observou que as maiores contribuições no estoque da serapilheira foram da fração folhas, no entanto as maiores taxas de CRH foram observadas na fração amorfo (134,06%) (SANTOS *et al.*, 2017)

O fato de a fração folhas apresentar menor taxa de CRH em relação a fração amorfo pode ser compreendido em função desta fração apresentar uma menor adesão superficial ou adsorção, que depende de aspectos relacionados a própria fração foliar como: área das folhas, estrutura, relevo, forma, relação superfície/peso e composição orgânica. (VOIGT & WALSH, 1976; MATEUS *et al.*, 2013). Já em relação a fração galhos que apresentou as menores taxas de retenção hídrica, isso ocorre devido à natureza do material lenhoso, que apresenta menor absorção de umidade (MONTEZUMA, 2005).

Mesmo sendo observadas taxas elevadas de CRH da serapilheira acumulada em ambas as áreas, é importante destacar que tais resultados foram obtidos em laboratório, representando uma retenção de água em condições ideais, não refletindo a capacidade real da serapilheira em reter água no campo (LI *et al.*, 2018).

A capacidade efetiva de retenção hídrica da serapilheira (ERH, %) que reflete a condição real da serapilheira em absorver e reter água em condição de campo apresentaram índices inferiores a CRH da serapilheira obtida em laboratório. Comportamento semelhante foi observado em estudo que avaliou a CRH da serapilheira entre fragmentos florestais em diferentes estágios de sucessão florestal no Cerrado (PEREIRA *et al.*, 2021), que atribuíram essa diferença às interações entre a serapilheira com fatores ambientais, como radiação, umidade e vento.

Essas interações desempenham papel importante nos ecossistemas e nos ciclos da água, pois afetam fortemente as taxas de evapotranspiração. Diversos estudos mostram que a evapotranspiração é afetada pela variação da temperatura que ocasiona um aumento na demanda de evaporação (TONELLO, TEIXEIRA FILHO, 2011; ANDERSON *et al.*, 2017; GAERTNER *et al.*, 2019).

A maior ERH identificada na fração galhos em ambas as áreas podem ser atribuída ao maior estoque acumulado dessa fração observada nas áreas. O maior teor de umidade observado nesta fração no estado natural (massa fresca) indica que em condições de campo a fração galhos

apresenta uma eficiente capacidade de retenção de água. As correlações observadas entre a umidade da fração galhos e sua ERH corroboram essa afirmação.

Porém, estudos para investigar o comportamento da serapilheira e suas frações em condições de campo afim de determinar sua efetiva capacidade em reter água são necessárias, especialmente em ambientes complexos e importantes, que vem sofrendo alterações aceleradas, como ocorre no Bioma Amazônico.

Embora existam estudos da produção de serapilheira em diferentes ambientes, não há conhecimento da capacidade de retenção de água da serapilheira em ecossistemas em condições de campo (PEREIRA, *et al.*, 2021). Pesquisas sobre as funções hidrológicas da serapilheira no balanço hídrico dos ecossistemas florestais são extremamente importantes (SUN *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2018).

## 5 CONCLUSÃO

O estoque total da serapilheira acumulada foi semelhante entre as áreas de estudo. O estoque das frações que compõem a serapilheira também não diferiu entre as áreas. Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre as frações da serapilheira dentro de cada área.

A sequência das contribuições das frações da serapilheira na composição do estoque total de serapilheira acumulada nas áreas de estudo em ordem decrescente foi a seguinte: galhos>folhas>amorfo>sementes.

A capacidade de retenção hídrica média das frações da serapilheira contribuiu de maneira efetiva para a capacidade de retenção hídrica do estoque total da serapilheira acumulada nas áreas de estudos.

A sequência das contribuições da capacidade de retenção hídrica das frações da serapilheira na composição da capacidade de retenção hídrica do estoque de serapilheira acumulada nas áreas de estudo obtidas em condições de laboratório foi a seguinte: CRH amorfo>CRH folhas>CRH sementes >CRH galhos.

A sequência das contribuições da capacidade efetiva de retenção hídrica da serapilheira (ERH) refletindo as condições de campo foi a seguinte: ERH galhos> ERH sementes> ERH amorfo> ERH folhas).

Nossa pesquisa ajuda a entender o processo hidrológico do sub-bosque nas áreas de floresta investigadas e fornece uma base científica para o manejo florestal sustentável.

## 6 REFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. Geomorfologia, São Paulo, n. 52, p. 1-22, 1977. [Republicado em Vegetália, São José do Rio Preto, SP, n. 15, p. 1-20, 1980]

AB’SÁBER, A. N. Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, E. J., LUIZAO, F., RODRIGUES, D.J. Produção de serapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. Acta Amazonica, Manaus, v. 45, n. 2, p. 157-166, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201402543>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Koppen’s climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

AMATA. **Plano de manejo florestal sustentável categoria de PMFS**: pleno. 142p. 2009. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes/92-concessoes-florestais/florestas-sob-concessao/301-amata-s-a-execucao-financeira-e-tecnica-da-concessaojamari-umf-iii>>. Acesso em: 20 out. de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Brasília: ANA, 2017. Catálogo de Meta Dados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>. Acesso em: 04 jun. 2022.

BALIEIRO, F. D. C. *et al.* Avaliação de um coletor de água de escoamento pelo tronco. Revista Árvore, v. 25, n. 2, p. 1-7, 2001

BALIEIRO, F. C.; DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acácia mangium* Willd. Ciência Florestal, Santa Maria, 2004, v. 14, n. 1, p. 59-65. ISSN 0103-9954

BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; PAULA, A. Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 1-9, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.024315>

BESSI, D., DIAS, H.C.T., TONELLO, K.C. **Rainfall partitioning in fragments of cerrado vegetation at different stages of conduction of natural regeneration.** *Rev Árvore* 42:1–11. 2018a. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200015>

BLOW F.E. Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in Eastern Tennessee. *Journal of Forestry* 1955; 53: 190-195.

BORÉM, R..A.T; RAMOS, D. P. Variação sazonal e topográfica dos teores de nutrientes da serapilheira de um fragmento de mata atlântica. *Cerne* , v. 8, n. 2, pág. 042-059, 2002.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000** . Regulamento o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRASIL. **Instrução Normativa 5 de 11 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de planos de manejo florestal sustentável-pmfss nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia legal, e dá outras providências. MMA. Brasília, 13 dez. 2006 Seção 1, página 155.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nº 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 mar. 2006. Seção 1, p. 1-9.

CASTILLO, V. M., GÓMEZ-PLAZA, A., & MARTÍNEZ-MENA, M. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments. *Journal of Hydrology*, 2003. 284, 114-130.

CHAVES, R.S. S.; MIRANDA, V.M. Emergência do banco de sementes e estoque de serapilheira em floresta secundária no município de Castanhal, Pará. 2019. [bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1802](http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1802)

CIANCIARUSO, Marcus Vinicius et al. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* , v. 20, p. 49-59, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100006>

CLIMATE-DATA. Clima: Itapuã do Oeste. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/312427/> Acesso em: 20 de outubro 2021.

COSTA C.C.A. , CAMACHO R.G.V., MACEDO I.D., SILVA P.C.M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na

Flona de Açú - RN. Revista *Árvore* 2010; 2(34): 259-265. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200008>.

CUI, Y., & JIA, L. Um modelo de Gash modificado para estimar a perda de interceptação de chuva de floresta usando observações de sensoriamento remoto em escala regional. *Água*. 2014, 6, pág. 993-1012.

CUNHA NETO, F. V. *et al.* **ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM QUATRO FORMAÇÕES FLORESTAIS.** *Ciênc. Florest.* [online]. 2013, vol.23, n.3, pp.379-387. ISSN 1980-5098. <https://doi.org/10.5902/1980509810549>.

ÇAKIR, M.; AKBURAK, S. Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, v. 67, n. 2, p. 178-203, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.17099/jffiu.301602>

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B.; HOFER, H. (2012). Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. *Cerne*, 18, 75-86.

DUNKERLEY, D. Percolation through leaf litter: What happens during rainfall events of varying intensity? *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 525, 737-746, 2015.

EVANS, J.D. 1996. *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Brooks/Cole Publishing; Pacific Grove, Calif.: 1996.

FERNANDES, M.M. *et al.* Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, v. 16, p. 163-175, 2006. <https://doi.org/10.5902/198050981897>

FREIRE, G. A. P. *et al.* Dinâmica de serapilheira em uma área de floresta de terra firme, Amazônia Ocidental. *Nativa*, 2020, 8(3), 323-328. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.9155>

FRIESEN, J. Flow Pathways of Throughfall and Stemflow Through the Subsurface. In: Van Stan, II J., Gutmann E., Friesen J. (eds) *Precipitation Partitioning by Vegetation: A Global Synthesis*. Springer, Cham. Edition number 1. Number of pages: 281, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29702-2_13)

GAMA, M.J. Clima. In: *Atlas geoambiental de Rondônia*. Porto Velho, SEDAM, 2002.

GAERTNER B.A. *et al.* Climate, forest growing season, and evapotranspiration changes in the central Appalachian mountains, USA. *Sci Total Environ* 2019, 650:1371–1381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.129>

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F.; GAIA-GOMES, J. H. Deposição de serapilheira e carbono em plantios de Sabiá, Andiroba e floresta secundária. *Floresta*. 47, 187-196, 2017.

HOLANDA, A. C. et al. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em uma Área de Catinga. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 621-633, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827747>

HORTON, R. E. Rainfall interception. *Monthly weather review* vol. 47, No. 9. . SEPTEMBER, 1919. Acesso em 24/03/2021. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1919\)47<603:RI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1919)47<603:RI>2.0.CO;2)

ILEK, A., KUCZA K., MORKISZ, K. **Hydrological properties of bark of selected forest tree species. Part 2: Interspecific variability of bark water storage capacity.** *Folia Forestalia Polonica, series A – Forestry*, (2017), Vol. 59 (2), 110–122. DOI: 10.1515/ffp-2017-0011

KIM, Y. *et al.* Seasonal carbon dynamics and water fluxes in an Amazon rainforest. *Global change biology*, v. 18, n. 4, p. 01-11, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02629.x>

LI W, LI Y, LONG M, LI X. Study on water-holding properties of litters in different types of forests of Yuntaishan Mountain area in Shibing County, Guizhou Province. 2018. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/394/2/022057>

MMA/IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Brasília-DF, 2005.

MARTINS, W. B. R.; FERREIRA, G. C.; SOUZA, F. P.; DIONÍSIO, L. F. S.; OLIVEIRA, F. A. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. *Floresta*, v. 48, n. 1, p. 37-48, 2018a. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V48I1.49288>

MARTIUS, C. *et al.* Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 68(2):137-154. 2004. DOI: [10.1023/B:FRES.0000017468.76807.50](https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000017468.76807.50)

MATEUS, F. A., MIRANDA, C. C., VALCARCEL, R., & FIGUEIREDO, P. H. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. *Floresta e Ambiente*. 2013.

OURIQUE, L. K.; SILVA, R. O.; SOUZA, C. A. S.; NOGUCHI, H.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Relação da produção de serapilheira com incremento em diâmetro de uma floresta madura na Amazônia Central. *Scientia Florestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 112, p. 875-886, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n112.09>

PAIVA, A.O., SILVA, L.C.R. & HARIDASAN, M. Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest-savanna transitions: linking plant and soil processes through litter input and composition. *Plant Ecol* **216**, 775–787 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0466-8>

PEREIRA, L.C., BALBINOT, L., LIMA, M.T. *et al.* Aspects of forest restoration and hydrology: the hydrological function of litter. *J. For. Res.* **33**, 543–552 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01365-1>

PEREIRA, P. N.; MARTINS, W. B. R. ANDRADE, V. M. S.; OLIVEIRA, F. A. Influência da remoção de serapilheira no teor de fósforo e potássio na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 2017. v. 12, n. 3, p. 380-385. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5458>

PINTO, W. J.; NEGREIROS, A. B. DE A. A Serapilheira como bioindicador de qualidade ambiental em fragmentos de *Eucalyptus*. *Revista Continentes*, 12, 2018.

PLANAFLORO. Zoneamento Socioeconômico e ecológico do Estado de Rondônia. Porto Velho, 2000.

SFB/MAPA. Especial: Concessões Florestais. O Manejo florestal sustentável protege as florestas. Brasília, 17 de julho de 2020. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/ultimas-noticias/1913-o-manejo-florestal-sustentavel-protege-as-florestas>

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serapilheira em floresta tropical de transição. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 183–189, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200012>

SANTOS, Anne Francis Agostini *et al.* . Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. *Floresta Ambient.*, Seropédica , v. 24, e20150303, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.030315>.

SAYER, E. J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*. Volume81, Issue1 February 2006 Pages 1-31. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006846>

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. A floresta e a água. Vol 2. Porto Alegre: AFUBRA, 1998. 70p.

SELLE, G. G., 2007. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, Oct./Dec. 2007. ISSN 1981-3163

SETA, T.; DEMISSEW, S.; ZERIHUN, W. Dinâmica de serrapilheira na floresta de Boter-Becho: florestas de montanha sempre verdes úmidas do sudoeste da Etiópia. *J Ecol Nat Environ*. 2018;10(1):13–21. <https://doi.org/10.5897/JENE2017.0648>

SILVA, H. F.; BARRETO, A. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. B. Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 164-172, 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2818>

TONELLO K.C, TEIXEIRA FILHO J. Environmental variables effects in ecophysiological behavior of two clones of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*: Field conditions. 2011. *Sci for* 39:419–431

VALLEJO, L.R. A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais. Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, 1982.

WANG, C., ZHAO, C. Y., XU, Z. L., WANG, Y., & PENG, H. H. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*, 5, 207–219. 2013. <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0151-5>

WIEDER, K.; WRIGHT, J. S. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado island, Panama. *Ecology*, v.76, n.6, p.1971-1979, 1995.

VOIGT V.P.J., WALSH R.P.D. Hidrologische prozesse in bodenstreu. *Schriften Des Naturwissenschaftlichen Vereins Fur Schleswig-Holstei* , 1976. 46:35–54

ZAGYVAI-KISS A. K., KALICZ P., SZILÁGYI J., GRIBOVSKYI, Z. On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 278, 2019, 107656, ISSN 0168-1923, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107656>.

ZHOU *et al.*. Comparing the Water-holding Characteristics of Broadleaved, Coniferous, and Mixed Forest Litter Layers in a Karst Region. *Mountain Research and Development*, v. 38, n. 3, pages 220-229, (1 de agosto de 2018). <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00002.1>

ZHANG, H.; YUAN, W.; DONG, W.; LIU, S. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, v.20, p.240-247, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.01.003>

## 7 APÊNDICE

**Apêndice A 3** - Estatística descritiva dos parâmetros hidrológicos Pa, Pi e Et obtidos nas áreas de monitoramento denominadas de área natural (AN) e área explorada (AE) na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Medidas	Pa		Pi		Pe		Et	
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	324,8	267,5	242,7	225,9	278,8	243,2	36,1	20,8
Média	143,7	136,3	146,5	122,4	162,0	129,2	15,5	6,8
Dp (mm)	110,1	102,7	85,2	84,9	95,1	90,3	10,7	6,1
CV (%)	76,6	75,4	58,2	69,3	58,7	69,9	69,4	90,0

Fonte: o autor, 2021. Onde precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), precipitação efetiva (Pe) e escoamento pelo tronco (Et) expressos em mm.

**Apêndice A 4** - Estatística descritiva das frações da serapilheira e o total acumulado nas áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Medidas	Frações da serapilheira								Serapilheira total	
	Galhos		Folhas		Amorfo		Sementes		AN	AE
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE		
<b>Mínimo</b>	1,65	1,72	0,75	1,25	0,33	0,36	0,00	0,00	3,77	4,89
<b>Máximo</b>	4,43	4,64	5,49	6,63	2,57	3,50	0,93	0,56	12,20	13,32
<b>Média</b>	3,10	2,90	2,59	2,88	1,51	1,49	0,22	0,17	7,42	7,44
<b>Dp</b>	1,12	1,05	1,49	1,47	0,70	0,76	0,25	0,19	2,25	2,49
<b>Cv (%)</b>	36,1	36,3	57,5	50,9	46,5	51,1	112,8	116,6	30,4	33,5

Fonte: o autor, 2021.

**Apêndice A 5** - Tabela com a massa média (Mg.ha<sup>-1</sup>) das frações da serapilheira e o estoque total de serapilheira acumulada em cada período de coleta, nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Meses	Frações da serapilheira (Mg. ha <sup>-1</sup> )								Serapilheira total (Mg. ha <sup>-1</sup> )	
	Folha		Galho		Amorfo		Sementes		AN	AE
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE		
out/19	5,49	6,63	4,38	4,64	2,06	1,99	0,27	0,06	12,2	13,3
nov/19	3,54	3,90	4,42	3,82	1,97	3,50	0,43	0,09	10,4	11,3
dez/19	1,32	1,80	3,63	2,12	2,57	1,88	0,25	0,07	7,8	5,9
jan/20	1,79	3,20	4,19	3,22	2,22	1,57	0,15	0,53	8,3	8,5
fev/20	2,04	1,70	4,43	2,96	2,24	1,59	0,28	0,30	9,0	6,6
mar/20	1,14	1,59	4,15	4,44	2,00	1,36	0,09	0,56	7,4	8,0
abr/20	0,75	1,25	2,35	2,58	1,42	0,96	0,13	0,10	4,6	4,9
mai/20	1,04	1,49	1,65	2,01	0,95	1,53	0,12	0,24	3,8	5,3
jun/20	1,66	2,64	2,40	1,79	0,98	1,50	0,93	0,02	6,0	5,9
jul/20	3,91	3,70	2,69	4,10	0,89	0,86	0,00	0,00	7,5	8,7
ago/20	4,36	3,79	1,66	1,72	0,33	0,36	0,02	0,00	6,4	5,9
set/20	3,50	3,19	1,99	1,75	0,73	0,74	0,00	0,18	6,2	5,9
out/20	3,08	2,53	2,32	2,61	1,31	1,58	0,18	0,00	6,9	6,7
<b>Total</b>	33,62	37,41	40,26	37,76	19,67	19,42	2,85	2,15	96,4	96,7
<b>Mínimo</b>	0,75	1,25	1,65	1,72	0,33	0,36	0,00	0,00	3,8	4,9
<b>Máximo</b>	5,49	6,63	4,43	4,64	2,57	3,50	0,93	0,56	12,2	13,3
<b>Média</b>	2,59	2,88	3,10	2,90	1,51	1,49	0,22	0,17	7,4	7,4

<b>Dp</b>	1,49	1,47	1,12	1,05	0,70	0,76	0,25	0,19	2,3	2,5
<b>Cv (%)</b>	57,5	50,9	36,0	36,3	46,5	51,1	112,8	116,6	30,4	33,5

Fonte: o autor, 2021.

**Apêndice A 6** - Estatística descritiva da capacidade de retenção hídrica (CRH) da serapilheira e das frações que compõem o estoque de serapilheira acumulado nas áreas de estudo denominadas área natural e área explorada inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Meses	Capacidade de retenção hídrica (%)									
	Serapilheira total		Galhos		Folhas		Amorfo		Sementes	
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE
<b>Mínimo</b>	153,0	140,4	89,2	82,5	167,6	154,3	205,7	191,4	53,2	94,4
<b>Máximo</b>	270,6	332,2	200,5	217,5	412,2	472,1	400,6	425,4	374,8	408,8
<b>Média</b>	220,4	224,1	136,1	145,8	282,7	270,5	320,2	309,4	222,4	213,2
<b>Dp</b>	43,7	58,7	34,4	43,3	79,6	88,1	65,9	67,8	99,7	99,5
<b>CV (%)</b>	19,8%	26,2%	25,3%	29,7%	28,2%	32,6%	20,6%	21,9%	44,8%	46,7%

Fonte: o autor, 2021.

## CAPÍTULO III – SOLO: COMPORTAMENTO E INTERAÇÕES

### RESUMO

O solo é reconhecido por sua capacidade de armazenar água, e apesar dos muitos estudos sobre as relações entre a floresta e a água muitas dúvidas ainda permanecem. Uma delas está relacionada à influência da composição das espécies nesta capacidade de armazenamento de água, principalmente nos horizontes superficiais, cujas propriedades físicas e químicas são afetadas pela própria floresta. Neste sentido, o estudo das propriedades físicas do solo tornam-se aliadas para uma avaliação sobre o grau de compactação do solo e sua influência no seu comportamento hidrológico de solos. Portanto, estudo teve como objetivo caracterizar os principais atributos do solo e sua dinâmica hidrológica em floresta primária e em floresta exploradas por meio de práticas de Manejo Florestal Sustentável, na Floresta Amazônica. O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), Rondônia, Amazônia Ocidental brasileira onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila aberta, clima do tipo Aw-Tropical Chuvoso, quente e úmido com dois períodos distintos: chuvoso (outubro a abril) e seco (maio a setembro). Foram selecionadas duas áreas: uma com floresta preservada (AN) e outra explorada (AE) nas quais foram instaladas 3 parcelas (P1, P2 e P3) medindo 20 m x 20 m, que foram monitoradas mensalmente entre outubro/2019 e outubro/2020, para a obtenção de informações necessárias para caracterizar a estrutura da vegetação, a distribuição da água da chuva, o estoque de serapilheira acumulada e interpretar o comportamento dos principais atributos físicos do solo. Amostras deformadas e indeformadas dos solos das áreas de estudo foram coletadas mensalmente na profundidade de 0-20 cm e analisadas para determinar o teor de matéria orgânica (MO), a umidade gravimétrica do solo (Us), a densidade aparente (Ds) e a densidade de partículas (Dp) do solo, sua granulometria e textura, e a porosidade total (PT). A resistência do solo à penetração (RMP) foi obtido por meio de um penetrômetro digital automatizado (Falker). Os resultados indicaram que em relação a textura, os solos possuem características de solos arenosos, sendo observada diferença significativa das frações areia e argila entre os solos das áreas. A Us da AN apresentou taxas superiores em relação a AE, no entanto não foram significativas, fato observado em relação as demais propriedades e atributos do solo investigados no estudo. O comportamento da umidade do solo refletiu a sazonalidade climática da região com índices máximo e mínimo observados no período chuvoso e seco em ambas as áreas. A Ds apresentou correlação negativa com a Pt e com a RSP que apresentou este mesmo tipo de correlação com a Us. Os menores valores da RSP foram observados nas camadas superficiais (0-15 cm) no período chuvoso, já os maiores valores foram observados na estação seca (30-35 cm) na AN e (45-50) cm na AE. A Us, a Ds, a Pt e RSP apresentaram correlações significativas com as variáveis hidrológicas Pe e CRH da serapilheira em ambas as áreas. Os resultados indicam que as diferenças na textura dos solos das áreas contribuíram para a variação da umidade dos solos, sendo esta favorecida pela capacidade de retenção hídrica do estoque de serapilheira acumulada. A maior presença de MO e umidade nas camadas superficiais do solo influenciaram os valores de Ds e da RSP nesta camada. Os resultados indicam que não foram observadas alterações nas propriedades físicas do solo diretamente influenciadas pelas atividades desenvolvidas pelo MFS nas áreas, porém, a diferença na densidade de indivíduos entre as áreas pode ter contribuído para o incremento da Pe observado na AN alterando a distribuição da água no ambiente e condicionando o comportamento hidrológico do solo.

Palavras-chave: Floresta e água; Dinâmica hidrológica; Atributos do solo.

## ABSTRACT

Soil is recognized for its ability to store water, despite this, doubts remain about the influence of species composition on water storage capacity, especially in the surface horizons of the soil. Thus, the evaluation of soil's properties is essential to determine its degree of compaction and its influence on the hydrological behavior of soils. Therefore, we seek to characterize the physical soil's attributes and the hydrological dynamics in the primary and exploited forest under sustainable management forest. The study was carried out in the Jamari National Forest (Flona do Jamari), Rondônia, a vital reserve in the western Brazilian Amazon. For this, two areas were selected: the first represented preserved forest and the second explorer forest and monitored monthly between October/2019 and October/2020 through six plots (measuring 20m x 20m each) to obtain information about vegetation structure, distribution of rainwater, accumulated litter stock, and the physical soil's attributes. Deformed and not deformed soil samples were collected at a 0-20cm depth to determine the organic matter content, gravimetric soil moisture, apparent density, particle density, granulometry, texture, and total porosity. We use an automated digital penetrometer (Falkner) to determine the soil resistance. The results indicate that the areas have characteristics of sandy soil, with a significant difference between them. Despite high values of gravimetric moisture presented in the exploited forest, these were not significant, a fact observed in other properties and attributes of the study. The areas reflect the region's seasonality, with meteorological maximum and minimum values in the rainy and dry seasons, respectively. A negative correlation was observed between particle density, soil porosity, and soil penetration resistance and between this and soil gravimetric moisture. Soil resistance to penetration was lower in the surface layers (0-15cm) in the rainy season, while the highest values were observed in the dry season (Primary Forest = 30-35cm; Exploited Forest = 45-50cm). Except for organic matter, the other soil properties showed significant correlations with the litter hydrological variables in both areas. The results indicate that differences in soil texture in the areas contributed to the variation of soil, which was favored by the water retention capacity of the accumulated litter stock. The presence of organic matter and moisture in the surface layers of the soil influenced the values of apparent density and soil penetration resistance. No changes were observed in the physical properties of the soil directly related to forest exploitation. Nevertheless, the density of individuals contributed to the increase of effective precipitation in the exploited forest, altering the distribution of water in the environment and conditioning the hydrological behavior of the soil.

**Keywords:** Forest and water; Hydrological dynamics; Soil attributes.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo pode ser considerado um ecossistema onde se desenvolvem processos importantes para a manutenção da vida, mas também é reconhecido por sua capacidade de armazenar água, que, juntamente com os aquíferos, são responsáveis pelo armazenamento de mais da metade da água da superfície terrestre. Esta essencial característica é afetada principalmente por sua textura e tipo de argila, o teor e o tipo de matéria orgânica e a estrutura do solo (MOREIRA *et al.*, 2013).

As condições físicas do solo alteram diretamente e indiretamente a produção vegetal e a qualidade ambiental do solo (SILVEIRA *et al.*, 2010). As propriedades físicas do solo são de importância fundamental para sua caracterização, visto que o conhecimento de seus parâmetros permite o entendimento do seu comportamento em relação aos diversos fatores que atuam sobre o solo. Essas propriedades físicas irão determinar as condições de disponibilidade de água, aeração, infiltração e capacidade produtiva do ecossistema (BOGNOLA *et al.*, 2010).

O teor de água no solo é uma variável chave para processos biogeoquímicos e atmosféricos acoplados. Sua heterogeneidade em pequena escala impacta a partição da precipitação, desencadeando processos específicos conectando caminhos de fluxo (METZGER, 2017). A umidade do solo influencia diversos processos no solo e na planta, como o movimento de água, a compactação e a aeração dos solos e o desenvolvimento radicular das plantas (TIMM *et al.*, (2006), influencia na atividade biológica do solo e a decomposição da matéria orgânica (Souza *et al.*, 2017), sendo sua movimentação no perfil do solo controlada diretamente pelas características da textura e estrutura, pois determinam a quantidade e disposição dos poros (SANTOS e PEREIRA, 2013).

Apesar dos muitos estudos sobre as relações entre a floresta e a água, em função do papel extremamente importante desempenhado pela vegetação, muitas dúvidas ainda permanecem. Uma delas está relacionado à influência da composição das espécies na capacidade de armazenamento de água dos solos (ILEK, KUCZA, SZOSTEK, 2017), principalmente nos horizontes superficiais, cujas propriedades físicas e químicas são afetadas pela própria floresta (CUNHA *et al.*, 2013; ILEK, KUCZA, SZOSTEK, 2017).

As árvores exercem importante papel sobre os sistemas em que estão inseridas. Sob a floresta essas propriedades do solo são influenciadas principalmente pela vegetação associadas a serapilheira, atividades da raiz e microclima (TSUI *et al.*, 2004; KARA & BOLAT, 2008),

sendo observado em ambientes naturais, uma integração direta entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SILVA JUNIOR *et al.*, 2012).

Durante seu crescimento e desenvolvimento, a vegetação fornece ao solo matéria orgânica, via deposição de serapilheira e renovação do sistema radicular, influenciando na ciclagem de nutrientes, na fertilidade do solo e nos seus atributos físicos, tais como a densidade, porosidade, aeração, capacidade de infiltração e retenção de água, bem como a formação e estabilização dos agregados (CUNHA *et al.*, 2013).

Com base nisso, o solo e a vegetação são fundamentais para definir a qualidade da água em uma reserva natural, sendo necessários reduzir os desmatamentos e garantir sua capacidade de resiliência por meio de planos de manejo florestal sustentável (RAMOS *et al.*, 2018), visto que mudanças de uso e manejo do solo vem ocorrendo de forma dinâmica e intensa, sobretudo na região Amazônica (SANTOS *et al.*, 2018), ocasionando modificações de sistemas hidrológicos, pois o uso e o manejo do solo quando não planejados adequadamente podem causar graves danos à qualidade física dos solos (BRITO *et al.*, 2018), uma vez que a remoção total ou parcial da vegetação influencia a disponibilidade hídrica e modificam o comportamento hidrológico (ARAÚJO NETO *et al.*, 2013).

A erosão e a compactação do solo e a exaustão dos nutrientes estão entre os impactos mais óbvios do desmatamento, porém, a floresta Amazônica fornece serviços que excedem o valor econômico pelos quais ninguém paga nada, que incluem o armazenamento de carbono, a manutenção da biodiversidade e a ciclagem de água (FEARNSIDE, 2020). Portanto, monitorar estas alterações através do conhecimento prévio do efeito destas variações na dinâmica hídrica dos solos nestes ambientes tornam-se importantes ferramentas para prever, mitigar e/ou eliminar atividades e intervenções que possam ocasionar impactos negativos (CORREA, 2018).

Uma das alternativas para avaliar os níveis de alteração do solo, pode ser realizado comparando áreas que já sofreram algum tipo de alteração, com áreas de floresta que mantém seu estado natural, sem atividade antrópica (CALGARO *et al.*, 2015), com a qualidade e as propriedades físicas de outros ecossistemas (ANDREOLA *et al.*, 2000). Pois, os ambientes naturais apresentam integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e as propriedades físicas do solo, em função dos processos essenciais de ciclagem de nutrientes, do acúmulo e decomposição da matéria orgânica (CARDOSO *et al.*, 2011).

Assim, o estudo das propriedades físicas do solo são aliadas para uma avaliação sobre o grau de compactação do solo e sua influência no seu comportamento hidrológico (ARAÚJO, *et al.*, 2010), pois conhecer os atributos físicos, químicos e biológicos do solo são fundamentais

e servem como indicadores da qualidade do solo e do ambiente (STEFANOSKI *et al.*, 2013). A umidade e a densidade dos solos são atributos físicos importantes para serem utilizados como indicadores da qualidade dos solos (MELLONO *et al.*, 2008; DA SILVA *et al.*, 2011; STEFANOSKI *et al.*, 2013). A resistência do solo a penetração geralmente é dependente da densidade do solo, da textura e do conteúdo de água (FERRAZ *et al.*, 2013), já a porosidade dos solos é diretamente influenciada pela presença de resíduos no solo, que aliado a intensa atividade biológica auxiliam na estruturação do solo e na estabilidade dos agregados, resultando na melhoria da aeração do solo e na infiltração de água (CUNHA *et al.*, 2011).

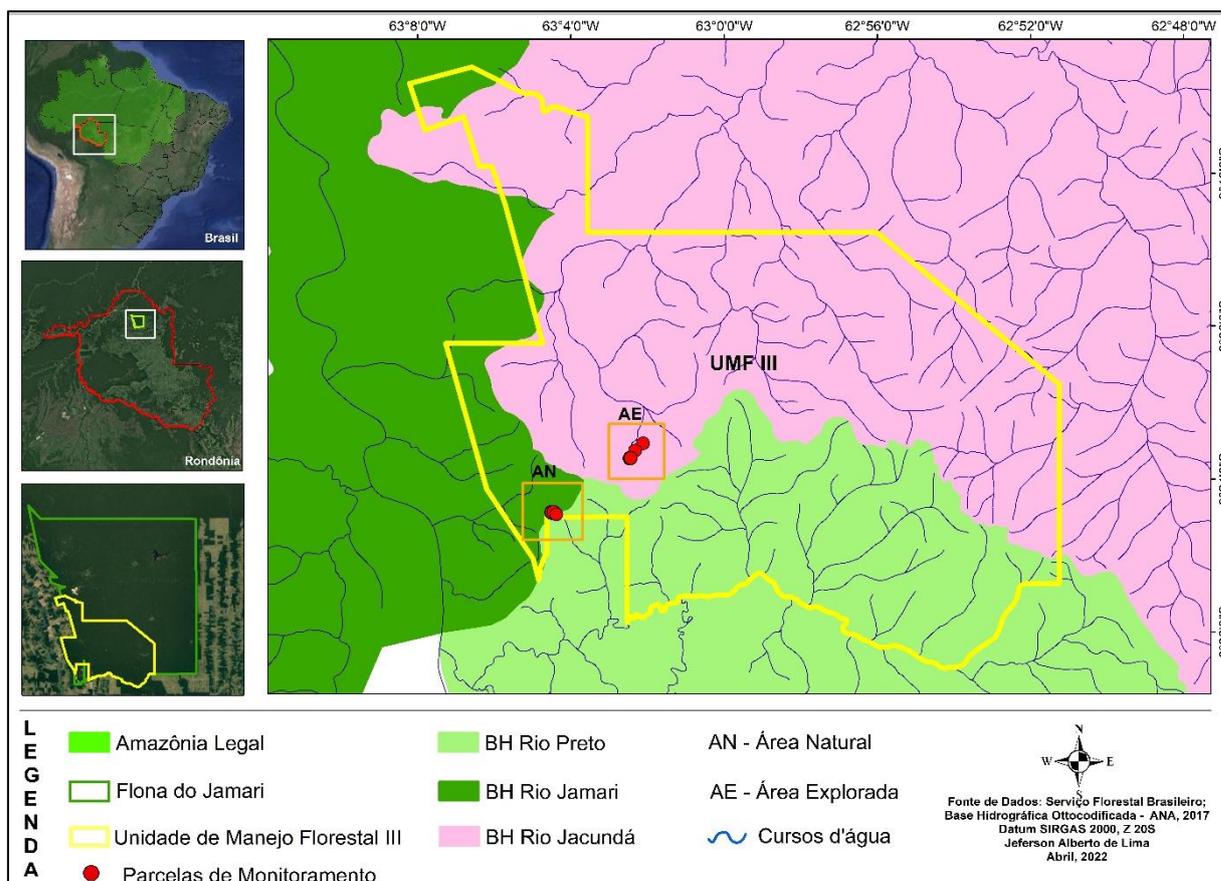
Desta forma, o capítulo III – Solo: comportamento e interações, teve como objetivo: Caracterizar os principais atributos do solo e sua dinâmica hidrológica em floresta primária e em floresta exploradas por meio de práticas de Manejo Florestal Sustentável, na Floresta Amazônica. Esse estudo busca comprovar a seguinte hipótese: as atividades de exploração desenvolvidas pela prática do Manejo Florestal Sustentável alteram as características físicas do solo e as interações nos distintos compartimentos no interior da floresta, modificando-os e influenciando significativamente o comportamento hidrológico dos solos das áreas exploradas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Jamari (Flona do Jamari), reserva de uso sustentável com 222,1 mil hectares localizada na porção ocidental da Amazônia brasileira, inserida na bacia hidrográfica dos rios Jacundá que cobre 82,8% da área, rio Jamari (9,06%) e rio Preto do Crespo que cobre aproximadamente 8,14%, onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila aberta submontana (MMA/IBAMA, 2005; ANA, 2017) (figura 46). A Flona do Jamari está inserida ainda no Terreno Jamari, subdividido nos domínios Ariquemés - Porto Velho e Central de Rondônia (MMA/IBAMA, 2005; SEDAN, 2002) e seu relevo apresenta 93,2% com altitude inferior a 150 metros (IMAZON/SFB, 2007).

**Figura 46** - Localização das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Floresta Nacional do Jamari, estado de Rondônia, Brasil.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2017.

O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger é do tipo Am - Tropical Monção (ALVARES *et al.*, 2013; CLIMATE-DATA, 2019), quente e úmido, com precipitação média entre 1800 e 2200 mm/ano, com dois períodos distintos (chuvoso entre outubro e abril) e um período seco (entre junho e agosto), maio e setembro são considerados meses de transição. A região apresenta médias de temperatura do ar entre 24 e 26°C, e umidade relativa entre 80 e 90% no verão, e em torno de 75% no outono-inverno. (GAMA, 2002; AB'SÁBER, 2003; BRASIL, 2005).

Na FLONA do Jamari, as áreas de estudo estavam localizadas na Unidade de Manejo Florestal (UMF) III, distante a 140 Km de Porto Velho, Rondônia. Nesse local, as feições geomorfológicas principais são a de Superfície de Aplainamento e Agrupamentos de Morros e Colinas (MMA/IBAMA, 2005). Os solos são distribuídos em duas classes (Latosolos e Argissolos), com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico) (ZSEE), e apenas 12,2% da área apresentam altitude superior a 150 metros (IMAZON/SFB, 2007). A vegetação é representada pela floresta de terra firme, com

estado natural de floresta primária onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila Aberta Submontana caracterizada pela presença de árvores espaçadas formando um dossel com altura de aproximadamente 40m e ocorrência de formações irregulares de palmeiras, compondo um mosaico de florestas densas e abertas com e sem presença de palmeiras e cipós. (IBAMA/MMA, 2005).

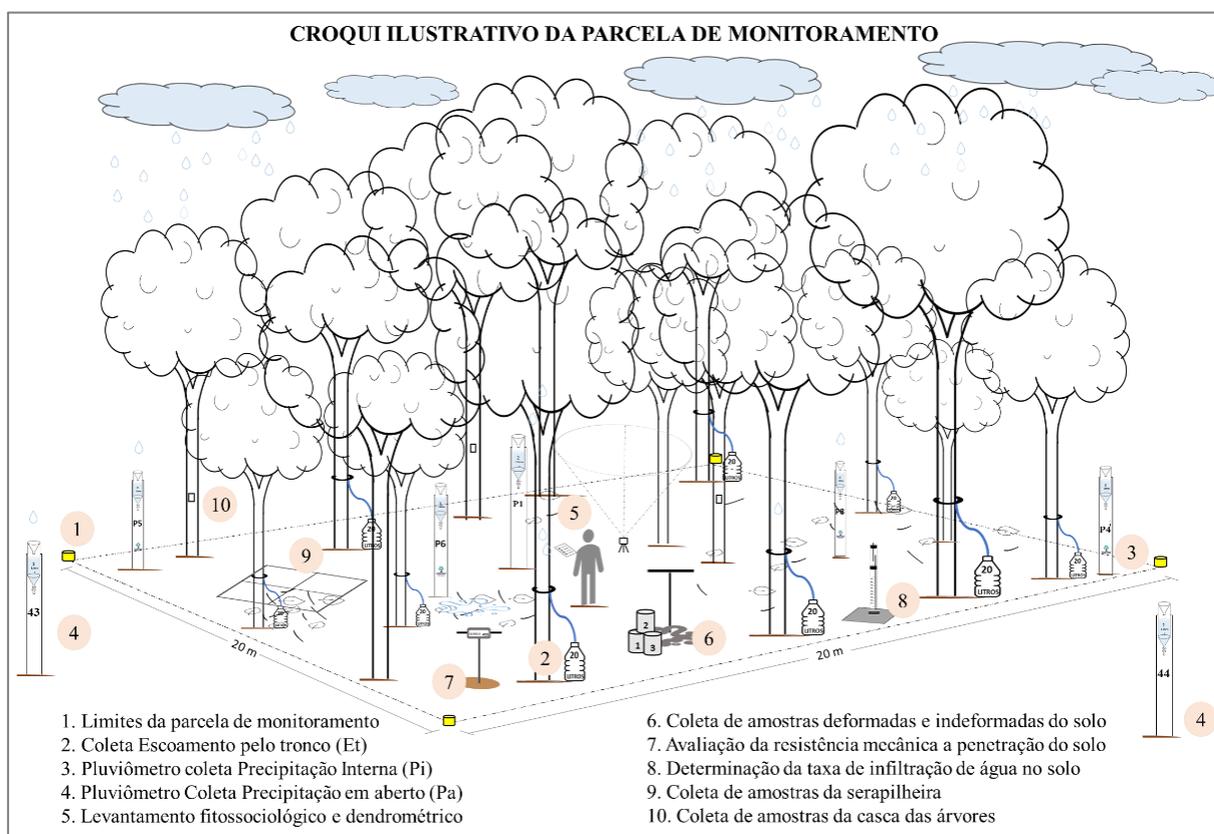
## **2.2 Parcelas de Monitoramento**

Dois ambientes foram selecionados na UMF III. A representação da floresta primária não explorada foi denominada como Área Natural (AN) e estava localizada na unidade de produção anual 18 (UPA-18) (9°24'53.15" S e 63°04'29.48" O), ao passo que a amostragem da Área Explorada (AE) foi realizada na unidade de produção anual (UPA-11), representativa da vegetação que já sofreu alteração (9°23'27.52" S e 63°02'27.08" O).

Nas áreas selecionadas foram instaladas 3 parcelas (P1, P2 e P3) medindo 20 m x 20 m, as quais foram monitoradas mensalmente entre outubro/2019 e outubro/2020, para a obtenção de informações necessárias para caracterizar a estrutura da vegetação, a distribuição da água da chuva, o estoque de serapilheira acumulada e interpretar o comportamento dos principais atributos físicos do solo. Um croqui ilustrativo das parcelas de monitoramento contendo os principais indicadores amostrados é apresentado na figura 47.

Os valores médios dos parâmetros da estrutura da vegetação e a estatística descritiva da variável hidrológica ( $P_e$ ), do acúmulo médio do estoque de serapilheira, sua umidade ( $U\%$ ) e capacidade de retenção hídrica ( $CRH, \%$ ) obtidos nas áreas de estudo (AN e AE) são apresentados nas tabelas 10 e 11 respectivamente. Na análise dos resultados sobre o comportamento e as correlações dos parâmetros do solo foram considerados os valores médios da variável hidrológica precipitação efetiva ( $P_e = P_i + E_t, mm$ ) obtidos de cada área.

**Figura 47** - Croqui ilustrativo da parcela de monitoramento instalada para coleta de dados para caracterizar a estrutura da vegetação, a distribuição da água da chuva, o estoque de serapilheira acumulada e interpretar o comportamento dos principais atributos do solo.



Fonte: o autor, 2021.

**Tabela 10** - Estrutura da vegetação da área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Áreas	Média dos valores dos parâmetros da estrutura da vegetação				
	DAP (cm)	Ht (m)	Apc (m <sup>2</sup> )	Vc (m <sup>3</sup> )	Densidade * (indivíduos/ha)
AN	21,8	17,4	41,4	133,7	1625
AE	29,0	17,3	49,9	161,6	1450

Fonte: o autor, 2021. Onde: diâmetro a altura do peito (DAP) em cm, altura total (Ht), área de projeção da copa (Apc) em m<sup>2</sup> e volume da copa (Vc) em m<sup>3</sup>. \* Indica diferença estatisticamente significativa entre as médias (p<0,05).

**Tabela 11** - Precipitação efetiva (Pe, mm), estoque (Mg.ha<sup>-1</sup>), capacidade de retenção hídrica (CRH, %) e umidade (U, %) da serapilheira, na área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Medidas	Precipitação efetiva (Pe, mm)		Estoque serapilheira (Mg.ha <sup>-1</sup> )		CRH serapilheira (CRH, %)		Umidade da serapilheira (U, g)	
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE
<b>Mínimo</b>	0.00	0.00	3,77	4,89	153,0	140,4	255.6	332.5
<b>Máximo</b>	278.79	243.23	12,20	13,32	270,6	332,2	2912.2	2817.3
<b>Média</b>	162.02	129.15	7,42	7,44	220,4	224,1	1324.0	1357.8

<b>Dp</b>	95.14	90.32	2,25	2,49	43,7	58,7	820.8	785.5
<b>Cv (%)</b>	58.72	69.94	30,38	33,53	19,81	26,20	61.99	57.85

Fonte: o autor, 2021.

### 2.3 Parâmetros e atributos do solo

As principais características e propriedade físicas dos solos definidas para a coleta das informações necessárias para sua caracterização e interpretação do comportamento hidrológico dos solos durante o período de coleta (ano hidrológico) nas áreas de estudo inseridos na Flona do Jamari, Rondônia, foram obtidos em atividades de campo, em gabinete e em laboratórios, ambas realizadas mensalmente durante todo o período de monitoramento (outubro/2019 a outubro/2020) compreendendo as estações seca e chuvosa da região.

Para caracterização dos atributos físicos do solo, amostras deformadas e indeformadas foram coletadas mensalmente na profundidade de 0-20 cm no interior das parcelas de monitoramento, seguindo as orientações contidas no “Manual de descrição e coleta de solo no campo (SBCS, 2015). As amostras deformadas foram coletadas com o uso de um trado do tipo “holandês” (Figura 48 a). Após coletadas, as amostras simples foram homogeneizadas para a obtenção das amostras compostas, que foram acondicionadas em embalagens de coleta de solo devidamente identificadas e encaminhadas para análise em laboratório (figura 48 c).

**Figura 48** - Trado do tipo "holandês" (a) utilizado para coleta de amostras simples de solo deformadas (b), embalagem para armazenamento e envio de amostras de solo (c) para análise de rotina em laboratório certificado.



Fonte: Organizado pelo autor, 2021.

As amostras indeformadas foram coletadas com o uso de aneis volumétricos metálicos com volume de  $103,64 \text{ cm}^3$  (figura 49 a) na profundidade de 0-20 cm. Após coletados, os aneis contendo as amostras foram acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados. A massa de cada amostra foi determinada no laboratório com o uso de balança de precisão (Figura 49 d).

**Figura 49** – Aneis coletores (a), amostras indeformadas coletadas (b), paquímetro (c) e balança de precisão (d), utilizados para determinar o volume e a massa das amostras.



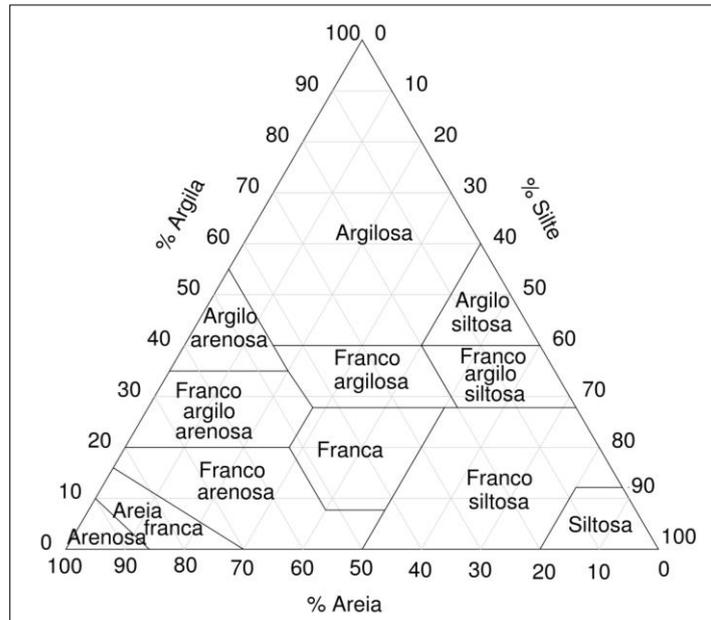
Fonte: organizado pelo autor, 2021.

Foram coletadas mensalmente 3 amostras de solo indeformadas em cada parcela de monitoramento (P1, P2 e P3), consistindo em 9 amostras para cada área de estudo (AN e AE), totalizando 18 amostras mensais.

### 2.3.1 Textura do solo

A análise para determinação da proporção relativa das frações granulométricas areia, silte e argila dos solos das parcelas de monitoramento foi obtida através do método da Pipeta, mediante análise das amostras deformadas coletadas na profundidade de 0-20 cm. Para a definição da classe textural dos solos das áreas foram consideradas as médias dos valores obtidos em cada amostra transformadas em percentual. O enquadramento da textura dos solos foi realizado com base nas classes de textura do Sistema Americano (Estados Unidos, 1993) respeitando a modificação da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (SBCS, 2015) e utilizando o guia de agrupamento textural (figura 50).

**Figura 50** - Guia para agrupamento textural utilizado na classificação das classes texturais dos solos das áreas de monitoramento no interior da Flona do Jamari, estado de Rondônia.



Fonte: Estados Unidos, 1993 adaptado SBCS, 2015.

### 2.3.2 Umidade do solo (Us, %)

O método termogravimétrico que relaciona a massa de água (Ma) e a massa de sólidos (Ms) contidos em uma amostra de solo foi utilizado para determinar a umidade gravimétrica (U, %) do solo das áreas de monitoramento. As amostras de solo indeformadas coletadas em campo foram pesadas em laboratório para determinação da sua massa natural ou massa úmida e posteriormente foram secas em estufa a 105°C por 24 horas para determinação da massa seca. A umidade foi obtida pela equação 11.

$$Us (\%) = \frac{Ma}{Ms} \times 100 \quad (11)$$

onde: Us= é a umidade do solo expressa em %, Ma= a massa de água contida na amostra e Ms= massa de sólidos, ambas em gramas (g).

### 2.3.3 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo (Ds) ou densidade aparente que mede a massa de uma unidade de volume de solo incluindo o espaço poroso foi obtida pelo método do anel volumétrico,

utilizando o volume do anel volumétrico (103,64 cm<sup>3</sup>) e a massa seca (Ms) da amostra obtida pelo método termogravimétrico (Equação 1). A densidade do solo (Ds) foi obtida pela equação 12.

$$Ds = \frac{Ms}{V} \quad (12)$$

onde: Ds = é a densidade aparente do solo em g/cm<sup>3</sup>, Ms = a massa da amostra seco a 105°C por 24 horas, em gramas (g) e V = volume do anel coletor em cm<sup>3</sup>.

#### 2.3.4 Densidade de partícula (Dp)

A densidade de partículas do solo (Dp) ou densidade real, que se refere à fração sólida de uma amostra sem considerar a porosidade foi obtida pela determinação do volume de álcool gasto para completar a capacidade de um balão volumétrico (50 ml). A densidade de partículas (Dp) foi obtido pela equação 13.

$$Dp = \frac{Ms}{50 - Vg} \quad (13)$$

onde: Dp= é a densidade de partícula do solo em g/cm<sup>3</sup>, Ms= o peso da amostra seco a 105°C em gramas, e Vg= é o volume do álcool gasto para completar o balão volumétrico em ml.

#### 2.3.5 Porosidade Total (Pt)

A porosidade total do solo (Pt) que visa determinar o volume do solo passível de ser ocupados por água e/ou ar foi obtido relacionando a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp) dos solos amostrados. A porosidade total foi obtida por meio da equação 14.

$$Pt = \frac{Dp - Ds}{Ds} \times 100 \quad (14)$$

onde: Pt= é a porosidade total em %, Dp= é a densidade de partícula em g/cm<sup>3</sup> e Ds= a densidade do solo em g/cm<sup>3</sup>.

### 2.3.6 Resistência do Solo à Penetração (RSP, MPa)

Durante o período de monitoramento (outubro/2019 a outubro/2020) foram realizadas 3 medições mensais da resistência mecânica à penetração dos solos (RSP, MPa) em cada parcela de monitoramento, totalizando 9 medições por área/mês. As medições foram realizadas na profundidade de 0-60 cm de profundidade com o auxílio do Penetrógrafo automatizado digital (modelo PLG1020 da Falker), dotado de uma haste com cone do tipo 2, cujo índice de cone máximo é de 6.800 kPa (figura 51 a).

A numeração atribuída automaticamente pelo aparelho para cada ponto de medição foi registrada em planilha de campo. Os dados obtidos em cada medição foram armazenados temporariamente na memória interna do aparelho. Em gabinete os dados foram transferidos para o computador, visualizados e analisados por meio de um software que acompanha o equipamento.

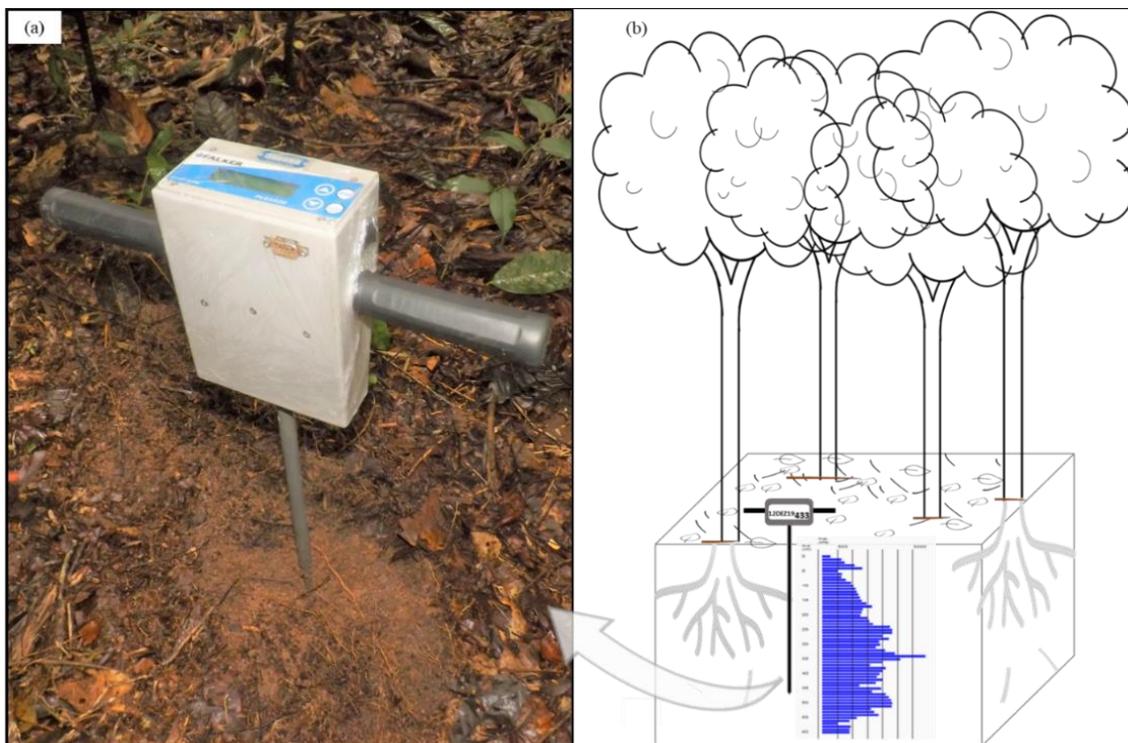
A média dos valores medidos mensalmente em cada parcela de monitoramento na profundidade de 0-60 cm foram utilizados para a compreensão da distribuição da pressão (MPa) em cada uma das áreas ao longo do período amostrado e utilizados para avaliar o comportamento da RSP para os distintos períodos (seco e chuvoso), a fim de avaliar a influência da sazonalidade climática da região sob esse parâmetro. Foi construído gráfico da RSP média entre os meses que integram o período de monitoramento.

Os valores da RSP obtidos mensalmente ao longo do perfil amostrado (0-60cm) foram agrupados em 6 camadas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60cm) e utilizados para avaliar o comportamento da RSP entre as áreas em relação a profundidade. Foram construídos gráficos da distribuição da pressão para interpretação do comportamento dos solos na profundidade amostrada em ambas as áreas.

Os dados dos atributos físicos do solo obtidos nas áreas de estudo foram submetidos ao teste de homoscedasticidade das variâncias pelo teste F e de normalidade pelo teste de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), em seguida foi realizada a análise da variância dos dados que apresentaram distribuição normal com o teste de T Student a 5% de probabilidade afim de determinar se as médias das amostras obtidas em cada área diferiam significativamente entre si ao longo do período de monitoramento.

Dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos ao teste não paramétrico. Ambas as análises foram processadas com o auxílio do softwares BioEstat 5.3 (AYRES, *et al.*, 2007); ©Minitab (2021); Jamovi (2021).

**Figura 51** - (a) Penetrógrafo automatizado utilizado para medição da resistência do solo a penetração (RSP, MPa), (b) croqui ilustrativo do procedimento para a obtenção da resistência do solo no interior de cada parcela de monitoramento das áreas de estudo inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Foi realizada uma análise de correlação e calculado o coeficiente de correlação de Pearson, que pode medir a força da relação linear entre duas variáveis. Utilizamos a descrição de Evans (1996) para classificar o coeficiente de correlação e a correspondente força de relacionamento (Tabela 12).

**Tabela 12** - Resumo das forças do coeficiente de correlação de Pearson (r).

Força da correlação	Coefficiente de correlação de Pearson (r)
Muito fraca	0.0 – 0.19
Fraca	0.20 – 0.39
Moderada	0.40 – 0.59
Forte	0.60 – 0.79
Muito forte	0.80 – 1.00

Fonte: Evans (1996.)

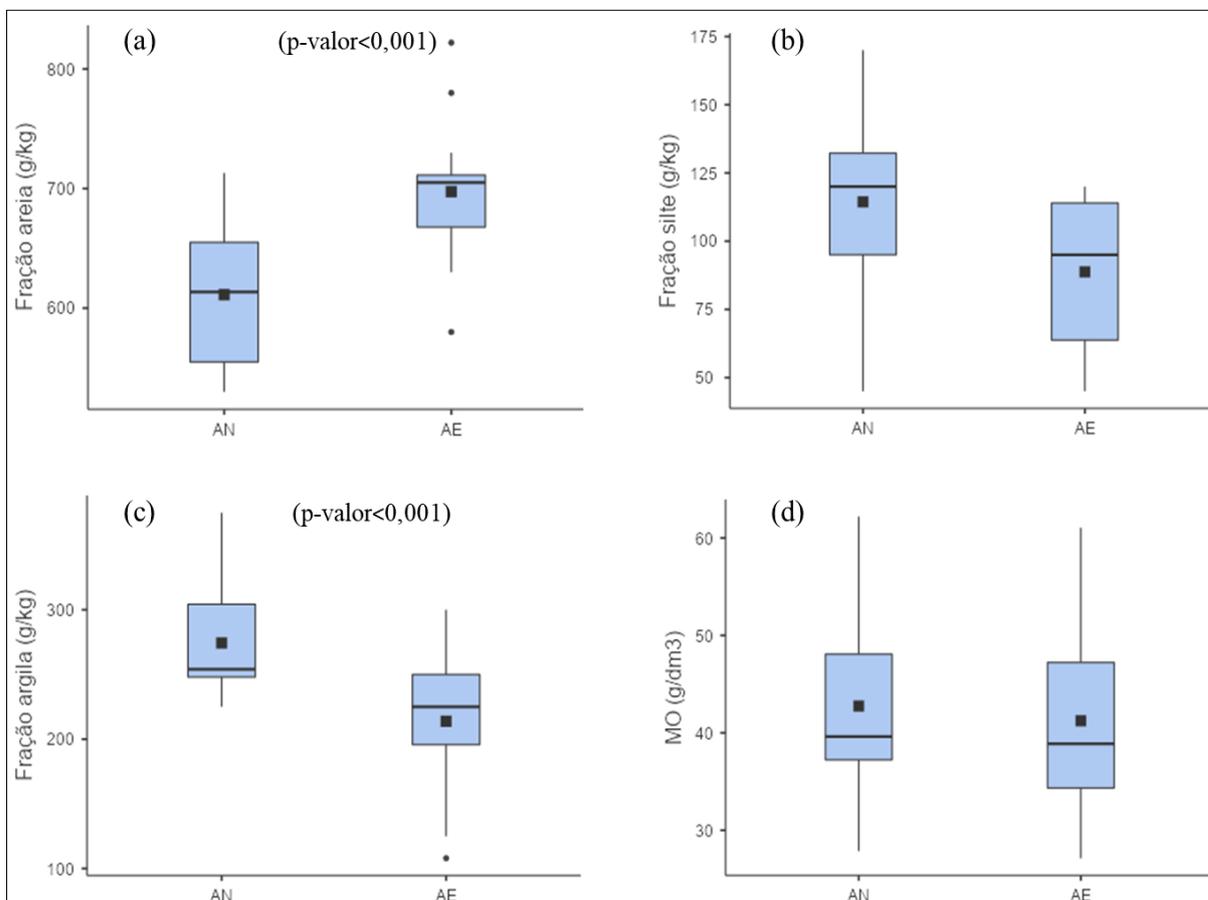
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Textura do solo

Na AN a fração areia apresentou valor médio de 611,25 ( $\pm 8,93$ ) g/kg, enquanto na AE essa média foi de 697,36 ( $\pm 9,14$ ) g/kg. Os valores da fração silte que apresentou os menores percentuais entre as frações para ambas as áreas, apresentou média de 114,44 ( $\pm 29,85$ ) g/kg na AN e 88,75 ( $\pm 33,77$ ) g/kg na AE. A fração argila apresentou valor médio de 274,31 ( $\pm 16,71$ ) g/kg na AN e 213 ( $\pm 25,7$ ) g/kg na AE.

Os dados dos teores das frações granulométricas apresentaram normalidade (p-valor $>0,05$ , Teste Shapiro-Wilk) e homogeneidade da variância (p-valor $>0,05$ , Teste Levene) e tiveram suas médias analisadas por meio de teste paramétrico (Teste-T), pelo qual foi possível observar que os solos das áreas apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as áreas (p-valor $<0,001$ ) para as frações areia e argila (Figura 52 a e c). O teor de matéria orgânica (MO, g/dm<sup>-3</sup>) que desempenha papel fundamental para manutenção das funções do solo especialmente na sua estruturação, estabilidade e retenção de água não apresentou diferença significativa entre as áreas analisadas (figura 52 d).

**Figura 52** - Valor médio das frações granulométricas (a) areia, (b) silte, (c) argila expressas em g/kg e (d) matéria orgânica (MO, g/dm<sup>3</sup>) dos solos pertencente às áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) inseridas na Flona do Jamari, Rondônia.



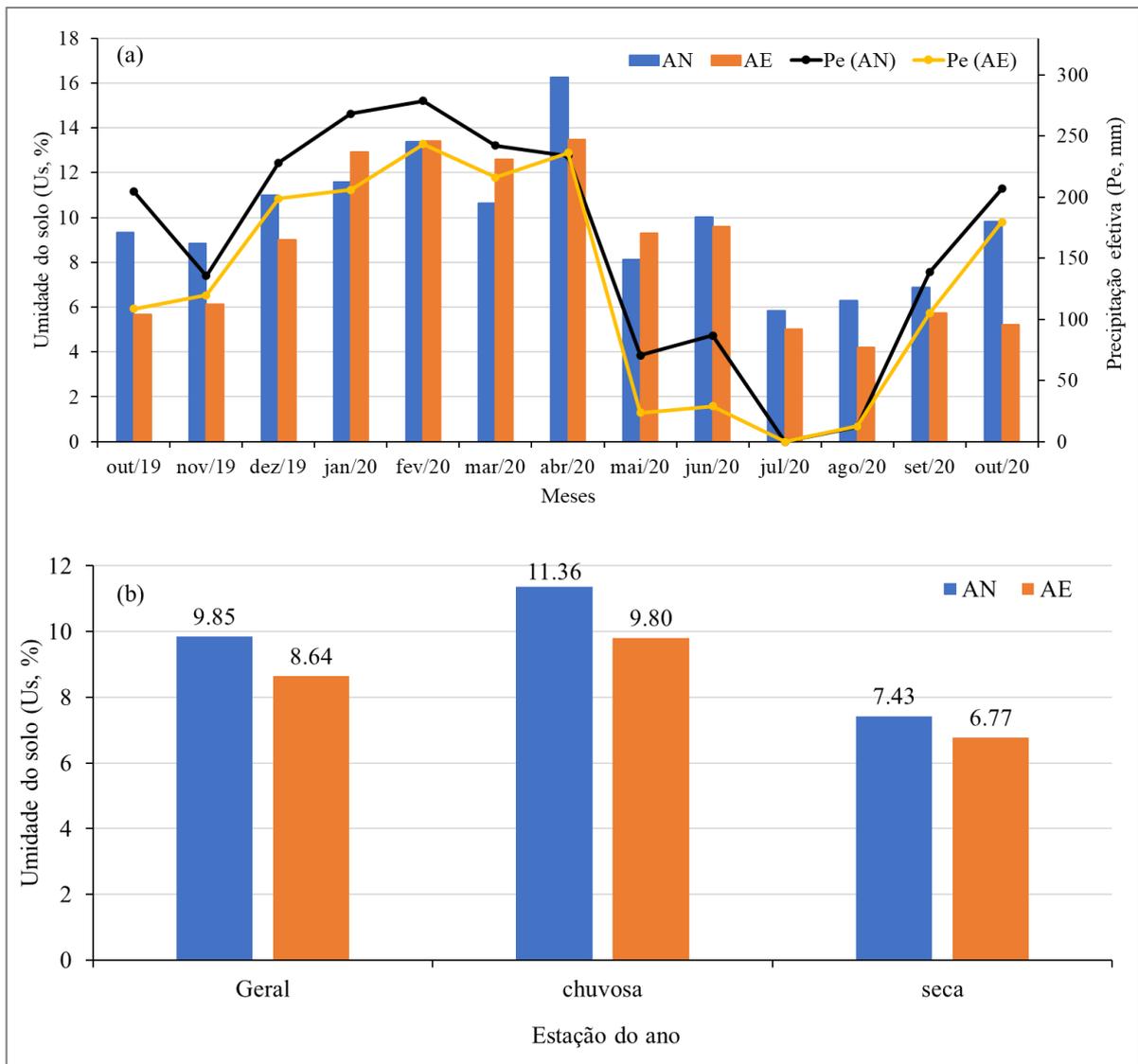
Fonte: o autor, 2021.

### 3.2 Umidade do solo (Us, %)

A taxa da umidade do solo ( $U_s$ , %) apresentou valores médios semelhantes em cada período de monitoramento (figura 53). A umidade dos solos da AN foi 12,28% superior a taxa de umidade observado nos solos da AE, sendo observado esse comportamento em 69,23% dos períodos de coleta. A umidade média dos solos da AN foi de  $9,85 (\pm 2,89)$  % enquanto na AE foi registrado uma taxa de umidade nos solos de  $8,64 (\pm 3,54)$  % (Tabela 13).

As maiores médias de umidade do solo foram registradas no período chuvoso do ano (outubro a abril) e as menores taxas no período seco (maio a setembro), com os menores percentuais de umidade observados no mês de julho nos solos da AN e em agosto na AE e as maiores taxas observadas no mês de abril para ambas as áreas (figura 53 a, b).

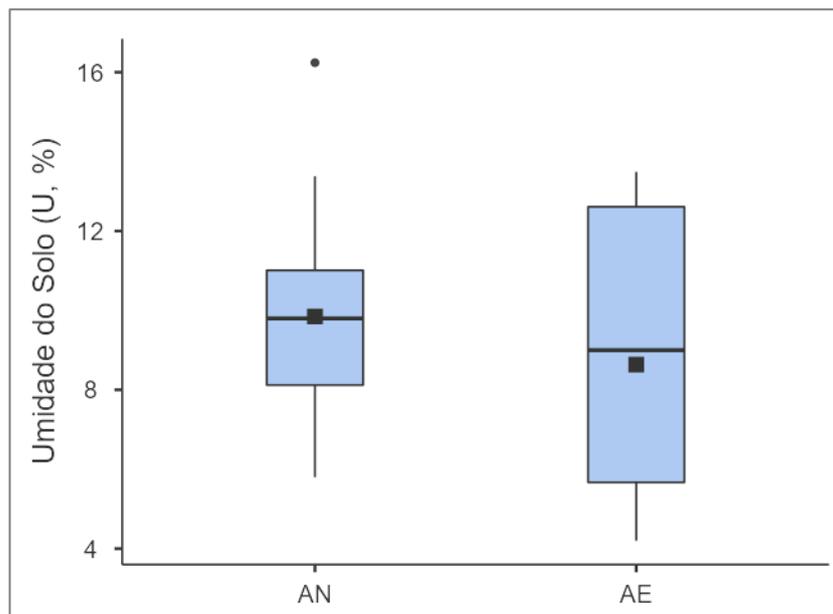
**Figura 53** - (a) Umidade do solo ( $U_s$ , %) e a precipitação efetiva ( $Pe$ , mm) em cada período de coleta e (b) em relação a sazonalidade da região, obtida nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Os dados da umidade média dos solos das áreas de estudo apresentaram homogeneidade de variância ( $p$ -valor $<0.05$ , teste Levene) porém, os valores da  $U_s$  da AE não apresentaram distribuição normal ( $p$ -valor=0,048, teste Shapiro-Wilk), sendo, portanto, analisados por meio de testes não paramétrico. Mesmo sendo observado diferenças em relação à média da umidade dos solos entre as áreas, estas diferenças não foram estatisticamente significativas ( $p$ -valor=0,287, Mann-Whitney) (figura 54).

**Figura 54** – Boxplot da umidade do solo (U, %) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

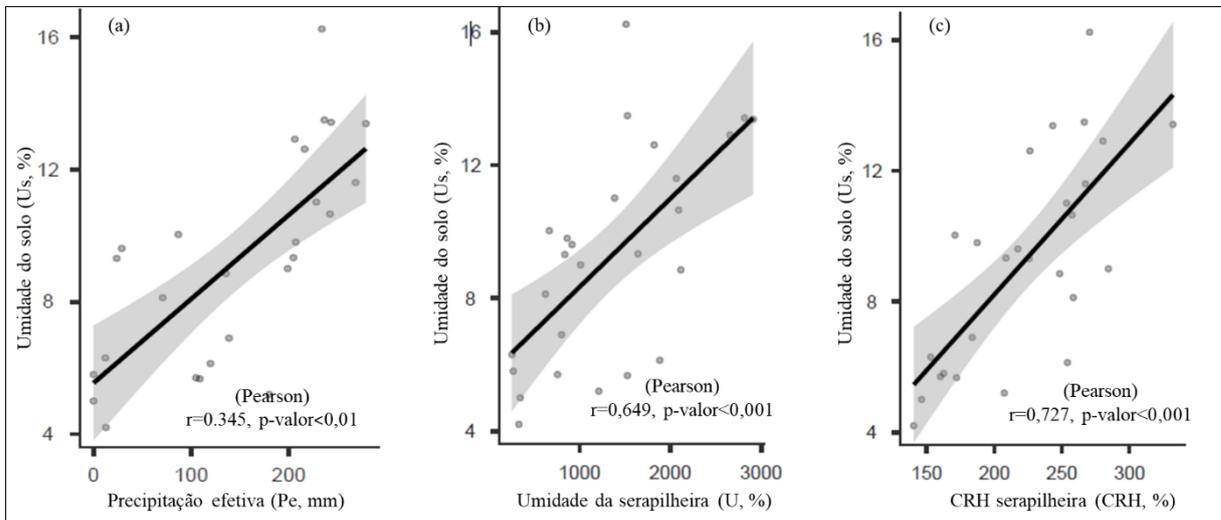


Fonte: o autor, 2021.

Ao analisar os dados da umidade dos solos obtidos nas áreas de estudo foi possível observar a existência de uma correlação do tipo forte e positiva entre a umidade do solo e a variável hidrológica precipitação efetiva ( $r=0,727$ ,  $p\text{-valor}<0,01$ ) (figura 55). Quando analisamos as correlações da umidade dos solos dentro de cada área é possível observar que a correlação entre a  $U_s$  e a  $P_e$  é mais significativa na AE que apresentou correlação do tipo muito forte e positiva ( $r=0,955$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) enquanto na AN essa correlação foi do tipo forte e positiva ( $r=0,818$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ).

Correlações estatisticamente significativas foram observadas entre a umidade do solo e a umidade da serapilheira ( $r=0,649$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 55 b) e com a capacidade de retenção hídrica da serapilheira ( $r=0,727$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 55 c) e suas frações sendo as maiores correlações observadas em relação a CRH na AE ( $r=0,794$ ) em comparação com a AN ( $r=0,787$ ) e  $p\text{-valor}<0,001$ ). Na AE também foram observadas correlações da umidade do solo com a CRH da fração folhas ( $r=0,835$ ) superiores as correlações obtidas entre estas variáveis na AN que apresentou  $r=0,758$  (AN), ambas  $p\text{-valor}<0,01$ .

**Figura 55** – Correlação da umidade do solo ( $U_s$ , %) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE) com (a) precipitação efetiva ( $P_e$ , mm), (b) umidade da serapilheira ( $U$ , %) e (c) capacidade de retenção hídrica do estoque de serapilheira (CRH, %).

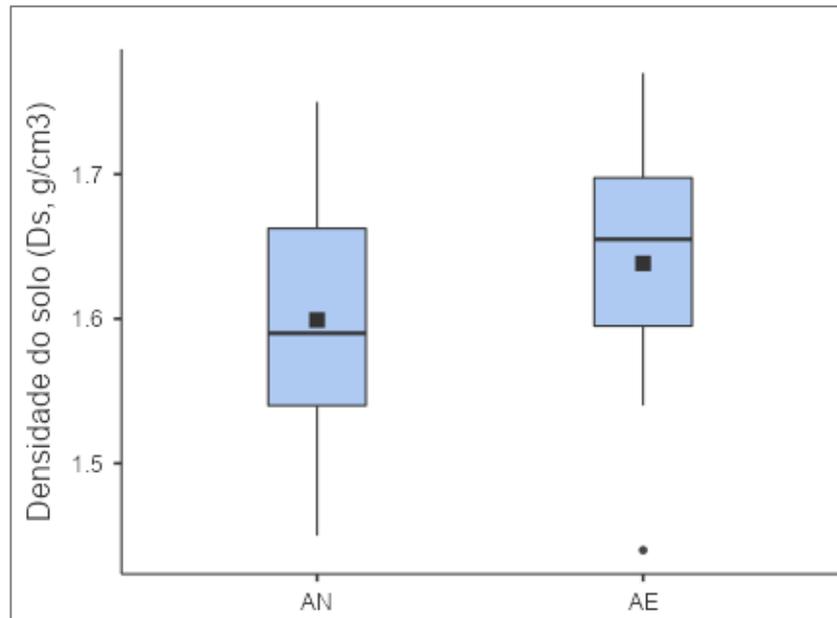


Fonte: o autor, 2021.

### 3.3 Densidade do solo (DS)

A densidade do solo ( $D_s$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) das áreas investigadas no estudo apresentaram valores muito próximos (figura 56), com médias que se enquadram nos limites definidos na literatura para solos de textura arenosa (figura 57). Os solos da área natural apresentaram valor médio de densidade de  $1,60 \text{ g}/\text{cm}^3$  com valores entre  $1,45$  e  $1,75 \text{ g}/\text{cm}^3$  (mínimo e máximo) enquanto os solos da AE que apresentaram maior amplitude de variação, os valores variando entre  $1,44$  e  $1,77 \text{ g}/\text{cm}^3$ , e média no período de  $1,64 \text{ g}/\text{cm}^3$  (tabela 13).

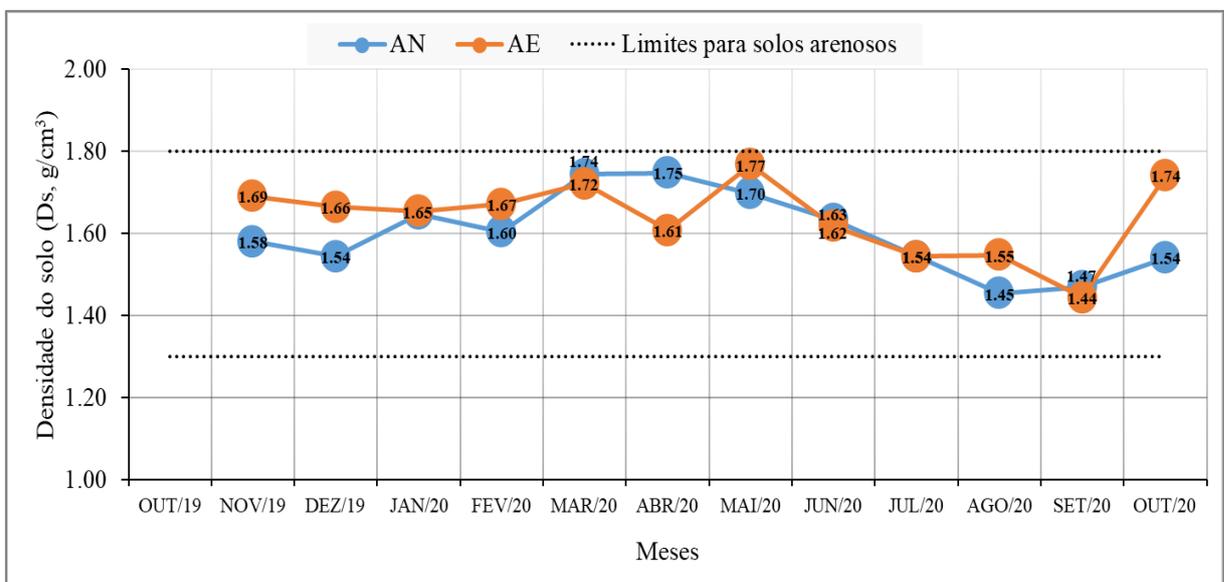
**Figura 56** - Boxplot da densidade do solo ( $D_s$ , g/cm<sup>3</sup>) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

Os valores da densidade do solo obtidos nas áreas de estudo apresentaram homogeneidade de variância (Teste Levene) e distribuição normal (Shapiro-Wilk) e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas para cada área (p-valor=0,328, Test-T).

**Figura 57** - Valores médios da densidade do solo ( $D_s$ , g/cm<sup>3</sup>) obtidos nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

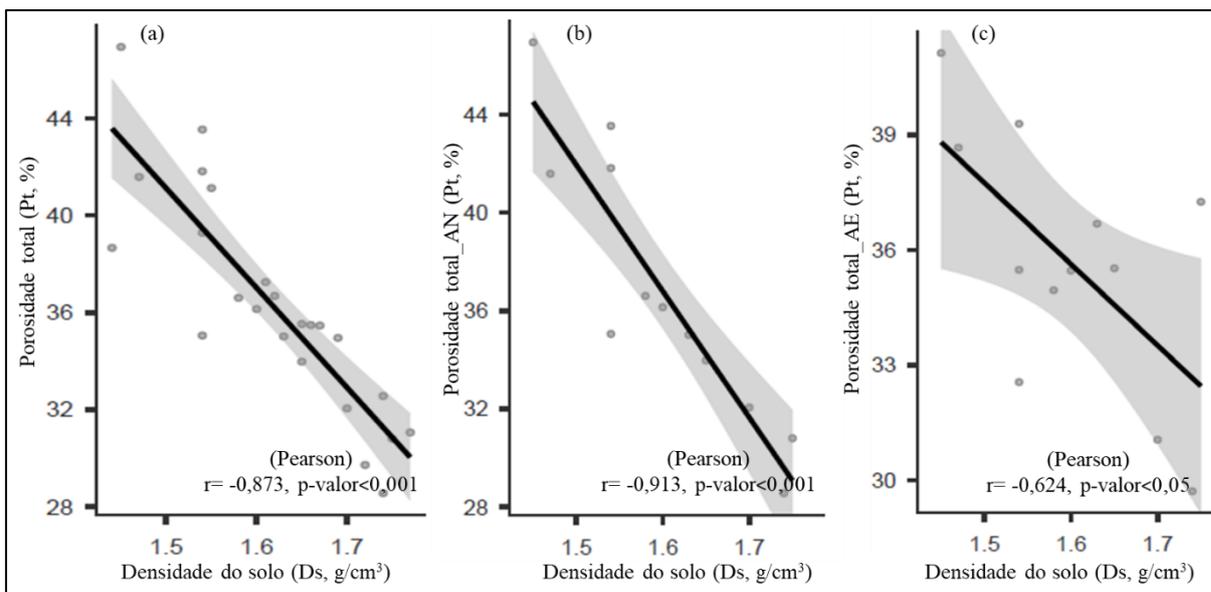


Fonte: o autor, 2021.

Os dados da densidade dos solos das áreas de estudo apresentaram correlações significativas e negativas com a porosidade total ( $r=-0,873$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 58 a), sendo observado correlações maiores e mais significativas na AN ( $r=-0,913$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 58 b) em comparação com a AE ( $r=-0,624$ ,  $p\text{-valor}<0,05$ ) (figura 58 c).

Não foi identificada correlação significativa entre a Ds com a variável hidrológica da precipitação efetiva e o estoque de serapilheira acumulado nas áreas ( $p\text{-valor}>0,05$ ), no entanto, correlações significativas foram observadas em relação a fração folhas que apresentou uma correlação do tipo moderada e negativa ( $r=-0,649$ ,  $p\text{-valor}<0,01$ ) e a fração amorfo que apresentou correlação do tipo positiva e moderada ( $r=0,475$ ,  $p\text{-valor}<0,05$ ), sendo as correlações da Ds e da fração folhas maiores e mais significativas na AN ( $r=-0,838$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) em comparação com a AE ( $r=-0,680$ ,  $p\text{-valor}<0,01$ ).

**Figura 58** - Correlação entre a densidade do solo ( $D_s$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e a porosidade total (Pt, %), (a) entre as áreas de estudo, (b) na área natural (AN) e (c) na área explorada (AE).



Fonte: o autor, 2021.

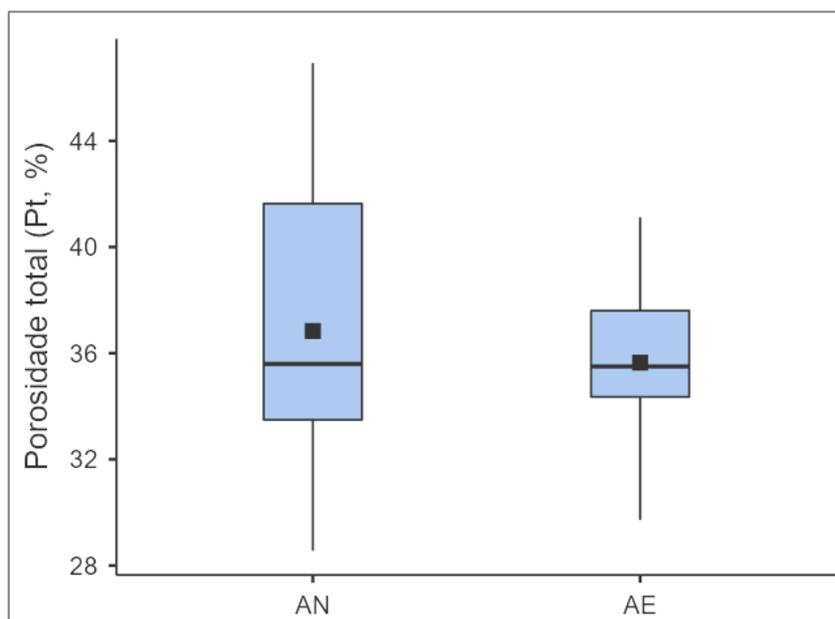
A densidade do solo apresentou correlações significativas do tipo moderada e positiva com a umidade do solo ( $r=0,440$ ,  $p\text{-valor}<0,031$ ) (figura 66 a) e com a umidade da serapilheira ( $r=0,411$ ,  $p\text{-valor}<0,046$ ), e do tipo moderada e negativa com a porosidade total (figuras 66 b) e forte e negativa com a RSP (figura 66 c). Em relação a CRH do estoque da serapilheira foram observadas correlações significativas apenas na AN ( $r=0,717$ ,  $p\text{-valor}=0,009$ ). Já em relação a

CRH das frações da serapilheira, correlações significativas foram observadas entre a Ds e a CRH galhos ( $r=0,687$ ), CRH folhas ( $r=0,678$ ) e CRH amorfo ( $r=0,744$ ) na AN. Já na AE foram observadas correlações significativas da Ds apenas com CRH da fração amorfo ( $r=0,744$ ).

### 3.4 Porosidade total (Pt, %)

As taxas médias da porosidade total (Pt, %) obtidas dos solos analisados na Flona do Jamari apresentaram percentuais muito próximos entre as áreas, sendo observada uma maior variação dos dados deste parâmetro na AN (figura 50). A porosidade total média da AN foi de 36,84% com valores variando entre 28,56 (mínimo) e 46,93 ( $\pm 5,54$ ) %, enquanto na AE esses valores variaram entre 29,72 e 41,12 ( $\pm 3,33$ ) % e apresentaram uma taxa média de 35,64% (tabela 13).

**Figura 59** - Boxplot da porosidade total do solo (Pt, %) obtida nas áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

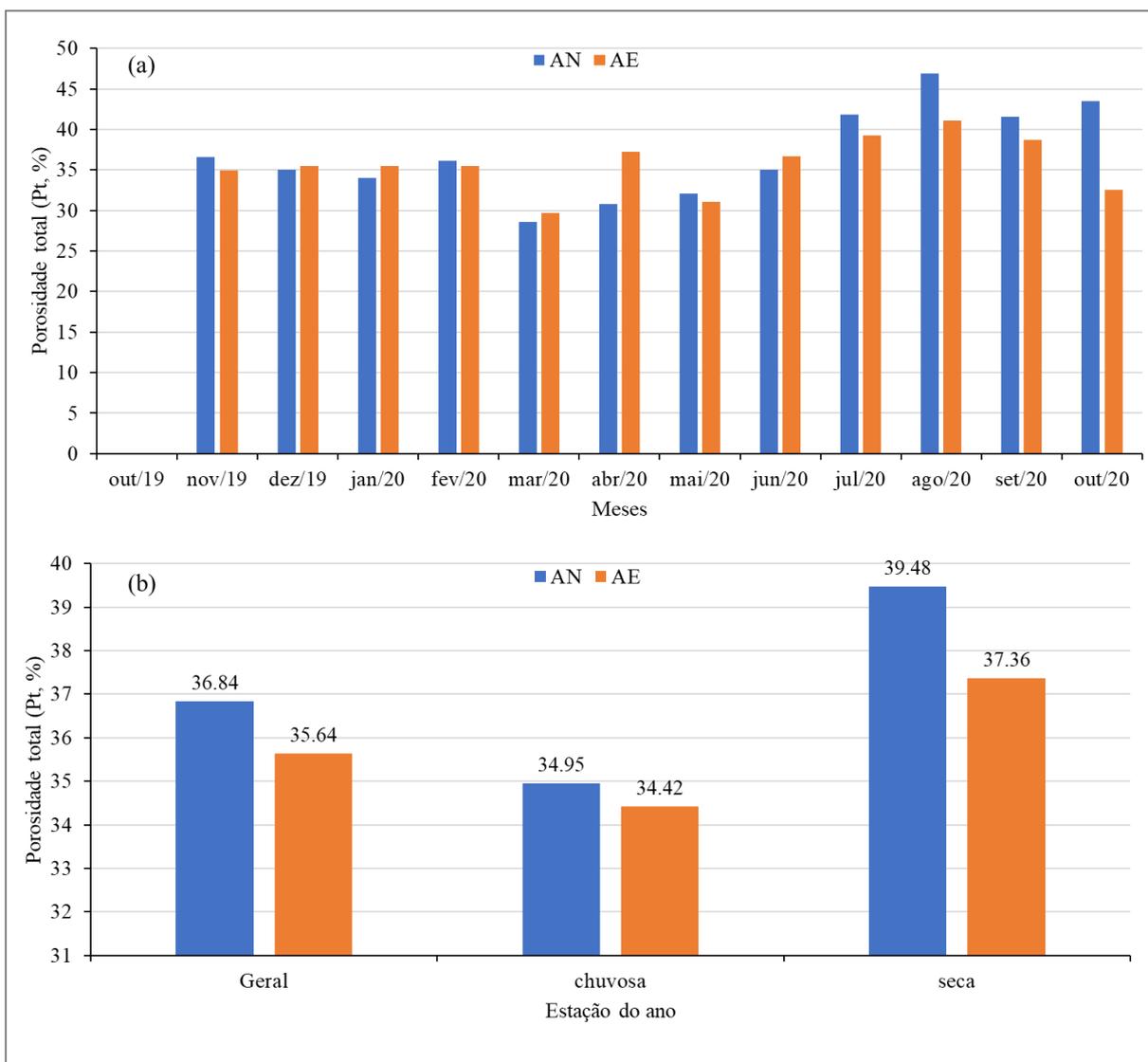


Fonte: o autor, 2021.

O comportamento das taxas percentuais de Pt obtidos nas áreas de estudo entre cada período foi semelhante para ambas as áreas (figura 60 a). Os valores percentuais da Pt (%) apresentaram variação em função da sazonalidade em ambas as áreas, sendo observado as maiores taxas percentuais de Pt na estação seca do ano, onde foram registradas taxas médias de 39,43% para a AN e 37,36% para a AE, sendo o maior índice registrado no mês de agosto para

ambas as áreas (figura 60 a). Na estação chuvosa foi registrada uma taxa média de 34,95% na AN e 34,42% registrados na AE, com os menores índices registrados no mês de março nas das áreas avaliadas no estudo (figura 60 b).

**Figura 60** - (a) porosidade total (Pt, %) em cada período de coleta e (b) em relação a sazonalidade da região obtida nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

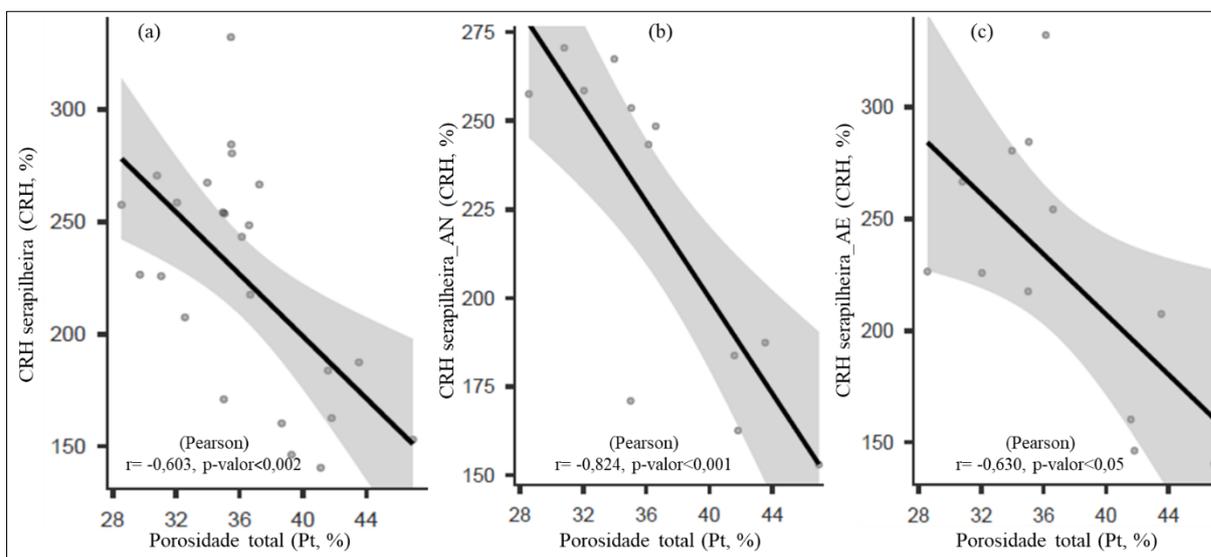
Os dados da porosidade total (Pt, %) obtidos nas áreas de estudo apresentaram homogeneidade de variância ( $p\text{-valor} > 0,05$ , teste Levene) e distribuição normal (Shapiro-Wilk) e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas para cada área de estudo ( $p\text{-valor} = 0,530$ , teste-T).

Ao analisarmos as correlações entre os índices da Pt (%) obtidos nas áreas com as demais variáveis investigadas no estudo, foi possível perceber que a Pt não apresentou correlação estatisticamente significativa apenas em relação ao estoque de serapilheira acumulada ( $p\text{-valor}>0,05$ ). Correlação estatisticamente significativas do tipo moderada e negativa foram observadas entre a Pt e a variável hidrológica Pe ( $r=-0,434$ ,  $p\text{-valor}=0,034$ ), entre a Pt e a umidade da serapilheira ( $r=-0,476$ ,  $p\text{-valor}>0,019$ ), e da Pt com a umidade do solo ( $r=-0,479$ ,  $p\text{-valor}=0,018$ ).

Correlações significativas também foram identificadas entre a Pt com a CRH da serapilheira entre as áreas ( $r=-0,603$ ,  $p\text{-valor}=0,002$ ) (figura 61a), sendo observado que em relação a essa variável a AN apresentou uma correlação negativa do tipo forte ( $r=-0,824$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 61 b) enquanto na AE essa correlação foi negativa e moderada ( $r=-0,630$ ,  $p\text{-valor}<0,05$ ) (figura 61 c). Em relação a CRH das frações da serapilheira também foram registradas correlações significativas.

Na AN a Pt apresentou correlação negativa do tipo forte e positiva com a CRH da fração galhos ( $r=-0,722$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ), CRH da fração amorfo ( $r=-0,786$ ,  $p\text{-valor}<0,002$ ) e com a CRH da fração folhas ( $r=-0,824$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ), enquanto na AE foram observadas correlações negativas do tipo moderada com a CRH da fração galhos ( $r=-0,722$ ,  $p\text{-valor}=0,018$ ) e do tipo forte com a CRH da fração amorfo ( $r=-0,722$ ,  $p\text{-valor}=0,004$ ).

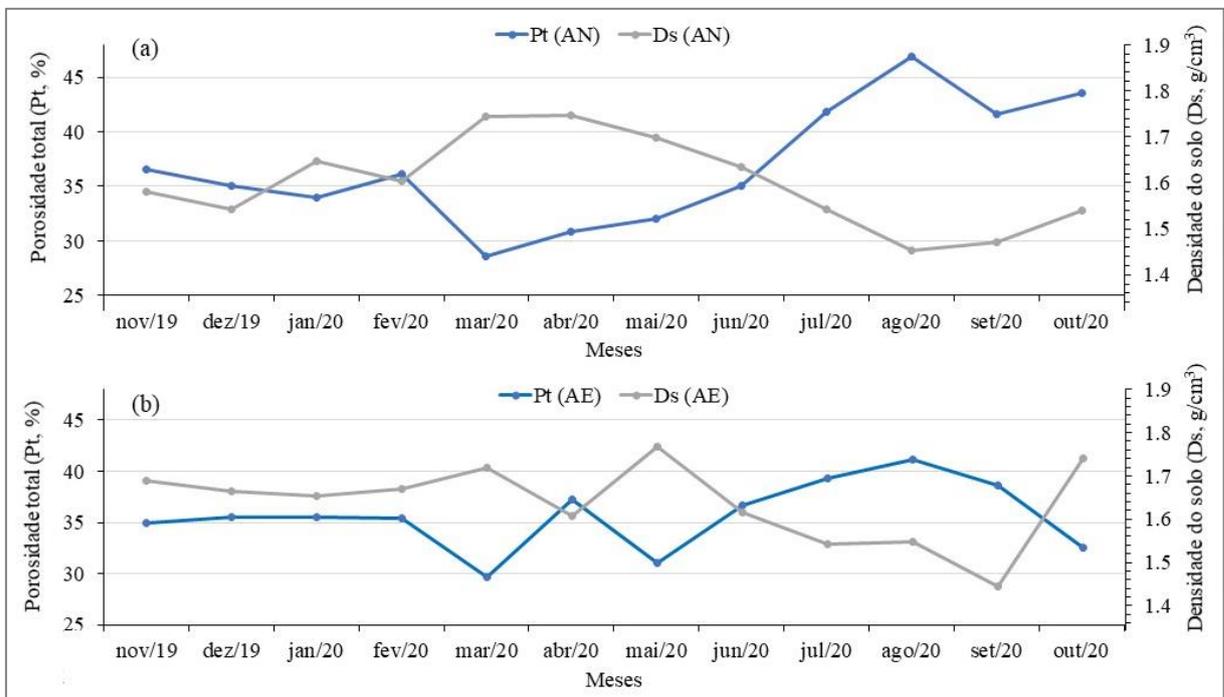
**Figura 61** - Correlação porosidade total (Pt, %) e a capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH, %), (a) entre as áreas de estudo, (b) na área natural (AN) e (c) na área explorada (AE).



Fonte: o autor, 2021.

Correlações do tipo forte e negativa foram observadas entre a Pt e a densidade do solo ( $r=-0,873$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 58 a), sendo registradas as maiores e mais significativas correlações na AN ( $r=-0,913$ ,  $p\text{-valor}<0,001$ ) (figura 58 b) em comparação com as correlações obtidas na AE ( $r=-0,499$ ,  $p\text{-valor}=0,098$ ) (figura 58 c). Essa forte correlação pode ser percebida ao analisar a distribuição dos índices destas variáveis em todos os meses do período de monitoramento, sendo observado que a variação da Ds reflete diretamente os índices de Pt em ambas as áreas investigadas (figura 62 a e b).

**Figura 62** - Porosidade total (Pt, %) e densidade do solo (Ds, g/cm<sup>3</sup>) obtidos em cada período de coleta nas áreas de estudo (a) área natural (AN) e (b) área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

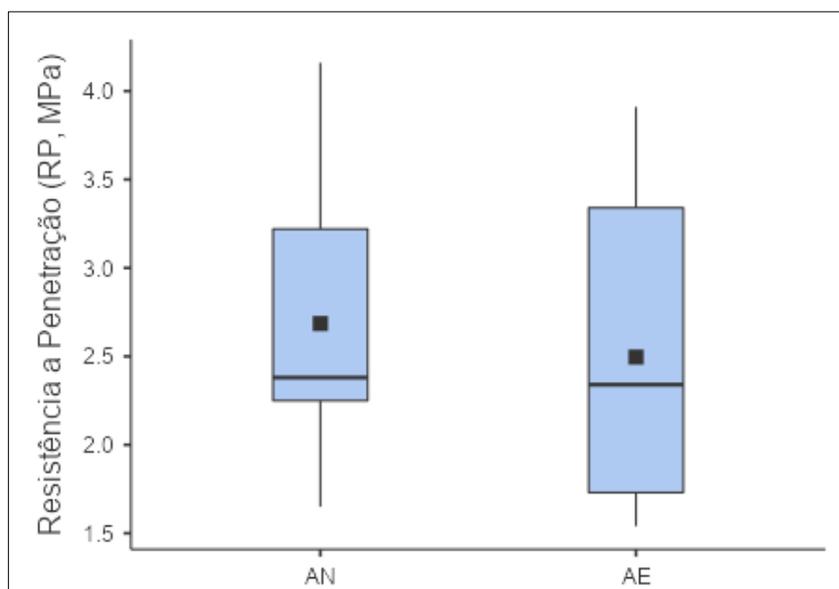
### 3.5 Resistência do solo a Penetração (RSP, MPa)

Os valores da Resistência do solo a Penetração (RSP, MPa) apresentaram valores médios muito próximos entre as áreas em cada período amostrado (meses) (figuras 63). Na AN, a resistência do solo à penetração calculada pela média mensal dos valores obtidos ao longo do perfil do solo (0-60 cm) foi de 2,69 MPa enquanto na AE essa média foi de 2,50 MPa. Os valores mínimos e máximos valores de RSP registrados mensalmente nas áreas variaram entre 1,65 e 4,16 MPa na AN e entre 1,54 e 3,91 MPa na AE, sendo os valores mínimos registrados

na estação chuvosa (fevereiro/2020 em ambas as áreas), e valores máximos na estação seca, com o maior valor registrado no mês de julho na AN e agosto na AE (figura 64).

Os dados da Resistência do Solo à Penetração (RSP, MPa) das áreas de estudo apresentaram homogeneidade da variância ( $p\text{-valor} > 0,05$ , Teste Levene) mas não apresentaram distribuição normal ( $p\text{-valor} = 0,017$ , Shapiro-Wilk) sendo analisados por meio de teste não paramétrico. Ao comparar os valores das medianas dos dados da RP entre as áreas, elas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p\text{-valor} = 0,545$ , Mann-Whitney).

**Figura 63** - Boxplot da Resistência Mecânica a Penetração (RP, MPa) obtida nos solos das áreas de estudo definidas como área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

A resistência dos solos à penetração (RSP, MPa) considerando os valores médios obtidos em cada profundidade amostrada (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) também apresentaram comportamento de distribuição e valores muito próximos entre as áreas (figura 64 b). Em ambas as áreas as menores resistências foram registradas na camada de 0-10 cm durante a estação chuvosa.

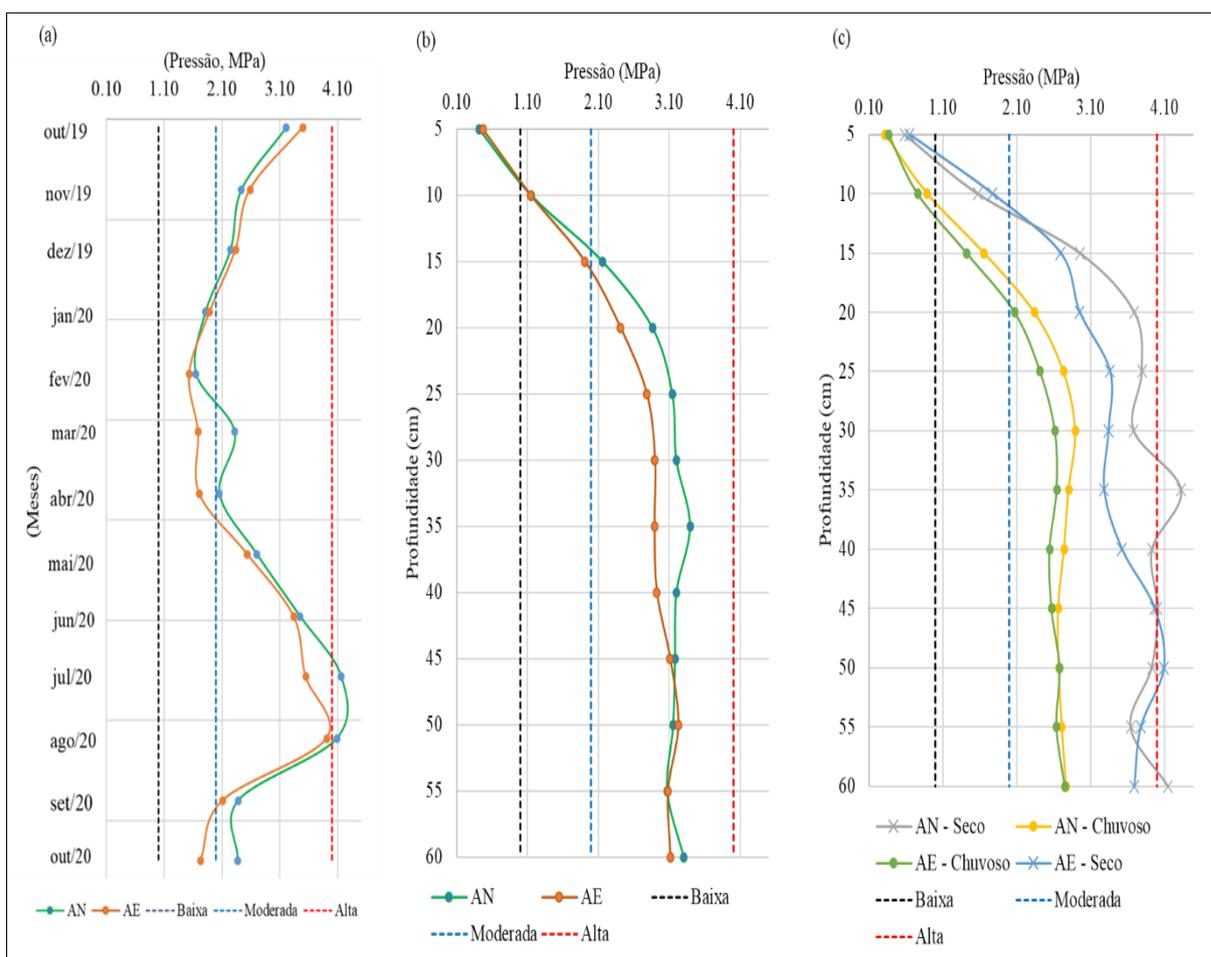
Os valores máximos obtidos em relação a profundidade na AN foram registrados no período seco entre 30 e 35cm, enquanto na AE essa máxima foi registrada na profundidade de 45 a 50 cm durante a estação seca (agosto/2020) (figura 64 c). A RSP também apresentou variação entre as estações seca e chuvosa (figura 64 c). Os valores da RSP obtidos mensalmente

ao longo do perfil do solo avaliado pode ser consultado nos apêndices desse capítulo (apêndice A7 e A8).

Os dados da resistência do solo a penetração (RSP, MPa) das áreas de estudo apresentaram correlação mais forte e significativa com a precipitação efetiva (Pe, mm) que registrou uma correlação do tipo forte e negativa ( $r = -0,856$ ,  $p\text{-valor} < 0,001$ ) (figura 65 a).

Correlações do tipo forte e negativa foram observadas em relação a umidade da serapilheira (U, g) ( $r = -0,702$ ,  $p\text{-valor} < 0,001$ ) (figura 65 b), entre a RSP e a CRH da serapilheira (%) ( $r = -0,723$ ,  $p\text{-valor} < 0,001$ ) (figura 65 c), com a CRH da fração galhos ( $r = -0,715$ ,  $p\text{-valor} < 0,001$ ) e em relação a CRH da fração folhas ( $r = -0,758$ ,  $p\text{-valor} < 0,01$ ).

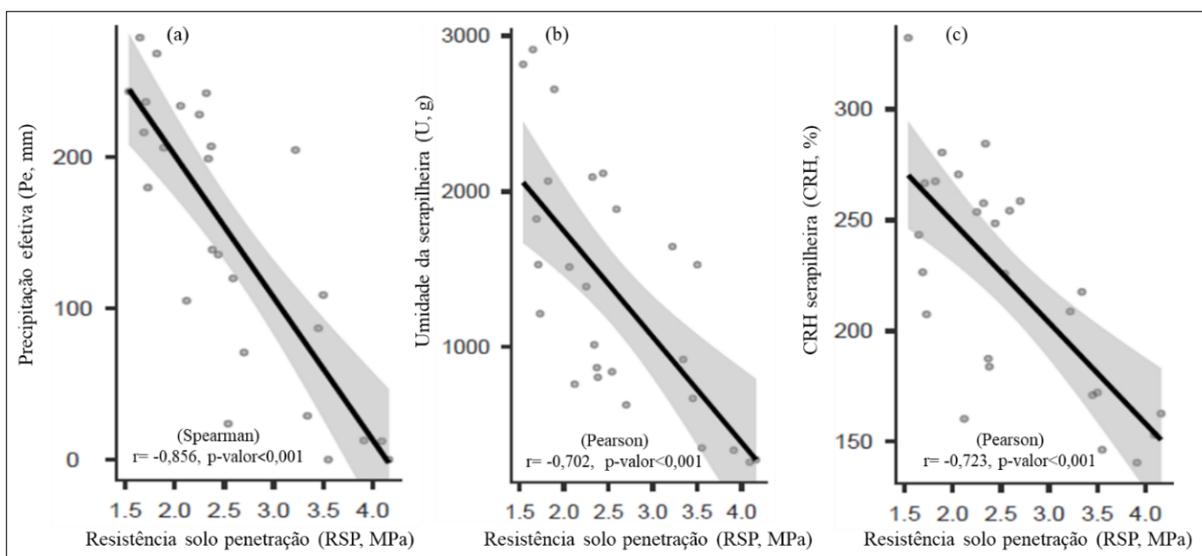
**Figura 64** – (a) distribuição média mensal da Resistência do solo à penetração (RSP, MPa) calculada pela média dos valores de resistência do solo obtidas ao longo do perfil do avaliado, (b) distribuição média dos valores de RSP obtida na profundidade de 0-60 cm e (c) variação da RSP nas estações seca e chuvosa, das áreas inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil. Valores de limites considerando a classificação USDA, (1993)\*.



Fonte: o autor, 2021. \*Soil survey manual, United States Department of Agriculture (USDA).

Correlação do tipo negativa e moderada foram observadas entre a RSP com a densidade do solo ( $D_s$ ,  $g/cm^3$ ) ( $r=-0,422$ ,  $p\text{-valor}=0,040$ ) (figura 66 e) e com a umidade do solo ( $U_s$ , %) ( $r=-0,638$ ,  $p\text{-valor}<0,01$ ). Já correlações significativas do tipo positiva e moderada foram observadas entre a RSP e o estoque acumulado da fração folhas ( $r=0,582$ ,  $p\text{-valor}<0,002$ ) e com a Pt (%) ( $r=0,554$ ,  $p\text{-valor}<0,005$ ) (figura 66 f).

**Figura 65** - Correlação resistência do solo a penetração (RSP, MPa) com (a) precipitação efetiva (Pe, mm), (b) umidade da serapilheira (U, g), e (c) a capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH, %).



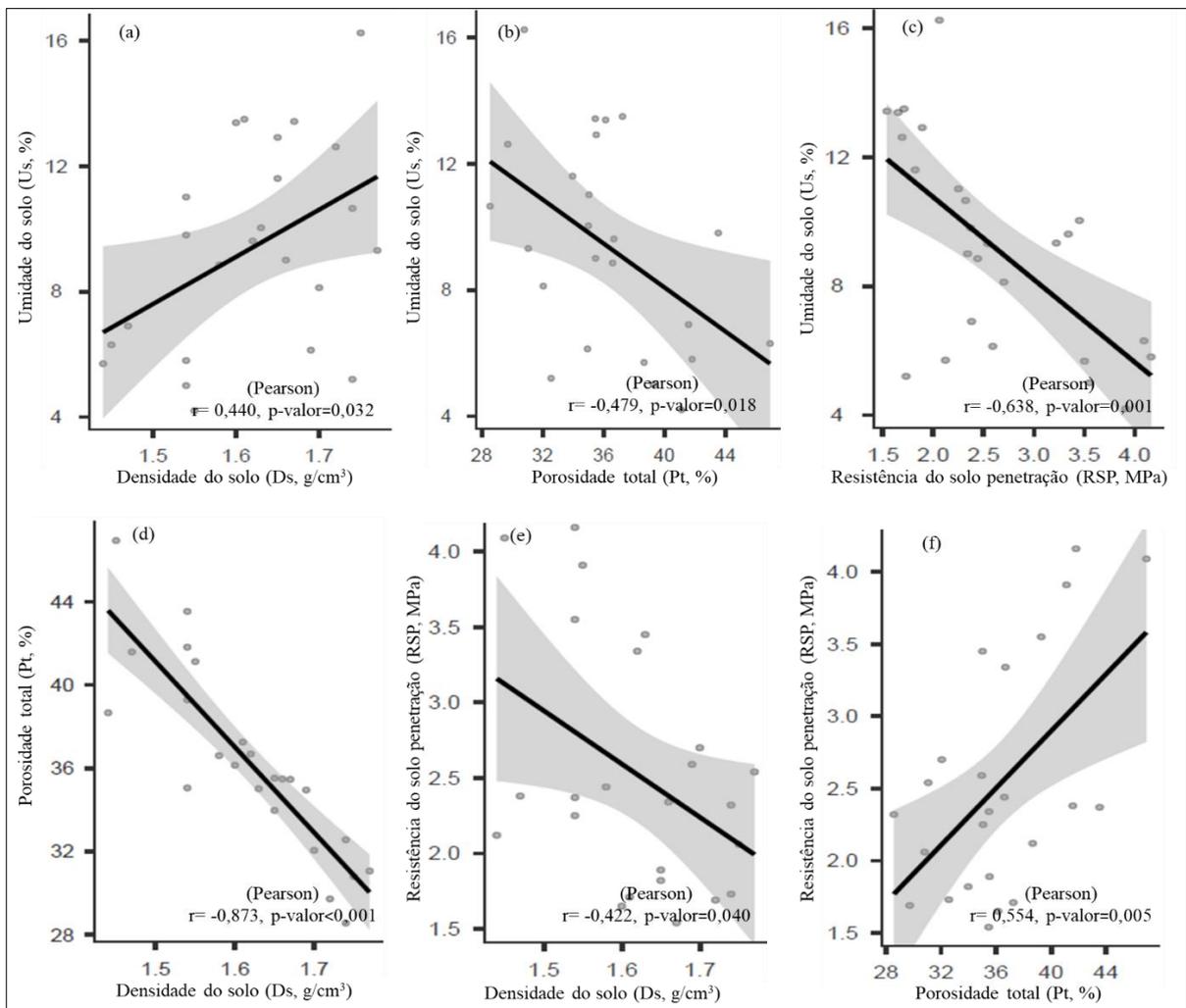
Fonte: o autor, 2021.

**Tabela 13** - Estatística descritiva da umidade do solo (U, %), densidade do solo ( $D_s$ ,  $g/cm^3$ ) e da porosidade total (Pt, %) e da resistência do solo a penetração (RSP, MPa) dos valores obtidos nas áreas denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.

Medidas	Umidade do solo (U,%)		Densidade do solo ( $D_s$ , $g/cm^3$ )		Porosidade total (Pt, %)		Resistência do solo a penetração (RSP, MPa)	
	AN	AE	AN	AE	AN	AE	AN	AE
<b>Mínimo</b>	5.83	4.20	1.45	1.44	28.56	29.72	1.65	1.54
<b>Máximo</b>	16.24	13.49	1.75	1.77	46.93	41.12	4.16	3.91
<b>Média</b>	9.85	8.64	1.60	1.64	36.84	35.64	2.69	2.50
<b>Desvio Padrão</b>	2.89	3.54	0.10	0.09	5.54	3.33	0.81	0.82
<b>Cv (%)</b>	29.37	40.96	6.06	5.67	15.03	9.35	30.03	32.98

Fonte: o autor, 2021.

**Figura 66** - Correlações significativas observadas entre a umidade do solo ( $U_s$ , %), a densidade do solo ( $D_s$ ,  $g/cm^3$ ), porosidade total ( $P_t$ , %), resistência do solo à penetração (RSP, MPa) nas áreas de estudo denominadas área natural (AN) e área explorada (AE), inseridas na Flona do Jamari, Rondônia, Brasil.



Fonte: o autor, 2021.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Textura do solo

Por meio da análise granulométrica dos solos das áreas de estudo foi possível observar a prevalência e dominância da fração areia sob as frações argila e silte. A partir dos valores médios das frações do solo obtidos para cada área, o solo da AN foi classificado como Franco argila arenosa e os solos da AE como Franco arenosa, correspondendo a solos de boa drenagem, em que a água infiltra com facilidade, e por isso, apresentam baixa umidade e não armazenam água (SILVA *et al.*, 2021).

As diferenças observadas entre as frações areia e argila entre as áreas não são incomuns. De acordo com Souza *et al.*, (2004), os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em áreas da mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa, como observado nesse estudo. Essa desuniformidade está associada provavelmente, às características do solo, relacionadas com os fatores e processos de formação (Schaffrath *et al.*, 2008).

#### **4.2 Umidade (Us, %), densidade (Ds, g/cm<sup>-3</sup>) e porosidade total (Pt, %)**

Mesmo não sendo observadas diferenças significativas na umidade média dos solos das áreas analisadas neste estudo, as taxas de umidade nos solos da AN foi superior ao observado na AE, sendo possível observar variações nas taxas de umidade entre as áreas em cada mês, confirmando a variabilidade temporal e espacial deste parâmetro, já relatados por outros autores (GUARIZ, *et al.*, 2009), especialmente nas florestas, onde o insumo da água varia consideravelmente em pequena escala devido a redistribuição da água pelo dossel (METZGER *et al.*, 2017).

Os valores máximos e mínimos da umidade do solo foram observados, respectivamente, nos meses de maior e menor disponibilidade hídrica, indicando a influência da sazonalidade climática da região como uma das responsáveis pela definição do comportamento e variação da umidade nos solos avaliados no estudo. A influência da sazonalidade sobre os padrões de comportamento da umidade do solo foi relatada para uma variedade de coberturas terrestres (ROSENBAUM *et al.*, 2012; METZGER *et al.*, 2017). As correlações obtidas entre as variáveis (Us x Pe) corroboram esta afirmação.

As diferenças no volume da precipitação efetiva registradas entre as áreas, em que a AN registrou acúmulo  $\cong 20\%$  maior em relação a AE podem justificar as diferenças na umidade do solo entre as áreas. Em estudo que analisou a dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano, foi observado um maior incremento na umidade do solo para as áreas a jusante, onde houve 32,7 mm de chuva a mais, resultando em uma elevação de 142,4% e 127,8% para as áreas analisadas (MELO & MONTENEGRO, 2015).

Outro aspecto que contribui diretamente para a manutenção da umidade do solo nas áreas analisadas é o estoque de serapilheira acumulada sob o solo, que atua reduzindo a temperatura (JARAMILLO-ROBLEDO e GÓMEZ-GOEZ, 1989) e conservando a umidade do

solo (CARAMORI *et al.*, 1995). Mesmo não sendo observadas variações significativas no estoque de serapilheira entre as áreas, é possível identificar diferenças na sua composição, sendo observado que na AN as frações amorfo e sementes, que apresentam elevada capacidade de retenção hídrica apresentaram estoque superior em comparação à AE (ver capítulo 2).

Ao analisarmos as taxas da umidade dos solos entre as áreas no período de menor disponibilidade hídrica (estação seca), é possível perceber que a umidade do solo da AN mantém taxas superiores em comparação a AE, indicando que a camada de serapilheira acumulada sob o solo se apresenta como fator preponderante para manutenção da umidade do solo (RESENDE *et al.*, 2005).

Pois de acordo com Nobre & Gash (1997), em solos sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica tende a ser máxima, o que favorece a retenção de teor de água no solo. Comportamento semelhante também foi observado por Silva *et al.*, (2012) em estudo que avaliou a RSP de um Plintossolo Háplico em quatro profundidades, sob diferentes usos (cultivo antecessor, leguminosas e vegetação espontânea) em um Sistema Agroflorestal.

As correlações observadas entre a umidade do solo e o estoque de serapilheira das áreas de estudo e sua capacidade de reter água reforçam essa afirmação, visto que a camada de serapilheira se configura como uma barreira de transição entre a água que incide sob o piso da floresta e o solo.

Cabe destacar que a vegetação da área natural apresentou densidade de indivíduos superior à área explorada, promovendo maior interação com o ambiente e sombreamento do solo desta área, influenciando diretamente na umidade do solo. Comportamento semelhante também foi observado em estudo que comparou diversos usos da terra (cultivo de banana, pastagem degradada, sistema silvipastoril e mata nativa), sendo constatado que em relação a umidade do solo, a mata nativa se sobressaiu aos demais usos, sendo atribuído pelos autores que o sombreamento influenciou diretamente na umidade do solo (IORI *et al.*, 2012).

Esta mesma influência também foi atribuída a maior umidade do solo sob mata nativa nas camadas superficiais em comparação com outros usos do solo, em estudo que avaliou a resistência do solo a penetração em uma Unidade de Referência Tecnológica de integração lavoura-pecuária-floresta em solos de textura média na região Amazônica (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A maior densidade de indivíduos florestais observados na AN, também pode estar favorecendo a manutenção da umidade no solo, em função da redistribuição espacial da precipitação, devido a interceptação dossel e o gotejamento de folhas. A influência das espécies

florestais nos padrões de recarga de água no solo foi relatada em estudo que avaliou o papel das espécies em uma floresta mista de faia (*Fagus sylvatica* L.) e abeto norueguês [*Picea abies* (L.) Karst.] (JOST *et al.*, 2004).

A maior presença de indivíduos também pode estar condicionando a maior umidade no solo em função da dinâmica de absorção de água pelas raízes (FERNANDES-ILLESCAS *et al.*, 2001) que tendem a ser maior em florestas (SHUME *et al.*, 2003).

As diferenças observadas em relação as frações granulométricas entre os solos, modificando sua textura é outro fator que pode estar contribuindo para as diferenças na umidade do solo entre as áreas, pois de acordo com Vereecken *et al.*, 2007, a variabilidade em relação ao teor médio de umidade do solo é afetada por suas propriedades, incluindo sua estrutura e textura, devido à sua influência nas propriedades hidráulicas do solo.

A umidade e a densidade dos solos são atributos físicos importantes para serem utilizados como indicadores da qualidade dos solos (MELLONO *et al.*, 2008; DA SILVA *et al.*, 2011; STEFANOSKI *et al.*, 2013). A densidade do solo é normalmente utilizada como um parâmetro indicador pela sua simples determinação e sua relação muito próxima com outras propriedades físicas do solo, como o desenvolvimento das plantas, a umidade e a porosidade.

Mesmo não existindo consenso entre autores sobre o nível crítico da densidade do solo, ou seja, o valor acima do qual o solo é considerado compactado (RICHART, A. *et al.*, 2005), existe a afirmação de que a densidade do solo varia de acordo com suas características, indicando que solos de textura arenosa apresentam valores entre 1,25 e 1,70 Mg.m<sup>-3</sup>, sendo os menores valores considerados para condições de mata e os maiores para solos muito compactados (TORRES e SARAIVA, 1999).

Com base nessas referências, é possível observar que densidade dos solos (Ds, g/cm<sup>3</sup>) das áreas investigadas no estudo apresentaram valores médios de Ds que se enquadram nos limites definidos na literatura para solos de textura arenosa.

O valores obtidos neste estudo estão de acordo com os valores de Ds observados por Lima *et al.*, (2022), que ao avaliar os impactos causados nos atributos físicos do solo em solos de florestas convertidas em pastagens no estado de Rondônia encontrou valores de Ds no ambiente de floresta variando entre 1,16 e 1,40 g/cm<sup>-3</sup> em ambas as profundidades analisadas. Com base nessa relação, é possível afirmar que os solos das áreas de estudo apresentaram densidade moderada nas camadas mais superficiais evoluindo para Ds alta em profundidade, atingindo valores críticos ao desenvolvimento radicular a partir dos 15 cm de profundidade.

Embora não tenha sido observada diferenças significativas entre as áreas, a densidade do solo foi maior na AE, o que pode estar relacionado ao efeito do tráfego de máquinas utilizadas para o arraste de toras nesta área (TORMENA *et al.*, 2002).

Este comportamento de elevada Ds em ambiente de floresta pode ser explicado pela característica arenosa dos solos das áreas, que tendem a apresentar altos valores de densidade, sendo esta característica diretamente relacionado com as partículas de origem primária destes solos (FERRAZ *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2021).

Destaca-se ainda que solos de textura média (150 a 350 g/kg-1 de argila) como os solos das áreas de estudo tendem a apresentar valores de Ds naturalmente elevados (BRITO *et al.*, 2018). As correlações entre a umidade do solo (Us, %) e a densidade (Ds, g/cm<sup>-3</sup>) observadas nas áreas reforçam essa condição, pois mesmo sendo observada correlação significativa entre elas, estas foram do tipo moderada demonstrando que a densidade do solo na camada de 0-10 cm está mais fortemente relacionada com outras variáveis e condições.

Quando analisamos o comportamento da densidade do solo em relação a porosidade total é possível observar uma forte correlação negativa entre elas, significando que a densidade do solo é inversamente proporcional a porosidade, sendo normalmente observado que ocorre uma redução na porosidade com o aumento da densidade do solo, com os efeitos mais sentidos na macroporosidade (BERGAMIN *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

Esse comportamento está ligado a diminuição dos espaços vazios ocasionados pelo rearranjo das partículas sólidas do solo, influenciados pelo movimento da água do solo. Bertolini *et al.*, (2019) avaliando as propriedades físicas do solo em áreas de floresta em sucessão secundária e em processo de restauração passiva no município de Guarapuava, estado do Paraná observou que a densidade do solo apresentou correlação significativa e negativa com a porosidade total nas três camadas avaliadas.

As taxas de porosidade total (Pt, %) dos solos das áreas analisadas neste estudo, apesar de não terem apresentado diferenças significativas entre elas, foram maiores na AN que também apresentou maior amplitude de variação. Os altos percentuais de porosidade foram observados em ambas as áreas, fato que pode estar relacionado a influência da floresta nas propriedades físicas dos solos. A influência da vegetação foi registrada por Silva e Martins (2010), que ao avaliar sistema radicular e propriedades físicas do solo em plantios de cafezais com diferentes espaçamentos, constataram que o aumento da quantidade de raízes proporcionou maiores valores de porosidade total.

Sobre a influência da camada de matéria orgânica e serapilheira no solo, Spera *et al.*, (2010) e Santos e Pereira (2013) afirmam que a agregação e coesão das partículas do solo derivadas da matéria orgânica contribui para o aumento da porosidade do solo, permitindo que haja uma maior retenção e acúmulo de água, favorecendo sua transferência para o solo por meio da infiltração. Esta constatação é reforçada pelas correlações significativas entre a umidade do solo e a umidade da fração amorfo observadas apenas na AN onde o estoque desta fração apresentou maior acúmulo em comparação com a AE (ver capítulo 2).

### 4.3 Resistência do solo à penetração (RSP)

Diversos autores consideram a resistência do solo à penetração (RSP) como uma adequada propriedade para expressar a facilidade de penetração das raízes no solo e o grau de compactação do mesmo (RIBON *et al.*, 2003; SILVEIRA *et al.*, 2010).

Os valores médios da resistência do solo a penetração (RSP, MPa) apresentados neste estudo estão classificadas de baixa a alta, segundo a classificação *Soil survey manual* (1993) (Tabela 14), que considera valores até 1,0 MPa como uma resistência a penetração baixa e até 4 MPa como alta, sendo que para alguns autores, valores de RSP superiores a 2 MPa podem ser considerados impeditivos ao desenvolvimento radicular (TORMENA *et al.*, 1998; PEREIRA; THOMAZ, 2015; PEREIRA, LOCATELLI E SOUZA, 2016).

Com base neste parâmetro, os valores médios da resistência a penetração observados mensalmente nos solos das áreas de estudo podem ser considerados elevados, podendo tais resultados estar relacionados à impedimentos físicos ocasionados pela presença de raízes existentes nas áreas; pela variação da umidade do solo registradas no período de monitoramento, ou ainda em função da textura dos solos (STEFANOSKI *et al.*, 2013; OLIVEIRA, *et al.*, 2015).

Em relação a textura do solo que é uma característica que se relaciona com sua composição, e, portanto, trata-se de uma das propriedade físicas que influenciam diretamente no seu comportamento, os solos das áreas analisadas foram enquadrados na classe textural Franco-argilo-arenosa (AN) e Franco arenosa (AE), que são tipos de solos que pelo rearranjo das partículas de diferentes tamanhos contribuem para a diminuição do espaços vazios do solo, incrementando a densidade e a resistência do solo a penetração (LEBERT, 1994).

Em estudo para avaliar a existência de camadas de compactação por meio de valores da RSP em 3 classes texturais de solo em área de produção de cana-de-açúcar em região de

vegetação com características de transição entre Cerrado e Floresta Amazônica os maiores valores de RSP foram registrados na classe textural Franco-argilo-arenosa (LIMA *et al.*, 2013).

A resistência do solo a penetração geralmente apresenta relação direta com a densidade do solo, textura do solo, teor de matéria orgânica e o conteúdo de água (FERRAZ *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015) portanto, o maior conteúdo de água no solo exercerá influência negativa a essa resistência.

O comportamento da variação da RSP entre os meses analisados durante o período hidrológico aponta para a existência de uma relação direta entre os valores máximos e mínimos da RSP com o período do ano, sendo este comportamento relacionado a variação da umidade do solo em cada período (FERRAZ *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2021), pois quanto menor a umidade no solo maior será a resistência a penetração, fato atribuído ao menor efeito lubrificante da água ao redor das partículas em solo com menor teor de umidade (TORMENA, 1998), e quando o solo está seco, ou apresenta baixo conteúdo de água, suas partículas apresentam-se mais próximas e difíceis de serem separadas por forças externas (SILVEIRA *et al.*, 2010).

Essa estreita relação no comportamento entre a umidade a resistência do solo à penetração nas áreas de estudo pode ser mais bem compreendida pelo gráfico de correlação entre elas, que apresentou uma correlação negativa, significando que a variação nos valores de uma dessas variáveis no solo, por incremento ou redução, resultará um efeito contrário na outra, sendo possível afirmar que os valores da resistência a penetração obtidos neste estudo apresentaram uma influência direta da sazonalidade climática durante o período de avaliação, contribuindo para a elevação dos valores desta variável no período seco.

Comportamento semelhante foi encontrado no estudo que avaliou a resistência mecânica do solo à penetração associado à umidade, densidade, Granulometria e Macronutrientes em Ji-Paraná-RO, em que a sazonalidade foi considerada como um fator que contribuiu para o baixo valor de umidade e conseqüente elevação da resistência do solo à penetração (SILVA *et al.*, 2021).

Quando avaliamos o comportamento da RSP das áreas de estudo considerando a profundidade do perfil do solo amostrado, é possível constatar que as menores resistências são observadas nas camadas mais superficiais do solo, principalmente de 0-10 cm, com RSP menores que 1,2 MPa.

Os valores encontrados neste estudo, são semelhantes aos encontrados por Lima *et al.*, (2022) ao avaliar os atributos físicos do solo em áreas de floresta sob conversão em pastagem no estado de Rondônia que encontrou valores de RSP de 1,0 MPa na camada de 0-10cm.

Este comportamento pode ser atribuído em função da maior presença, acúmulo e incorporação de matéria orgânica nesta camada (CARVALHO *et al.*, 2004; CARDOSO *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2015) que atuam de modo conjunto para manutenção de valores mais elevados de umidade, desempenhando papel significativo nas propriedades físicas do solo (PEDROTTI *et al.*, 2001), auxiliando na estruturação e formação de agregados no solo resultando na melhoria da aeração do solo e na infiltração da água (CUNHA *et al.*, 2011).

Essa tendência também foi constatada por Carvalho *et al.* (2004) em um solo sob sistema agroflorestal com seis anos de implantação e cultivo intercalar, que obtiveram baixos valores de RSP em todas as camadas avaliadas, principalmente na superficial (0–10 cm). Os autores atribuíram esses resultados aos efeitos da incorporação de matéria orgânica ao solo. Observou-se uma variação da resistência do solo à penetração em profundidade com formação de um gradiente de maior resistência à penetração com valores superiores aos considerados críticos. Este comportamento observado nas áreas analisadas é frequentemente relatado na literatura (SANTANA *et al.*, 2006; CORRÊA *et al.*, 2008), principalmente na camada de 20-30 cm (VAZ *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2012; SILVEIRA *et al.*, 2010).

Nas áreas de estudo, esse comportamento apresenta uma nítida influência do regime pluviométrico da região, sendo observado uma redução na resistência do solo no período chuvoso; e no período seco ocorre a elevação da RSP já nas camadas mais superficiais do solo, sendo constatado que neste período a elevação da resistência do solo se estende por todo o perfil do solo amostrado. Este comportamento também pode estar relacionado ao adensamento natural do solo, sendo uma tendência de comportamento já observado em ambientes florestais (DA SILVA *et al.*, 2011).

O comportamento nas áreas de estudo em que se observa uma relação negativa entre a umidade presente nos solos com a RSP são amplamente relatados na literatura (LIMA *et al.*, 2010; RIBON *et al.*, 2003; SILVEIRA *et al.*, 2010). Esta característica pode ser estendida para as demais relações observadas entre a RSP com elementos que influenciam a manutenção da umidade dos solos, como a umidade do estoque da serapilheira acumulada, sua capacidade de retenção hídrica (CRH) e a CRH das suas frações.

**Tabela 14** - Classe de resistência do solo à penetração (RSP, MPa) de acordo com a Soil survey manual, United States Department of Agriculture (USDA).

Classes	RSP (MPa)
Extremamente baixa	<0,01
Muito Baixa	0,01 - 0,1
Baixa	0,1 - 1,0
Moderada	1,0 - 2,0
Alta	2,0 - 4,0
Muito alta	4,0 - 8,0
Extremamente alta	>8,0

Fonte: USDA, 1993.

## 5 CONCLUSÃO

Em relação aos atributos utilizados para caracterizar as propriedades do solo, diferenças significativas foram observadas na composição das frações granulométricas areia e argila, possivelmente ocasionadas por diferenças nos processos e fatores de formação do solo.

A diferença na textura dos solos contribuiu para a variabilidade e diferenças nos valores de retenção de umidade no solo entre as áreas.

A manutenção da umidade do solo nas áreas de estudo foi favorecida pela umidade e capacidade de retenção hídrica do estoque de serapilheira acumulada sob o solo, sendo que na AN essa condição foi favorecida pela maior densidade de indivíduos.

Os menores valores de Ds e RSP foram observados na camadas superficiais do solo (0-10 cm) influenciados pela maior presença de matéria orgânica e umidade do solo nesta camada.

## 6 REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AB'SÁBER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. Geomorfologia, São Paulo, n. 52, p. 1-22, 1977. [Republicado em Vegetália, São José do Rio Preto, SP, n. 15, p. 1-20, 1980]

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Brasília: ANA, 2017. Catálogo de Meta Dados da ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>. Acesso em: 04 jun. 2022.

ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; SANTOS, J. C. N.; LOBATO, F. A. O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v. 2, p. 111-120, 2013.

ARAÚJO, A. O. *et al.* Avaliação da resistência a penetração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na chapada do araripe. *Águas Subterrâneas*. 2010. Recuperado a partir de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23075>

AYRES, M., AYRES Jr, M., AYRES, D. L., SANTOS, A. A. S. **Bioestat 5.0 aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: IDSM, 2007.364p.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p 613-622, 2011.

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N. & TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1091-1097, 2012.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CHAVES, SH dos R. et al. Estoque de raízes, serapilheira e carbono no solo de sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. In: Embrapa Amazônia Oriental- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 5., 2016, Belém, PA. Anais. Belém, PA: UEP, 2016. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-156>

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 220-228, 2007.

CORREA, E. S. O efeito da alteração nas entradas pedológicas no modelo de SWAT: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio tapajós. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - Edição Especial do Congresso de Gestão Ambiental do Baixo Amazonas*. v. 9, n. 6. 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0033>

CUNHA NETO, Felipe Vieira *et al.* **ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM QUATRO FORMAÇÕES FLORESTAIS**. *Ciênc. Florest.* [online]. 2013, vol.23, n.3, pp.379-387. ISSN 1980-5098. <https://doi.org/10.5902/1980509810549>.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589- 602, 2011.

FEARNSIDE, P.M. (ed.) 2020. *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus. 368 p. (no prelo).

FERNANDEZ-ILLESCAS, C. P.; PORPORATO, A.; LAIO, F.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. The ecohydrological role of soil texture in a water-limited ecosystem, *Water Resour. Res.* **37**(12), 2863– 2872, 2001. <https://doi.org/10.1029/2000WR000121>

GAMA, M.J. Clima. In: Atlas geoambiental de Rondônia. Porto Velho, SEDAM, 2002. Guariz HR, Campanharo WA, Picoli MHS (2009) Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes cobertura vegetais. *Rev. Bras. De Agroecologia/nov.* 2009 Vol. 4 No. 2

ILEK A., KUCZA J., MORKISZ K. **Hydrological properties of bark of selected forest tree species. Part 2: Interspecific variability of bark water storage capacity**. *Folia Forestalia Polonica*, series A – Forestry, (2017), Vol. 59 (2), 110–122. DOI: 10.1515/ffp-2017-0011

IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M de S.; SILVA, R. B. da. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação Permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 185-195, 2012.

JAMOVI. Versão 1.6.23.9, 2021. Disponível: <https://www.jamovi>.

JOST, G.; SCHUME, H.; HAGER, H. Factors controlling soil water-recharge in a mixed European beech (*Fagus sylvatica* L.)-Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] stand, *Eur. J. Forest Res.*, **123**, 93– 104, 2004. doi:10.1007/s10342-004-0033-7.

KARA, Ö.; BOLAT, I. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 19, n. 4, p. 421–428, 2008.

LEMOIS, R. C.; SANTOS, D. R. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4ª ed. 83p. 2002.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. A. Atributos físico-químico de um latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com

características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010.

IKENS, G.E.; EATON, J.E. Um coletor de fluxo de poliuretano para árvores e arbustos. *Ecologia*, v. 51, n. 5, pág. 938-939, 1970.

MELO, R. de O.; MONTENEGRO, A. A. de A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Versão On-line ISSN 2318-0331 vol. 20, nº. 2. Porto Alegre abr/jun. 2015 p. 430-441. DOI:10.21168/rbrh.v20n2.p430-441

METZGER, J. C. *et al.* Vegetation impacts soil water content patterns by shaping canopy water fluxes and soil properties. *Hydrological Processes*. 2017. v. 31, pages 3783–3795, 30 October 2017. <https://doi.org/10.1002/hyp.11274>

MMA/IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari. Brasília-DF, 2005.  
MOREIRA, F. M. S. *et al.* O ecossistema solo: componentes, relações biológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras. Ed. UFLA, 352p. 2013.

NOBRE C.A., GASH J.H.C. Desmatamento e clima: o maior estudo já feito na Amazônia. *Ciência Hoje*, v.22, n 128, p 32-41, 1997.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de manejo convencional, Município de Reserva – PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 65 – 76, 2015.

PEREIRA, G. E. S.; LOCATELLI, M.; ROBISON, C. S. Compactação, Densidade e Fertilidade do Solo na Área de Preservação Permanente do Igarapé dos Tanques – Porto Velho (RO). *Goiânia*, v.13, n.23, p.1169-1580, 2016. *Revista Biosfera*. ISSN 2317-2606. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016a/ciencias%20sociais/compactacao.pdf> > Acesso: 10 out. 2017.

PLANAFLORO. Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia. Porto Velho, 2000

RAMOS, J. *et al.* Water quality in aguadas within a protected karstic rain forest: The role of the vegetation-soil-water interactions. *Ecological Engineering*. Volume 121, 2018, Pages 2-11, ISSN 0925-8574, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.006>.

RESENDE, F. V.; SOUZA, L. S.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUALBERTO, R. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. *Ciência agrotécnica*, Lavras, v. 29, n. 1, p. 100-105, 2005.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T. RICHART, A. *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. *Revisões. Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.26, n.3, p. 321-344, jul./set. 2005. ISSN: 1676-546X. Disponível em: <https://redalyc.org/articulo.oa?id=445744077016>

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; PEREIRA, G. T.

Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 13-17. 2003.

ROSENBAUM, U. *et al.* Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale, *Water Resources Research.*, v. 48, Issue 10. October 2012.  
<https://doi.org/10.1029/2011WR011518>

SANTOS, D. R. *et al.* Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 7ª ed. rev. ampl. 101p. 2015.

SANTOS, *et al.* Trocas gasosas entre metano e óxido nitroso entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura na região oeste do Pará, Brasil. v. 9 n. 6 (2018): *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - Edição Especial do Congresso de Gestão Ambiental do Baixo Amazonas*. Doi: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0001>

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 20, n. especial, p. 1-9, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.18764/2178-2229.v20n.especialp63-71>

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 20, n. especial, p. 1-9, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.18764/2178-2229.v20n.especialp63-71>

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FIDALSKI, J. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1369-1377, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL. 2002. Atlas Geoambiental de Rondônia. Organizadores: FERNANDES, L.C.; GUIMARÃES, S.C.P. Porto Velho: SEDAM.

SILVA, A. R.; SILVA, L. L.; FRAZÃO, J. J.; SALGADO, F. H. M.; SILVA, M. C.; CORRECHEL, V. Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, Garça, v. 22, n.2, p.x-x, dez 2012.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N., FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistema de manejo na bacia do Alto do Rio Grande – MG. *Ciências Agrotécnicas*, Lavras, v. 29, n. 04, p. 719-730, 2005.

SILVA, S. M. A., *et al.* Resistência mecânica do solo à penetração associado à umidade, densidade, Granulometria e Macronutrientes em Ji-Paraná-RO. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.1, p. 5629-5647 Jan. 2021.

SILVA, V.; L. B.; MARTINS, P. F. S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 96-101, 2010.

SILVA, V.; L. B.; MARTINS, P. F. S. Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos. **Revista Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 96-101, 2010.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, A. A. S. do.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 659-667, 2010.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. & SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:659-667, 2010.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Examination And Description Of Soils**. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S Department of Agriculture Handbook 18. Cap. 3, p. 1-110, 1993.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, J. J.; PEREIRA G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.51-58, 2004.

SPERA, S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura- produção integração lavoura---pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

SPERA, S.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura- produção integração lavoura---pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010.

STEFANOSKII, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R. L. PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.17, n.12 Campina Grande, 2013.

TSUI, C. C.; CHEN, Z. S.; HSIEH, C. F. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p.131–142, 2004.

USDA, Soil survey manual. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, (Handbook, 18).437p. 1993.

VERECKEN, H., *et al.* Explaining soil moisture variability as a function of mean soil moisture, A stochastic unsaturated flow perspective, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L22402, 2007. doi:10.1029/2007GL031813.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C. & TULLER, M. Modelling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. *Geoderma*, 166, 92-101, 2011.

## 7 APÊNDICE

**Apêndice A 7** - Valor médio mensal e no período da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) dos solos da área natural (AN) inseridos na Flona do Jamari, medidos com Penetrôgrafo digital na profundidade de 0-60 cm, expressos em MPa durante o período de monitoramento.

RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO (MPa)														
Área Natural (NA)														
Prof. (cm)	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Média prof.
5-10	0,41	0,22	0,21	0,24	0,15	0,30	0,44	0,53	0,51	0,71	0,63	0,51	0,54	0,42
10-15	1,00	0,76	0,92	0,63	0,45	0,93	1,11	1,31	1,33	2,30	1,61	1,31	1,30	1,15
15-20	2,06	1,76	1,75	1,14	1,03	1,66	1,64	2,12	2,60	4,16	3,84	2,05	2,22	2,16
20-25	3,41	2,87	2,42	1,63	1,52	2,23	2,10	2,71	3,30	4,95	4,86	2,66	2,54	2,86
25-30	3,83	3,24	2,86	2,17	1,95	2,60	2,43	3,22	3,96	4,25	4,81	2,73	2,80	3,14
30-35	4,00	3,23	3,13	2,34	2,12	2,73	2,54	3,55	3,64	4,54	3,86	2,83	3,06	3,20
35-40	3,95	3,29	2,96	2,38	1,99	2,86	2,30	3,41	4,10	5,47	5,84	2,82	2,70	3,39
40-45	4,04	3,13	2,64	2,14	2,06	2,93	2,20	3,32	4,37	4,74	4,67	2,58	2,80	3,20
45-50	4,14	2,85	2,45	2,16	2,07	2,86	2,26	3,26	4,53	5,63	4,20	2,42	2,51	3,18
50-55	3,83	2,77	2,49	2,34	2,04	2,97	2,39	2,91	4,63	4,96	4,45	2,70	2,53	3,15
55-60	3,95	2,67	2,48	2,30	2,12	2,85	2,64	2,86	4,09	3,67	4,71	2,89	2,70	3,07
<b>Média mensal</b>	3,22	2,44	2,25	1,82	1,65	2,32	2,06	2,70	3,45	4,16	4,09	2,38	2,37	

Fonte: organizado pelo autor, 2021.

**Apêndice A 8** - Valor médio mensal e no período da Resistência Mecânica à Penetração (RMP) dos solos da área explorada (AE) inseridos na Flona do Jamari, medidos com Penetrôgrafo digital na profundidade de 0-60 cm, expressos em MPa durante o período de monitoramento (outubro/19 a outubro/20).

RESISTÊNCIA MECÂNICA A PENETRAÇÃO (MPa)														
Área Explorada (AE)														
Prof. (cm)	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Média prof.
5-10	0,39	0,82	0,23	0,25	0,13	0,34	0,38	0,50	0,88	0,55	0,84	0,45	0,39	0,47
10-15	1,15	0,96	0,90	0,58	0,38	0,57	0,76	1,22	1,62	2,25	2,52	1,25	0,74	1,15
15-20	2,50	1,91	1,46	1,07	0,82	1,08	1,30	1,72	2,54	3,54	3,67	2,00	1,23	1,91
20-25	3,91	2,73	2,15	1,66	1,51	1,44	1,64	2,30	3,03	3,55	3,45	2,43	1,53	2,41
25-30	4,25	3,24	2,81	2,03	1,78	1,77	1,77	2,73	3,02	4,56	3,83	2,68	1,69	2,78
30-35	4,58	3,23	3,01	2,47	2,02	2,10	1,79	2,81	3,25	3,97	4,30	2,36	1,74	2,90
35-40	4,72	3,16	2,99	2,46	1,88	2,19	1,84	2,93	3,68	3,45	4,18	2,17	1,90	2,89
40-45	4,51	2,98	2,73	2,30	1,77	2,11	1,96	3,03	3,80	3,66	4,92	2,21	2,02	2,92
45-50	4,30	2,86	2,75	2,29	1,95	2,00	2,18	3,15	4,28	4,81	5,28	2,32	2,25	3,11
50-55	3,88	2,92	2,99	2,57	2,09	2,11	2,40	3,25	4,56	4,84	5,37	2,42	2,50	3,22
55-60	3,85	3,05	2,95	2,49	2,01	2,12	2,31	3,32	4,61	3,74	4,63	2,58	2,36	3,08
<b>Média mensal</b>	3,50	2,59	2,34	1,89	1,54	1,69	1,71	2,54	3,34	3,55	3,91	2,12	1,73	

Fonte: organizado pelo autor, 2021.

## 8 CAPÍTULO IV - CONCLUSÃO GERAL

Por meio do estudo integrado dos distintos compartimentos de ambientes florestais amazônicos, foi possível o reconhecimento de diferenças na densidade de indivíduos entre as áreas, e o registro de aspectos peculiares da estrutura da vegetação, como o reconhecimento da elevada variabilidade de indivíduos florestais, mesmo as áreas estando inseridas na mesma região fisiográfica.

Através da pesquisa foi possível analisar a distribuição das chuvas nas parcelas de monitoramento, permitindo a compreensão sobre a influência da sazonalidade Amazônica, na modelagem do regime pluviométrico nestes ambientes e no condicionamento do comportamento hidrológico local. A análise integrada entre a variável hidrológica da precipitação com as características da estrutura da vegetação favoreceu a compreensão das suas interações, permitindo o entendimento sobre a interceptação da água da chuva pelo dossel e seu transporte até o solo da floresta por meio do processo de escoamento pelo tronco.

A pesquisa permitiu a obtenção de informações para subsidiar a análise das relações entre o estoque da serapilheira e a umidade do solo, e a compreensão sobre a importância dessa camada de serapilheira para a manutenção da umidade, sendo as interações destes elementos determinantes para a constituição das características do solo e seu comportamento.

A análise destas variáveis (umidade do solo e o estoque da serapilheira) permitiram identificar as frações que possuem a maior capacidade de retenção hídrica. Em relação a essa capacidade, o estudo permitiu observar a existência de diferenças entre a capacidade de retenção hídrica da serapilheira e sua efetiva capacidade em reter umidade, quando analisadas considerando a condição ideal (laboratório) e a condição real (em campo).

Os elevados valores da precipitação efetiva em ambas as áreas monitoradas, que se mostraram superiores aos valores da precipitação em aberto, principalmente na estação seca sugerem que eles foram influenciados pela ocorrência do fenômeno denominado de precipitação oculta, que é um parâmetro climático importante, resultado da intensa condensação noturna, já observado durante a madrugada na região amazônica.

Ao concluir este estudo, foi possível reconhecer a complexidade para compreensão e interpretação da dinâmica hídrica em ambientes florestais amazônicos, frente aos muitos e complexos fatores que interagem e condicionam o comportamento hídrico nestes locais. No entanto, ressalta-se a importância da contribuição deste tipo de estudo, e o apelo para que sejam

empenhados maiores esforços e o incentivo ao desenvolvimento de projetos de pesquisa que tenham como objetivo a busca de informações que promovam a compreensão dos ambientes amazônicos e favoreçam a preservação deste conjunto serviços ambientais que fornecem valiosa contribuição para a gestão dos recursos hídricos.

Por fim, com base nos resultados obtidos é possível concluir que a hipótese proposta “de que as atividades de exploração pelo Manejo Florestal Sustentável modificam as características da vegetação ocasionando alterações no volume, nos caminhos e na distribuição da água da chuva, bem como no armazenamento desta água no interior da floresta”, é verdadeira.