

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JANAINA NUNES ROQUE

**INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM *Eucalyptus globulus* NO BIOMA
PAMPA EM CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Caçapava do Sul

2024

JANAINA NUNES ROQUE

**INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM *Eucalyptus globulus* NO BIOMA
PAMPA EM CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia.

Orientador: Rafael Matias Feltrin

Coorientador: Marco Antonio Fontoura Hansen

Caçapava do Sul

2024

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

R786i Roque, Janaina Nunes
INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM Eucalyptus globulus NO BIOMA
PAMPA EM CAÇAPAVA DO SUL – RS / Janaina Nunes Roque.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2024.
"Orientação: Rafael Matias Feltrin " .

1. Eucalyptus globulus. 2. Precipitação. 3. Interceptação
pluviométrica. 4. Escoamento. I. Título.

JANAINA NUNES ROQUE

**INTERCEPTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM *Eucalyptus globulus* NO BIOMA
PAMPA EM CAÇAPAVA DO SUL – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 11 de dezembro de
2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dra. Mayara Bitencourt

(UNIPAMPA)

Prof. Me. Paulo Castro Cardoso da Rosa

(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **MAYARA BITENCOURT LEAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2024, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2024, às 20:52, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **PAULO CASTRO CARDOSO DA ROSA, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 18/12/2024, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1632239** e o código CRC **AA54B7A9**.

Dedico este trabalho à minha mãe de outras vidas, Alcina Alves, ao meu pai, Ademar Maciel, e à minha mãe, Tanismar Nunes. Pessoas que me deram a vida, força e apoio nos momentos em que mais precisei.

AGRADECIMENTO

Aos meus deuses, pela força e coragem concedidas para persistir e jamais desistir de meus sonhos, mantendo-me equilibrada mesmo nos momentos mais desafiadores da graduação.

Ao Victerbo e, em especial, à minha sogra Alcina Alves, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, me apoiando com perseverança e carinho incondicionais. Sua força e dedicação são um exemplo de luta e inspiração, e seu apoio foi fundamental para que eu conseguisse superar grandes desafios, incluindo a batalha contra o câncer.

Aos meus pais, Ademar Maciel e Tanismar Nunes, que me deram a vida e sempre fizeram o possível para me ver feliz e realizada. Agradeço por me proporcionarem a liberdade de trilhar meu próprio caminho, o que me permitiu me tornar a pessoa determinada e resiliente que sou hoje. Sou eternamente grata pelo amor incondicional.

Ao meu companheiro e melhor amigo, Francis Amaro, cuja sabedoria e apoio foram fundamentais durante minha recuperação e enfrentamento do câncer. Obrigada por ser um guia constante, sempre pronto para me ajudar a tomar as melhores decisões e a não desistir.

À minha "mãedrastra" Cátia Pereira, que me criou como filha e sempre esteve ao meu lado, oferecendo apoio, conselhos e carinho. Sua presença e amor inabaláveis são parte essencial do meu crescimento e conquistas.

Aos meus irmãos, Cristiano Roque, Bruna Roque, Cristian Roque, Adriele Nunes, Jaine Nunes e Gabriel Nunes, que, mesmo distantes, sempre me apoiaram e se orgulhavam de minhas conquistas, inspirando-me a seguir em frente.

Às minhas melhores amigas Charlene Coelho, Karina Miranda e Bruna Roque, pelo apoio, compreensão e lealdade. Sua amizade verdadeira tem sido uma fonte constante de força e motivação.

À Dra. Sarita, médica dedicada que cuidou de meu tratamento com sensibilidade e compromisso, e à ginecologista Dra. Fernanda, pela orientação e apoio durante o processo de cirurgia e recuperação.

Aos amigos de graduação, Diego da Rosa e Nicoli Felipe, pela amizade, incentivo e pelas memórias compartilhadas ao longo da jornada acadêmica.

Ao Sr. Matusalém, proprietário que autorizou o estudo na área de eucaliptos, pelo apoio e colaboração.

Ao Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin, orientador deste trabalho, por sua orientação, ideias inovadoras e apoio constante. Obrigada por despertar meu interesse pela hidrologia.

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen, que despertou em mim o interesse pelo sensoriamento remoto, área pela qual desenvolvi grande afinidade, e à Profa. Dra. Mayara Bitencourt, cuja determinação e inteligência servem de inspiração.

Ao Diretor do Campus, José Waldomiro, pelo compromisso em proporcionar as melhores condições aos alunos, e aos professores da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), por seu apoio e dedicação ao ensino.

E em especial a minha banca de defesa Profa. Dra. Mayara Bitencourt, Prof. Paulo Castro Cardoso da Rosa e Profa. Dra. Jessica Weiler.

“Só é capaz de mudar o mundo aqueles que realmente acreditam que podem.”

Ash

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a interceptação pluviométrica em áreas de plantio de *Eucalyptus globulus* no Bioma Pampa, em Caçapava do Sul - RS. Inserido no contexto das interações entre floresta e hidrologia, o estudo abordou os impactos do manejo florestal no equilíbrio hídrico e nos fluxos associados à precipitação. A pesquisa buscou compreender os processos hidrológicos, com ênfase na precipitação incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco, utilizando dados coletados por pluviômetros e técnicas de medição em campo. Os resultados indicaram que, em 2024, o total acumulado de precipitação interceptada foi de 1.054,22 mm, correspondendo a 49,6% da precipitação incidente, enquanto em 2023 esse valor foi de 516,32 mm, ou 32,2%. Além disso, o escoamento pelo tronco foi responsável por 0,85% da precipitação total registrada, destacando sua contribuição para o fluxo hídrico. Os dados evidenciam a influência da densidade do dossel e da sazonalidade das chuvas na modulação do ciclo hidrológico. O manejo florestal adequado é essencial para otimizar os benefícios hidrológicos em áreas de plantio de *Eucalyptus globulus*. Práticas como o controle da densidade do plantio, a manutenção de áreas de vegetação nativa adjacentes e o monitoramento periódico das condições do solo contribuem para reduzir perdas hídricas excessivas e promover uma maior infiltração da água no solo. Essas estratégias minimizam o impacto sobre os recursos hídricos e garantem a sustentabilidade da atividade florestal. O estudo reforça a importância de alinhar práticas de manejo florestal às especificidades climáticas e hidrológicas locais, potencializando os serviços ecossistêmicos prestados por esses sistemas.

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, precipitação, interceptação pluviométrica, escoamento.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze rainfall interception in *Eucalyptus globulus* plantation areas within the Pampa Biome, in Caçapava do Sul, RS, Brazil. Framed within the context of forest-hydrology interactions, the study addressed the impacts of forest management on water balance and precipitation-related flows. The research focused on understanding hydrological processes, emphasizing gross precipitation, throughfall, and stemflow, using data collected from rain gauges and field measurement techniques. The results indicated that in 2024, the total cumulative intercepted rainfall was 1,054.22 mm, corresponding to 49.6% of the gross precipitation, while in 2023, this value was 516.32 mm, or 32.2%. Additionally, stemflow accounted for 0.85% of the total recorded precipitation, highlighting its contribution to the hydrological flow. The data revealed the influence of canopy density and seasonal rainfall patterns in shaping the hydrological cycle. Adequate forest management is essential to optimize hydrological benefits in *Eucalyptus globulus* plantations. Practices such as controlling planting density, maintaining adjacent native vegetation areas, and regularly monitoring soil conditions contribute to reducing excessive water losses and enhancing water infiltration into the soil. These strategies minimize impacts on water resources and ensure the sustainability of forestry activities. The study reinforces the importance of aligning forest management practices with local climatic and hydrological characteristics, thereby maximizing the ecosystem services provided by these systems.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, precipitation, rain interception, runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico, destacando os processos de precipitação, interceptação, infiltração, escoamento e evapotranspiração.....	23
Figura 2 - Elementos do processo de interceptação da precipitação em florestas.	27
Figura 3 - Aspectos gerais da área de estudo: (A) visão panorâmica da plantação de <i>Eucalyptus globulus</i> ; (B) perspectiva da extensão e altura das árvores, utilizando escala humana como referência; e (C) vista interna da mata, ressaltando as características estruturais do ambiente.....	29
Figura 4 - Identificação da espécie de <i>Eucalyptus globulus</i> utilizando o aplicativo Plantify.....	29
Figura 5 - Localização da área de monitoramento de interceptação pluviométrica na Mata de <i>Eucalyptus globulus</i>	30
Figura 6 – Configuração dos equipamentos utilizados no monitoramento: (a) instalação das mangueiras para coleta do escoamento pelo tronco, (b) preparo de cavidades no solo para fixação dos pluviômetros, (c) marcação do volume nos pluviômetros e (d) georreferenciamento do ponto por GPS.	32
Figura 7 – Comparação entre a vegetação: destacando a área de <i>Eucalyptus globulus</i> (A) e a mata nativa (B).	32
Figura 8 – Conjunto de imagens ilustrativas: (A e B) Monitoramento do escoamento pelo tronco; (C) Visão ascendente da copa das árvores; e (D) Instalação das mangueiras com o uso de espuma expansiva.	33
Figura 9 – Medição para obter o raio médio da copa das árvores de <i>Eucalyptus globulus</i> e sua influência no monitoramento do escoamento pelo tronco.	36
Figura 10 - Distância entre os pontos de coleta do escoamento pelo tronco, determinada por meio do Google Earth.	36
Figura 11 – (a) Medição da distância entre os troncos dos pontos; (b) Visão da copa da árvore a partir do solo.....	37
Figura 12 – Processo de instalação dos pluviômetros: (a) Posicionamento dos dispositivos; (b) Fixação dos bocais coletores; e (c) Estabilização no solo com estacas.....	39

Figura 13 – Monitoramento da interceptação interna e estrutura da copa das árvores: (a) Equipamento instalado para interceptação interna; e (b) Visualização da copa do <i>Eucalyptus globulus</i>	40
Figura 14 – Mapa de localização e distâncias entre os pontos de monitoramento de precipitação externa, medidos por meio do Google Earth.....	42
Figura 15 – Monitoramento da precipitação externa e cobertura do céu: (A e B) Ponto de coleta 1; (C e D) Ponto de coleta 2; (E e F) Ponto de coleta 3.	43
Figura 16 – Mapa de localização dos pontos de monitoramento: área interna de <i>Eucalyptus globulus</i> e área externa para precipitação incidente.....	44
Figura 17 – Gráfico de exemplo do mês com maior precipitação no ano de 2023.	45
Figura 18 – Registro fotográfico (a) e (b) das precauções adotadas para mitigar o impacto do fluxo de animais na mata e imprevistos enfrentados durante o estudo, além do constante encontro com animais e situações de risco (c) e (d).	46
Figura 19 - Visualização da copa das árvores (a) e (b) ano de 2024, (c) e (d) ano de 2023, evidenciando o formato e a densidade das folhagens, elementos essenciais para compreender o impacto da copa na interceptação pluviométrica.	54
Figura 20 – Comportamento da precipitação interna em relação à precipitação total.	55
Figura 21 – Precipitação Total x Precipitação Interceptada.....	60
Figura 22 – Precipitação total x escoamento pelo tronco conforme informações das 71 coletas monitoradas.....	63

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Adaptado de (Sari 2011), resumo dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores em estudos sobre o monitoramento dos componentes do processo de interceptação.	17
Tabela 2 – Medições do diâmetro dos troncos das árvores de <i>Eucalyptus globulus</i> , medidos a 1,50 m do solo.	34
Tabela 3 – Cálculo do diâmetro das copas das árvores monitoradas.	35
Tabela 4 – Resumo dos Resultados (2023–2024), onde: P é a precipitação incidente, P_i é a precipitação interna, E_{sct} é o escoamento pelo tronco, P_e é a precipitação efetiva e I interceptação.	48
Tabela 5 – Precipitação incidente e interna (2023–2024).	54
Tabela 6 – Precipitação externa (P) por mês (2023–2024).	56
Gráfico 1 – Volumes da precipitação incidente registrados durante o período de estudo (2023/2024).	60
Tabela 7 – Escoamento pelo tronco (2023–2024)	63
Gráfico 2 – Volumes de escoamento pelo tronco registrados durante o período de estudo (2023/2024).	64
Gráfico 3 – Volumes de precipitação registrados durante o período de estudo (2023/2024).	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPM - Global Precipitation Measurement

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

PET - Polietileno Tereftalato

RS - Rio Grande do Sul

SAR - Radar de Abertura Sintética

SMAP - Soil Moisture Active Passive

TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission

UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVO GERAL.....	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 INTERAÇÃO ENTRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS E PRECIPITAÇÃO.....	16
2.2 O BIOMA PAMPA E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	19
2.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE CAÇAPAVA DO SUL, RS.....	20
2.4 CICLO HIDROLÓGICO E INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA	21
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA FLORESTA DE EUCALYPTUS GLOBULUS.....	23
2.6 INSTRUMENTOS UTILIZADOS NO MONITORAMENTO	24
2.7 BENEFÍCIOS DO MONITORAMENTO DA INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA	26
2.8 APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS ESTUDOS REALIZADOS	27
3. METODOLOGIA	28
3.1 SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	30
3.2 COLETA DO ESCOAMENTO PELO TRONCO.....	33
3.3 COLETA DA PRECIPITAÇÃO INTERNA	37
3.4 COLETA DA PRECIPITAÇÃO EXTERNA	40
3.5 INTEGRAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	45
3.6 PRECAUÇÕES DE CAMPO.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 PRECIPITAÇÃO INCIDENTE, PRECIPITAÇÃO INTERNA, ESCOAMENTO PELO TRONCO E INTERCEPTAÇÃO	47
4.2 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO INCIDENTE E INTERNA	53
4.3 ÁREA EXTERNA (INCIDENTE)	55
4.3.1 Dados Negativos	61
4.4 ESCOAMENTO PELO TRONCO	62
4.5 PRECIPITAÇÃO INTERNA.....	64
4.6 ANÁLISE COMPARATIVA	66

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico desempenha um papel fundamental no equilíbrio ambiental e na manutenção dos ecossistemas. Ele é composto por processos interdependentes, como precipitação, evaporação, transpiração e infiltração, que garantem a disponibilidade de água para a biosfera (Melo *et al.*, 2019). No contexto dos ecossistemas florestais, a interceptação da chuva surge como um elemento importante, pois influencia diretamente a redistribuição da água e os padrões hidrológicos locais. Em áreas florestais, como as plantações de *Eucalyptus globulus*, a água da precipitação é particionada em precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação, sendo que esta última representa a fração retida pela copa das árvores e posteriormente evaporada (Valverde *et al.*, 2023).

No Bioma Pampa, uma região de alta relevância ecológica e econômica no sul do Brasil, o plantio de *Eucalyptus globulus* tem sido amplamente utilizado para fins comerciais, como a produção de celulose e madeira. Contudo, esse tipo de monocultura gera questionamentos quanto ao seu impacto no ciclo hidrológico local e na sustentabilidade hídrica das áreas adjacentes. Estudos apontam que a densidade do dossel, o índice de área foliar e as características climáticas, como a sazonalidade das chuvas, são fatores determinantes para a eficiência da interceptação pluviométrica em florestas plantadas (Melo *et al.*, 2019; Valverde *et al.*, 2023). Além disso, práticas de manejo florestal que priorizem a sustentabilidade ambiental podem mitigar impactos negativos e promover a conservação dos recursos hídricos.

A interceptação da chuva em plantações de eucalipto, especificamente no Bioma Pampa, possui implicações importantes no manejo dos recursos hídricos e no planejamento ambiental. Ela influencia desde a disponibilidade hídrica no solo até a erosividade da chuva, fatores cruciais para o equilíbrio do ecossistema (Melo *et al.*, 2019). Neste cenário, a escolha adequada de genótipos, aliada a técnicas de manejo que favoreçam a cobertura do solo e a retenção hídrica, pode otimizar os benefícios ambientais e reduzir os riscos associados à monocultura intensiva (Valverde *et al.*, 2023).

Este trabalho tem como objetivo analisar a interceptação pluviométrica em plantações de *Eucalyptus globulus* no Bioma Pampa, avaliando suas interações com o ciclo hidrológico e suas implicações na sustentabilidade hídrica da região. Ao integrar dados de medições de campo e revisões da literatura, busca-se contribuir para o entendimento dos processos hidrológicos em áreas de florestas plantadas e propor estratégias de manejo que conciliem produtividade e conservação ambiental.

1.1 Justificativa

A escolha do tema "Interceptação Pluviométrica em *Eucalyptus globulus* no Bioma Pampa, Caçapava do Sul - RS" é fundamentada pela importância da gestão ambiental e da conservação dos recursos hídricos no Bioma Pampa. Esse estudo contribuirá para o manejo sustentável dessas áreas, promovendo a preservação dos recursos naturais e a gestão eficaz das florestas de eucalipto no contexto de um ecossistema sensível como o Pampa.

1.2 Objetivo Geral

Analisar a interceptação pluviométrica e a dinâmica hidrológica em áreas de *Eucalyptus globulus* no Bioma Pampa, em Caçapava do Sul - RS, utilizando a metodologia, para aprimorar o entendimento dos processos hidrológicos e contribuir para práticas de manejo sustentável.

1.3 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da densidade da vegetação, na taxa de interceptação da chuva em florestas de *Eucalyptus globulus*;

- Contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre os processos hidrológicos específicos do Bioma Pampa, fornecendo subsídios para a tomada de decisões relacionadas ao manejo sustentável;
- Analisar os resultados obtidos a partir dos dados coletados e compará-los com estudos semelhantes realizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Interação entre Ecossistemas Florestais e Precipitação

A interação entre ecossistemas florestais e os padrões de precipitação tem sido um tema de crescente interesse em pesquisas ambientais. No contexto dos ecossistemas de Eucalyptus no Bioma Pampa, o monitoramento da interceptação pluviométrica é essencial para a compreensão das dinâmicas hidrológicas e o impacto da vegetação no regime de chuvas.

Estudos realizados em florestas de Eucalyptus mostram a relevância de quantificar essa interceptação para o manejo florestal sustentável (Silva, 2018; Levia; Germer, 2015), onde Lima (1986) destaca que, em chuvas de baixa intensidade (por exemplo, 5 mm), quase toda a precipitação é retida pelas copas das árvores e, posteriormente, evaporada, resultando em uma perda total de 100% por interceptação.

Em contrapartida, em chuvas de alta intensidade (como 100 mm), a perda por interceptação é limitada a apenas 5 mm, correspondendo a uma porcentagem reduzida de 5% do total precipitado. Segundo Lima (1996), as perdas médias por interceptação variam conforme o tipo de vegetação: cerca de 12% da precipitação para plantações de eucalipto, entre 20% e 30% para espécies folhosas, de 12% a 20% para pinus tropicais e aproximadamente 15% para florestas tropicais naturais. A Tabela 1 sintetiza os resultados de diversos estudos que investigaram o monitoramento das componentes do processo de interceptação onde:

Tabela 1 – Adaptado de (Sari 2011), resumo dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores em estudos sobre o monitoramento dos componentes do processo de interceptação.

Autor	Vegetação	Local	Período	Resultados
Lima (1976)	eucalipto (<i>E. saligna Smith</i>)	margem esquerda do Córrego Monte Olimpo, no extremo leste do campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", no município de Piracicaba, SP, Brasil.	junho de 1973 a junho de 1975	Pi = 83,6% de P; Esct = 4,2% de P; Pe = 87,8% de P e I = 12,2% de P
Valente, David e Gash (1997)	floresta esparsa de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Labill</i>)	90 km a sudoeste de Lisboa, Portugal	janeiro de 1992 a julho de 1994	P = 1545,8 mm; Pi = 1352,2 mm (87,5% de P); Esct = 26,8 mm (1,7% de P) e I = 166,8 mm (10,8% de P)
Baumhardt et al. (2009)	eucalipto	microbacia coberta por Eucalipto no município de Rosário do Sul, RS, Brasil	abril de 2008 a maio de 2009	I = 34,5% de P nas 15 coletas: Nº de coletores necessários : 9 a 320; Apenas em 2 coletas o nº de interceptômetros foi suficiente para cobrir as variações de Pi em relação a sua média (erro de 5 mm em relação à média e um intervalo de confiança de 90%)

Continua

Autor	Vegetação	Local	Período	Resultados
Baumhardt et al. (2010)	eucalipto	microbacia coberta por Eucalipto no município de Rosário do Sul, RS, Brasil	outubro de 2008 a setembro de 2009	I média = 33,09% de P (9 coletores e 11 coletas); I média = 36,39% de P (16 interceptômetros e 4 coletas); I mensal na bacia = 189,67 mm (14,62% de P); Nas 15 coletas: N° coletores necessários: 9 a 320; Apenas em 2 coletas o n° de interceptômetros foi suficiente para cobrir à média e um intervalo de confiança de 90%).
Almeida e Soares (2003)	eucalipto (<i>Eucalyptus gradis W. Hill ex Maiden</i>)	microbacia experimental (BEM) da Aracruz Celulose S.A no município de Aracruz, ES, Brasil	setembro de 1995 a setembro de 1996	P = 1196 mm; I = 127 mm (10,6% de P)
José dt et al. (2019)	Eucalyptus	município de Lavras, Minas Gerais	1º de dezembro de 2013 a 31 de dezembro de 2014.	Pi = 79,2% da I;
Juan Carlos dt et al. (2023)	<i>Eucalyptus globulus</i>	perto de Yumbel, região de Bio-Bio, Chile (37 ° 8' 0,01 ' ' S, 72 27 34,70 ' ' W) (Fig. 1a).	foram medidos por 2 anos (2020–2022)	P = 1063,6 mm ano; Esct médio = 193,4 mm ano (18,2% da precipitação anual);

Conclusão

Fonte: Adaptado de Sari (2011)

Onde: P é a precipitação incidente, P_i é a precipitação interna, E_{sct} é o escoamento pelo tronco, P_e é a precipitação efetiva e I interceptação, registrados para cada período estudado.

2.2 O Bioma Pampa e suas Características

O Bioma Pampa, localizado predominantemente no estado do Rio Grande do Sul, ocupa cerca de 68% do território estadual e é caracterizado por uma vasta diversidade de campos naturais, matas ciliares e formações florestais localizadas na região do Escudo Sul-rio-grandense. Estendendo-se também por partes da Argentina e do Uruguai, o Pampa apresenta uma vegetação campestre adaptada a condições paleoclimáticas que favoreceram sua formação ao longo de milhares de anos, tornando-o um dos biomas mais singulares do Brasil (Overbeck *et al.*, 2007).

Além de sua importância ecológica, o Pampa desempenha um papel crucial na regulação do ciclo hidrológico, contribuindo para a manutenção do balanço hídrico, a provisão de água potável e o armazenamento de carbono terrestre. Sua vegetação diversificada e de baixa densidade afeta significativamente os processos de interceptação de chuva, permitindo um maior escoamento superficial e infiltração de água no solo, aspectos fundamentais para a recarga hídrica e a conservação do solo (Pillar *et al.*, 2009).

Entretanto, esse bioma enfrenta sérias ameaças, incluindo a expansão da agricultura intensiva, o avanço de monoculturas florestais, a perda de biodiversidade e a conversão de campos nativos em áreas agrícolas. Dados recentes apontam que, nas últimas três décadas, mais de dois milhões de hectares de campos naturais foram convertidos para outros usos, colocando em risco a sustentabilidade ecológica do bioma (Projeto MapBiomas, 2020).

O plantio de espécies exóticas, como o *Eucalyptus globulus*, é uma prática recorrente na região, muitas vezes motivada pelo alto valor econômico da madeira e da celulose. No entanto, essas plantações apresentam desafios para a hidrologia do bioma, influenciando diretamente a interceptação da precipitação

e os padrões de disponibilidade hídrica. Estudos mostram que a presença de eucaliptos pode modificar a dinâmica do ciclo hidrológico, aumentando a evapotranspiração e reduzindo a infiltração de água no solo, o que reforça a necessidade de práticas de manejo florestal que mitiguem tais impactos e promovam a sustentabilidade dos recursos naturais (Valverde *et al.*, 2023).

A conservação do Bioma Pampa depende de uma abordagem integrada que leve em conta as características locais, a preservação da vegetação nativa e o uso sustentável dos recursos naturais. Incentivos econômicos, regulamentação ambiental eficaz e a promoção de práticas agrícolas e florestais compatíveis com a biodiversidade do bioma são essenciais para garantir sua integridade e os serviços ecossistêmicos que ele oferece à sociedade (Rede de Campos Sulinos, 2020).

2.3 Caracterização Climática de Caçapava do Sul, RS

De acordo com a Embrapa (2012), Caçapava do Sul possui clima subtropical úmido, caracterizado por verões quentes e invernos amenos, com precipitação bem distribuída ao longo do ano, localizada na região do Pampa no Rio Grande do Sul, (Cfa, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger). O regime pluviométrico é uma das principais características do clima local, fundamental para a manutenção das atividades agrícolas e florestais predominantes na região.

As normais climatológicas indicam uma precipitação média anual entre 1.400 mm e 1.800 mm, com variações sazonais evidentes. Os meses de verão costumam registrar picos de precipitação devido à maior frequência de sistemas convectivos e frentes frias, enquanto os meses de inverno são caracterizados por chuvas mais regulares, influenciadas por sistemas frontais e menor taxa de evapotranspiração. A temperatura média anual oscila entre 17°C e 19°C, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento de culturas adaptadas a climas temperados e florestas plantadas, como o *Eucalyptus globulus*, amplamente cultivado na região (Embrapa, 2012).

A localização geográfica e as características climáticas de Caçapava do Sul influenciam diretamente a dinâmica hidrológica e a vegetação nativa, contribuindo para a predominância dos campos naturais do bioma Pampa, intercalados com fragmentos de matas ciliares e plantações florestais. Tais aspectos tornam a região um ponto de interesse para estudos relacionados ao balanço hídrico e à gestão de recursos naturais (Embrapa, 2012).

2.4 Ciclo Hidrológico e Interceptação da Chuva

A interceptação da chuva é o processo em que a vegetação, incluindo árvores e arbustos, captura parte da precipitação antes que ela atinja o solo, (Figura 1). Esse processo desempenha um papel crucial na regulação do fluxo de água, na redução da erosão do solo e na manutenção da umidade (Rocha *et al.*, 2009). A quantidade de água interceptada pela vegetação é influenciada por diversos fatores interdependentes:

- Densidade da vegetação: Áreas com maior densidade de copas vegetais apresentam uma capacidade de interceptação mais elevada, pois a superfície foliar exposta à chuva é maior. Árvores de grande porte com copas densas, como o *Eucalyptus globulus*, têm potencial significativo de retenção de precipitação (Bruijnzeel, 2004). No entanto, densidades excessivas podem limitar a infiltração da água no solo devido ao sombreamento intenso, reduzindo a evapotranspiração e potencialmente alterando o ciclo hídrico local (Savenije, 2004).
- Tipo de cobertura do solo: Solos cobertos por folhas, galhos e matéria orgânica acumulada (serapilheira) ajudam a absorver a precipitação remanescente, reduzindo o escoamento superficial. Em áreas desprovidas de cobertura adequada, a interceptação é menos eficiente, levando a maiores taxas de erosão (Rocha *et al.*, 2009).
- Intensidade da chuva: Chuvas de baixa intensidade são mais facilmente retidas pela superfície das folhas, com grande parte da água sendo posteriormente evaporada. Em contrapartida, precipitações intensas tendem a exceder a capacidade de retenção das copas, resultando em

maior precipitação interna e escoamento pelo tronco. Este último é frequentemente observado em espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, devido à sua morfologia (Bruijnzeel, 2004).

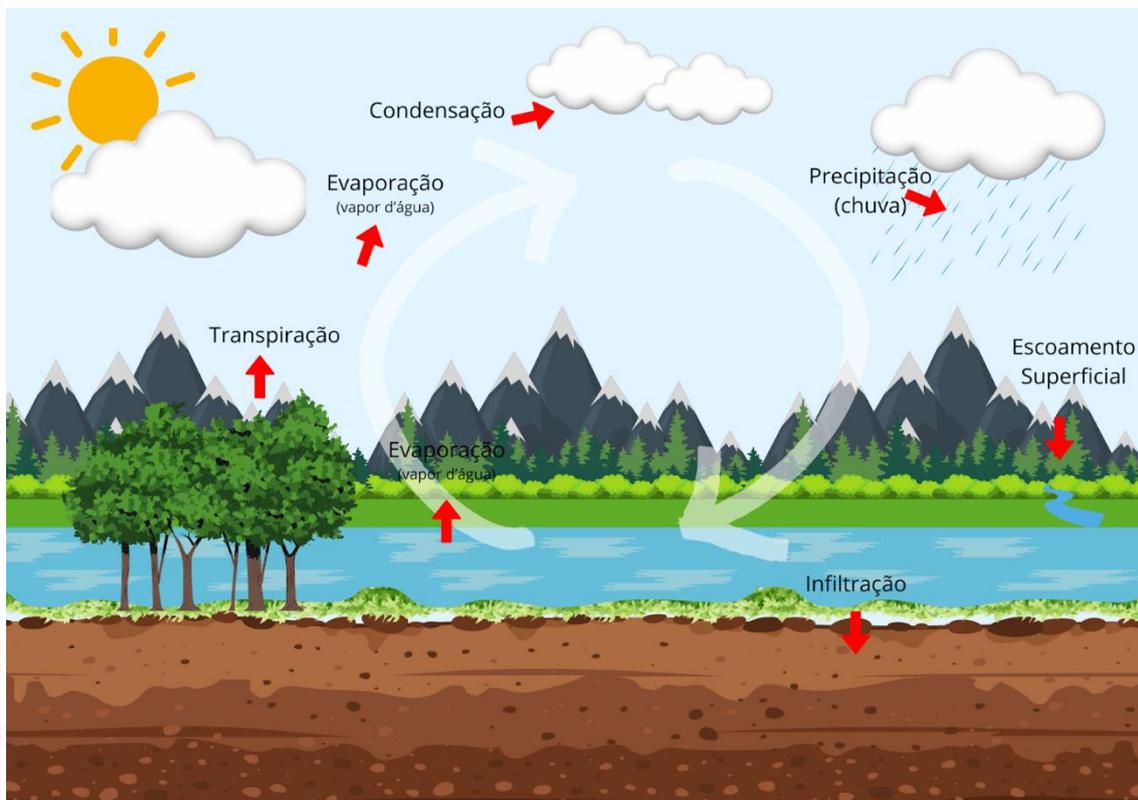
- Sazonalidade: Durante períodos de maior disponibilidade hídrica, como o verão, a vegetação pode apresentar maior capacidade de interceptação devido à densidade foliar. Já em estações secas ou durante a queda das folhas em espécies caducifólias, a capacidade de interceptação é significativamente reduzida (Savenije, 2004).

No caso de florestas de *Eucalyptus*, a interceptação da chuva ganha destaque devido às características peculiares dessa espécie. O crescimento rápido e a alta densidade foliar podem aumentar a retenção de água pela copa, promovendo benefícios como a redução do impacto direto da chuva no solo, o que minimiza a erosão e auxilia na proteção contra a compactação superficial. No entanto, a alteração na distribuição da precipitação pode modificar a dinâmica hídrica local, impactando a infiltração e a recarga de aquíferos, dependendo das condições de manejo e da localização geográfica da plantação (Savenije, 2004).

Embora existam críticas amplamente difundidas à silvicultura de eucalipto, é importante destacar que muitos dos impactos atribuídos a essa cultura dependem de fatores como densidade de plantio, práticas de manejo e contexto ambiental. Estudos mostram que, quando bem manejadas, plantações de *Eucalyptus* podem ser integradas de forma sustentável ao ambiente, reduzindo impactos negativos e proporcionando benefícios, como aumento de biomassa e mitigação de mudanças climáticas por meio do sequestro de carbono (Valverde *et al.*, 2023).

Portanto, é fundamental diferenciar os impactos potenciais de uma má gestão florestal daqueles que resultam de práticas planejadas e sustentáveis. O monitoramento contínuo do ciclo hidrológico em plantações de *Eucalyptus* é essencial para garantir que a cultura contribua positivamente para a conservação ambiental e para o equilíbrio hídrico das regiões em que está inserida.

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico, destacando os processos de precipitação, interceptação, infiltração, escoamento e evapotranspiração.



Fonte: Autora, 2024.

2.5 Caracterização da Floresta de *Eucalyptus Globulus*

A floresta de *Eucalyptus globulus* apresenta características marcantes que a tornam única no contexto de plantações florestais. Originária da Tasmânia e do sul da Austrália, essa espécie é amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil, devido à sua adaptabilidade e elevado potencial produtivo. Suas árvores são notáveis por seu crescimento rápido e uniforme, o que favorece a utilização em sistemas de produção intensiva (Azzazy, 2016).

As folhas do *Eucalyptus globulus* possuem um formato alongado e estreito, com uma coloração verde-azulada que confere um aspecto distinto à vegetação. A copa geralmente assume uma forma circular, com variações de densidade

conforme as condições locais e práticas de manejo (James e Bell, 2001). Essa configuração facilita a interceptação de luz solar e a regeneração do solo, contribuindo para o equilíbrio ambiental. Além disso, a espécie apresenta alta resistência a solos pobres e tolerância a variações climáticas, sendo adaptável a regiões com precipitação moderada (James e Bell, 2001).

O espaçamento entre as árvores é projetado estrategicamente para maximizar a produtividade e minimizar os impactos sobre o ambiente. No Brasil, espaçamentos comuns variam de 3x2 metros a 3x3 metros, dependendo do regime hídrico e da finalidade do cultivo (Di Marco, 2015). Em áreas de seca acentuada, o espaçamento maior permite que as árvores acessem melhor os recursos hídricos disponíveis, enquanto em regiões úmidas, espaçamentos menores são mais comuns (Di Marco, 2015).

Os usos do *Eucalyptus globulus* são vastos, incluindo a produção de papel e celulose, lenha, carvão vegetal e madeira serrada. Adicionalmente, sua casca e folhas são fontes de óleos essenciais, amplamente utilizados na indústria farmacêutica e de cosméticos (Gonzalez, Silva, Urbina e Gerding, 2016). A versatilidade dessa espécie é um dos principais fatores que justificam sua importância econômica e ecológica em programas de reflorestamento e sistemas agroflorestais.

Do ponto de vista ambiental, as plantações de *Eucalyptus globulus* desempenham um papel relevante na mitigação da erosão do solo e na captura de carbono atmosférico. No entanto, o manejo adequado é essencial para evitar impactos negativos, como o esgotamento de recursos hídricos em áreas de cultivo intensivo. Nesse sentido, o planejamento do manejo florestal é fundamental para garantir que os benefícios superem os desafios associados à introdução dessa espécie (Di Marco, 2015).

2.6 Instrumentos Utilizados no Monitoramento

O monitoramento da interceptação da chuva é fundamental para a compreensão dos processos hidrológicos em áreas vegetadas e pode ser

realizado por meio de diversos dispositivos, como pluviômetros e estações meteorológicas automáticas. Os pluviômetros, dispositivos simples e de fácil instalação, fornecem dados diretos sobre a quantidade de precipitação que chega ao solo após ser interceptada pela vegetação (Scott, 1982). Esses instrumentos, apesar de sua simplicidade, desempenham um papel crucial no monitoramento da dinâmica de precipitação local.

As estações meteorológicas automáticas, por outro lado, oferecem uma gama mais ampla de dados que são essenciais para um entendimento mais aprofundado dos padrões climáticos locais. Equipadas com sensores para medir temperatura, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e pressão atmosférica, essas estações possibilitam a coleta contínua e em tempo real de informações climáticas (Stull, 2000). Elas são particularmente úteis para avaliar a relação entre variáveis meteorológicas e o comportamento da precipitação, permitindo uma análise mais detalhada dos fatores que influenciam a interceptação da chuva. Além disso, as estações meteorológicas automáticas oferecem a vantagem de reduzir o erro humano, já que a coleta de dados é automatizada e pode ser realizada em locais de difícil acesso, sem a necessidade de intervenções frequentes.

A utilização de pluviômetros caseiros, como os fabricados com garrafas PET, surge como uma alternativa acessível e prática, especialmente em regiões remotas onde o acesso a equipamentos sofisticados é limitado. Esses dispositivos, embora simples, têm mostrado ser eficazes no monitoramento da precipitação em áreas de difícil acesso, proporcionando dados pluviométricos valiosos para o estudo da interceptação (Fries *et al.*, 2009). Ao integrar essas soluções de baixo custo com estações meteorológicas automáticas, é possível obter uma rede de monitoramento mais ampla e precisa, abrangendo diversas escalas e locais.

Portanto, o uso combinado de pluviômetros e estações meteorológicas automáticas contribui significativamente para a compreensão dos processos de interceptação da chuva, fornecendo informações detalhadas e de alta qualidade que são essenciais para a gestão hídrica e o planejamento ambiental.

2.7 Benefícios do Monitoramento da Intercepção da Chuva

O monitoramento da intercepção da chuva em florestas de *Eucalyptus globulus* oferece benefícios significativos para a gestão ambiental. Além de contribuir para a preservação da biodiversidade e para o manejo adequado dos recursos hídricos (Figura 2). A precipitação interceptada pela vegetação pode ser devolvida à atmosfera por evaporação (intercepção perdida), armazenada na vegetação (armazenamento), canalizada ao longo dos troncos e galhos (escoamento pelo tronco) ou atingir diretamente o solo ao ultrapassar o dossel vegetal (precipitação interna), esses estudos são fundamentais para prever desastres naturais, como inundações e erosão do solo, especialmente em áreas de intensa atividade agrícola e florestal (Calheiros *et al.*, 2017).

No Bioma Pampa, a intercepção pluviométrica desempenha um papel essencial na manutenção do equilíbrio hidrológico das bacias hidrográficas locais, influenciando diretamente a disponibilidade de água para abastecimento e agricultura (Calheiros *et al.*, 2017). A intercepção da chuva pela cobertura florestal pode ser quantificada através da equação da continuidade do sistema de intercepção, Equação 1.

$$I = P - P_i - E_{sct} \quad (1)$$

Onde:

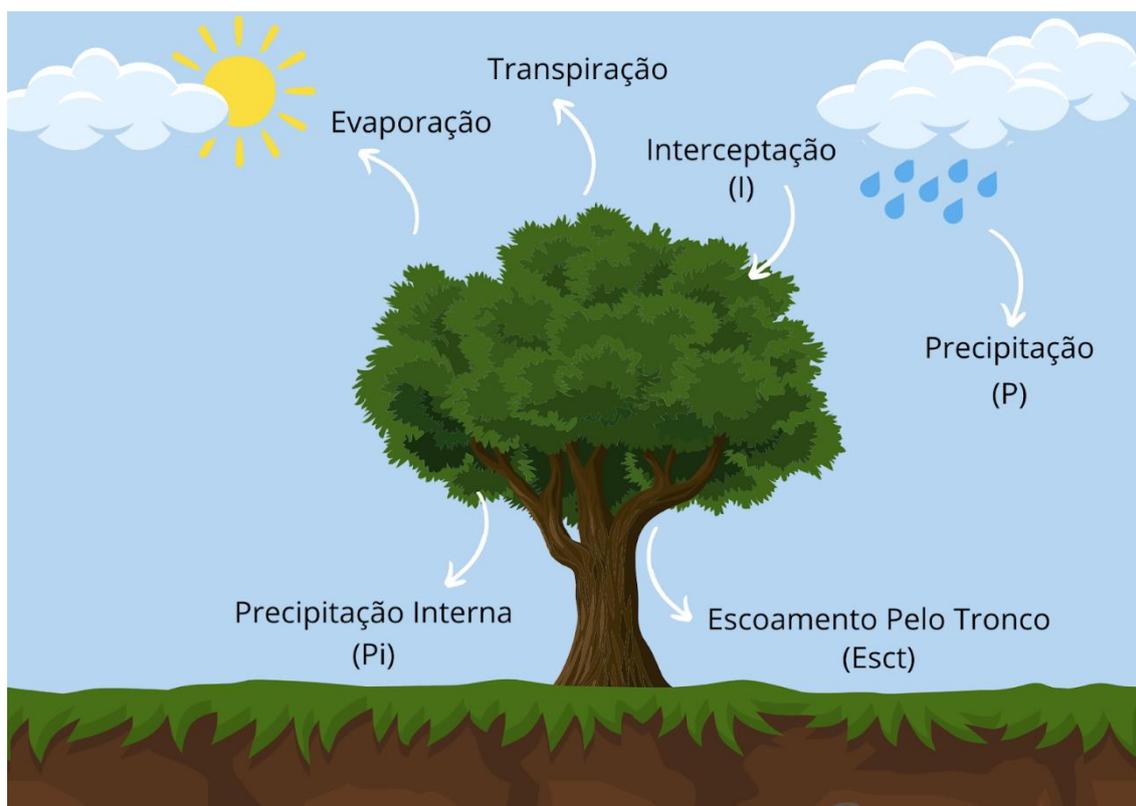
I: é a precipitação interceptada;

P: é a precipitação;

P_i: é a precipitação que atravessa a vegetação (precipitação interna)

E_{sct}: é a parcela que escoar pelo tronco das árvores.

Figura 2 - Elementos do processo de interceptação da precipitação em florestas.



Fonte: Autora (2024)

2.8 Aplicações Práticas dos Estudos Realizados

Estudos sobre interceptação pluviométrica têm gerado importantes implicações práticas para a conservação ambiental, o manejo sustentável de florestas e a otimização dos recursos hídricos. A quantificação da interceptação da chuva, ao fornecer uma estimativa precisa da quantidade de água que é retida pela vegetação, permite aprimorar as estratégias de manejo florestal, considerando a capacidade das florestas de regular o ciclo hidrológico e mitigar desastres naturais, como enchentes e deslizamentos de terra (Ochoa-Tocachi *et al.*, 2019). A correta avaliação dessa interceptação possibilita a identificação das áreas mais vulneráveis à perda de água, permitindo que os gestores adotem práticas específicas para preservar a capacidade de retenção hídrica das florestas.

Além disso, a implementação desses estudos no sul do Brasil oferece uma base sólida para a criação de políticas de conservação voltadas para a sustentabilidade dos recursos hídricos e da biodiversidade. A integração de dados sobre interceptação da chuva com modelos hidrológicos permite prever o comportamento da água nas bacias hidrográficas, otimizando a distribuição de recursos e garantindo o abastecimento de água em períodos de seca. Essas informações também são cruciais para a recuperação de áreas degradadas, pois a reposição de vegetação adequada pode contribuir para a melhoria da retenção de água no solo e, conseqüentemente, para a recuperação de mananciais (Savenije, 2004).

Adicionalmente, a quantificação da interceptação pode ser utilizada em projetos de restauração ecológica, especialmente em áreas de agricultura intensiva ou urbanização, onde a vegetação natural foi removida ou modificada. A utilização de técnicas de reflorestamento e agroflorestas baseadas nos dados de interceptação pode proporcionar uma alternativa sustentável para mitigar os impactos das atividades humanas sobre o ciclo hidrológico, reduzindo a erosão do solo e melhorando a infiltração da água no solo (Barros *et al.*, 2018). Dessa forma, esses estudos não apenas contribuem para a manutenção dos ecossistemas naturais, mas também para o desenvolvimento de práticas de uso sustentável da terra, alinhadas com as necessidades socioeconômicas das comunidades locais.

3. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em uma área experimental de *Eucalyptus globulus* como mostra (Figura 3), sendo a espécie determinada através do aplicativo Plantify na (Figura 4), com o objetivo de analisar a interceptação pluviométrica por meio de medições diretas de precipitação, utilizando pluviômetros e dispositivos de coleta para escoamento pelo tronco. A abordagem envolveu a coleta de dados de precipitação incidente, precipitação interna e escoamento pelo tronco das árvores de *Eucalyptus globulus*, com base em metodologias previamente estabelecidas em estudos similares.

Figura 3 - Aspectos gerais da área de estudo: (A) visão panorâmica da plantação de *Eucalyptus globulus*; (B) perspectiva da extensão e altura das árvores, utilizando escala humana como referência; e (C) vista interna da mata, ressaltando as características estruturais do ambiente.



Fonte: Autora (2024)

Figura 4 - Identificação da espécie de *Eucalyptus globulus* utilizando o aplicativo Plantify.

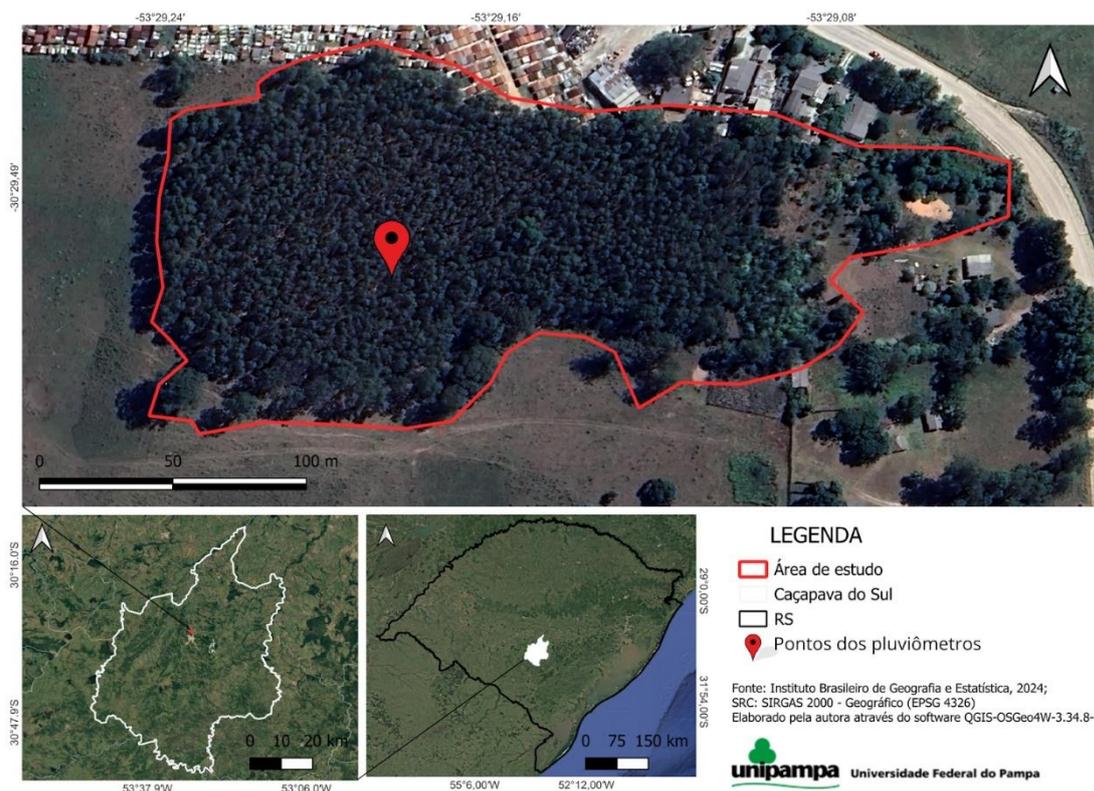


Fonte: Google Play

3.1 Seleção e Preparação do Local de Estudo

A área de estudo consiste em uma plantação de *Eucalyptus globulus* com aproximadamente 3,71 hectares, localizada na fazenda Ventania, nas coordenadas Lat. -30,4918 e Long. -53,4863, a cerca de 1 km da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e a 4 km do centro de Caçapava do Sul, RS (Figura 5). Esta área foi selecionada devido à sua distribuição uniforme de árvores, que facilita a análise da interceptação da precipitação, além de seu fácil acesso por estar situada em uma propriedade particular.

Figura 5 - Localização da área de monitoramento de interceptação pluviométrica na Mata de *Eucalyptus globulus*.



Fonte: Autora (2024)

A seguir, são detalhadas as características da área experimental e os procedimentos de monitoramento da precipitação, incluindo a observação da precipitação interna, o escoamento pelo tronco e a determinação da

interceptação. Além disso, será realizado um estudo das mudanças ao longo dos anos em árvores de eucalipto, por meio da observação da largura dos troncos, considerando intervenções como podas e possíveis quedas. Essas observações têm em vista compreender como tais fatores influenciam o desenvolvimento estrutural e fisiológico das árvores em diferentes contextos ambientais e de manejo.

O monitoramento da precipitação foi realizado ao longo dos anos de 2023 e 2024 em duas áreas distintas: (1) áreas de *Eucalyptus globulus*, abrangendo a interceptação interna e a captação do escoamento pelo tronco; e (2) uma área aberta fora da mata, sem influência do dossel. Inicialmente, foram instalados seis pluviômetros na área de *Eucalyptus globulus*, sendo posteriormente ampliados para dez. Para o monitoramento do escoamento pelo tronco, dois pluviômetros foram utilizados nos seis primeiros meses, sendo este número aumentado para quatro a partir do segundo semestre.

Os dados foram coletados mensalmente, permitindo a análise comparativa dos volumes de precipitação registrados em diferentes condições. O posicionamento estratégico dos pluviômetros garantiu uma amostragem representativa, possibilitando avaliar o comportamento da precipitação nas áreas de influência do dossel em contraste com áreas abertas, fornecendo informações relevantes sobre os fluxos hídricos.

Os pluviômetros utilizados para a coleta da precipitação foram construídos a partir de garrafas PET de 5 litros (Figura 6), adaptadas de acordo com a metodologia de Baumhardt *et al.* (2009). Posteriormente, devido à necessidade de maior capacidade de armazenamento, alguns coletores foram substituídos por bombonas de 30 litros, especialmente para captar o escoamento pelo tronco. Todos os dispositivos foram fixados ao solo com estacas para garantir sua estabilidade, particularmente em áreas onde há circulação de animais.

As características das copas destas árvores, marcadas por folhas estreitas e alongadas, conferem à paisagem uma aparência mais permeável à luz, criando uma cobertura florestal que contrasta significativamente com a densidade da mata nativa do Bioma Pampa. A (Figura 7), apresentada a seguir, ilustra esse contraste visual, evidenciando o padrão linear e ordenado das fileiras de

eucaliptos em comparação à exuberância e complexidade da vegetação nativa. Embora a identificação das espécies de árvores nativas não seja o foco deste estudo, essa análise está sendo realizada de forma complementar na mata, cujo trabalho se concentra especificamente na caracterização detalhada da vegetação nativa presente na área experimental.

Figura 6 – Configuração dos equipamentos utilizados no monitoramento: (a) instalação das mangueiras para coleta do escoamento pelo tronco, (b) preparo de cavidades no solo para fixação dos pluviômetros, (c) marcação do volume nos pluviômetros e (d) georreferenciamento do ponto por GPS.



Fonte: Autora (2024)

Figura 7 – Comparação entre a vegetação: destacando a área de *Eucalyptus globulus* (A) e a mata nativa (B).



Fonte: Autora (2024)

3.2 Coleta do Escoamento pelo Tronco

Para medir o escoamento de água pelo tronco, foram instaladas mangueiras de $\frac{3}{4}$ de polegada nos troncos das árvores de eucalipto, fixadas a 1 metro do solo, conforme a metodologia descrita por Santos (2009). A vedação entre o tronco e a mangueira foi realizada com espuma expansiva para evitar vazamentos. O escoamento por gravidade foi direcionado para coletores de 10 a 30 litros mostrado na (Figura 8), dependendo da intensidade do escoamento. A medição do volume de água escoada foi essencial para calcular a quantidade de precipitação capturada pelos troncos.

A chuva coletada pelo escoamento pelo tronco foi calculada utilizando a Equação 2:

$$CCE_{sct} = Y / \pi * (R_{copa}) \quad (2)$$

Onde:

- CC_{sct} : é a chuva coletada em L/m^2 ,
- Y : é o volume de água coletada (L);
- R_{copa} : é o raio da projeção da copa da árvore (m^2).

Figura 8 – Conjunto de imagens ilustrativas: (A e B) Monitoramento do escoamento pelo tronco; (C) Visão ascendente da copa das árvores; e (D) Instalação das mangueiras com o uso de espuma expansiva.



Fonte: Autora (2024)

Quatro árvores de *Eucalyptus globulus* foram monitoradas com o objetivo de avaliar o escoamento pelo tronco. O monitoramento incluiu a medição das distâncias entre os pontos de coleta, e o diâmetro médio dos troncos verificados na altura do peito, apresentados na Tabela 2 e a estimativa do diâmetro da copa das árvores na Tabela 3. A Circunferência à Altura do Peito (CAP) é uma medida padrão em estudos florestais, realizada a 1,50 metros do solo para avaliar o crescimento das árvores. A CAP é obtida utilizando uma fita métrica ao redor do tronco, e seus valores podem ser convertidos em Diâmetro à Altura do Peito (DAP) pela Equação 3.

$$DAP = CAP / \pi \quad (3)$$

Onde:

$\pi \approx 3,14$.

Tabela 2 – Medições do diâmetro dos troncos das árvores de *Eucalyptus globulus*, medidos a 1,50 m do solo.

CAP - Diâmetro do tronco medidos a 1,50 m do solo (m)			
Tronco 1	Tronco 2	Tronco 3	Tronco 4
0,181	0,197	0,149	0,121

Fonte: Autora (2024)

Uma desvantagem significativa desse sistema de coleta é que, em situações de grandes volumes de escoamento pelo tronco, como durante precipitações intensas, pode ocorrer o extravasamento de parte da água escoada como ocorreu em alguns eventos de muita precipitação, o que pode reduzir o volume captado e comprometer a precisão dos resultados. Por outro lado, trata-se de um método de baixo custo, simples de construir e operar, além de causar poucos danos ao desenvolvimento da planta ao longo do tempo.

Para determinar o raio médio da copa, assumiu-se que a projeção da copa apresentava um formato circular. O cálculo foi realizado com base no raio da sua extensão da copa como indicado na Tabela 3.

Tabela 3 – Cálculo do diâmetro das copas das árvores monitoradas.

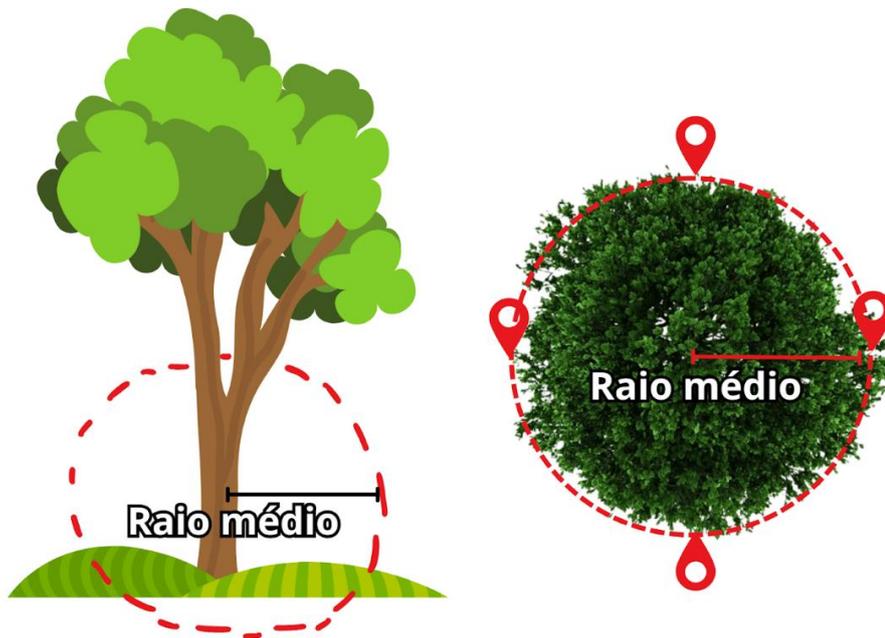
Raio da Copa (m)			
Tronco 1	Tronco 2	Tronco 3	Tronco 4
2,15	1,3	1,45	0,9

Fonte: Autora (2024)

As medições foram realizadas considerando 4 pontos da copa ao redor das árvores de *Eucalyptus globulus*, conforme ilustrado na (Figura 9). Essa abordagem permitiu caracterizar a extensão da copa, e compreender a área de influência de cada árvore no monitoramento do escoamento pelo tronco. Essa medição é essencial para avaliar como a estrutura da copa afeta a interceptação e redistribuição da precipitação.

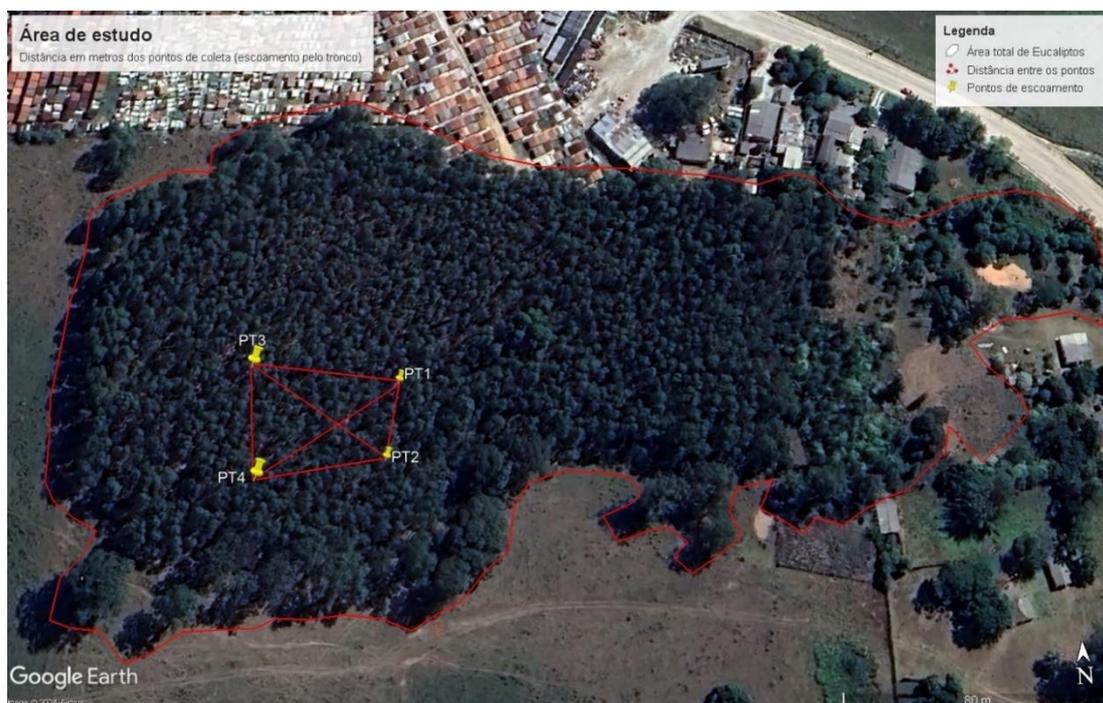
As distâncias entre os pontos foram medidas com o auxílio de uma trena (Figura 11), e o sensoriamento remoto via Google Earth foi utilizado como ferramenta complementar para aferir as medições mais distantes (Figura 10). Os valores obtidos foram: 23,8 m entre o ponto 1 e o ponto 2; 45,5 m entre o ponto 1 e o ponto 3; 51,2 m entre o ponto 1 e o ponto 4; 50,7 m entre o ponto 2 e o ponto 3; 39,3 m entre o ponto 2 e o ponto 4 e 34,7 m entre o ponto 3 e o ponto 4.

Figura 9 – Medição para obter o raio médio da copa das árvores de *Eucalyptus globulus* e sua influência no monitoramento do escoamento pelo tronco.



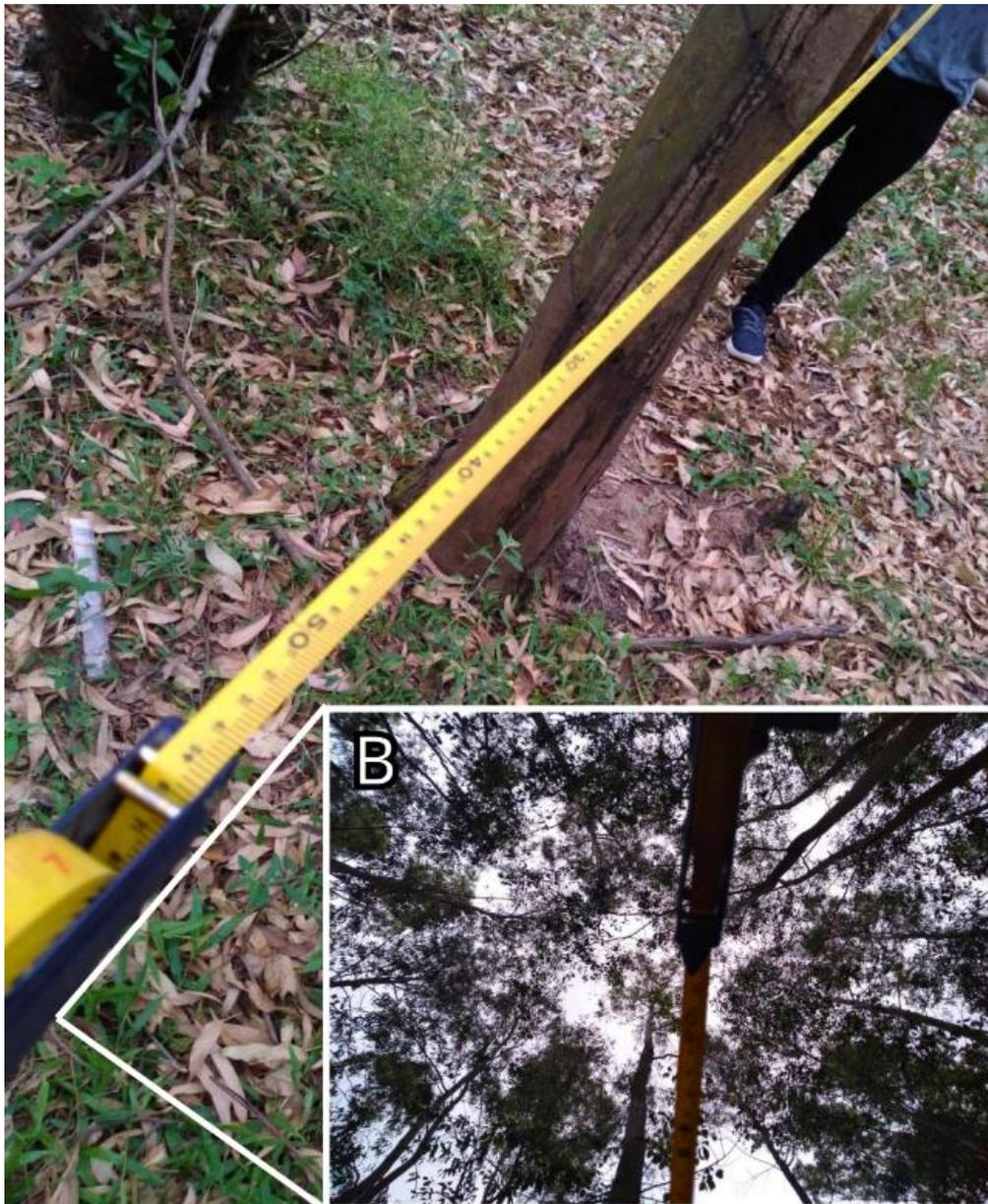
Fonte: Autora (2024)

Figura 10 - Distância entre os pontos de coleta do escoamento pelo tronco, determinada por meio do Google Earth.



Fonte: Autora (2024)

Figura 11 – (a) Medição da distância entre os troncos dos pontos; (b) Visão da copa da árvore a partir do solo.



Fonte: Autora (2024)

3.3 Coleta da Precipitação Interna

A precipitação interna, ou seja, a chuva que passou pelas copas das árvores, foi medida com pluviômetros, também feitos de garrafas PET. Esses interceptômetros foram instalados em sete pontos diferentes na plantação de

Eucalyptus globulus, com uma distância média de 15 metros entre eles. A coleta foi realizada com dispositivos fixados ao solo por estacas, para garantir que não houvesse deslocamento dos coletores. A fórmula utilizada para o cálculo da precipitação interna, fundamental para avaliar a quantidade de água que alcançou o solo sob o dossel das árvores, está apresentada na Equação 4:

$$CCP_i = X / \pi \cdot (R_{pluv})^2 \quad (4)$$

Onde:

- CCP_i chuva coletada em L/m², equivale a lâmina de água dada em mm de chuva;
- X é o volume de água coletada (L);
- R_{pluv} é o raio do pluviômetro (m²).
- π é aproximadamente 3,1414;

Com isso, os valores de precipitação coletados em litros podem ser convertidos diretamente em milímetros de lâmina d'água pela divisão do volume coletado pela área de captação. A conversão é realizada com base no princípio de que 1 litro de água por metro quadrado equivale a 1 milímetro de precipitação. Assim, os valores obtidos na coleta são inseridos na Equação 5:

$$CCP_i = X / 213,8183438 \quad (5)$$

Onde: a constante 213,8183438 é a área predefinida do pluviômetro (m²).

A (Figura 12) apresenta etapas fundamentais do processo de instalação dos pluviômetros utilizados no estudo. Este processo incluiu a preparação e posicionamento dos dispositivos em campo, assegurando sua funcionalidade e estabilidade para a coleta dos dados de precipitação. As imagens ilustram a

instalação dos pluviômetros, o método de fixação do bocal das garrafas utilizadas para coleta, e a fixação dos equipamentos ao solo com o auxílio de estacas, garantindo sua permanência e eficiência durante o período de monitoramento.

Figura 12 – Processo de instalação dos pluviômetros: (a) Posicionamento dos dispositivos; (b) Fixação dos bocais coletores; e (c) Estabilização no solo com estacas.



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 13) ilustra aspectos relacionados ao monitoramento da interceptação interna. As imagens destacam a instalação do equipamento de coleta de dados para a interceptação interna.

Figura 13 – Monitoramento da interceptação interna e estrutura da copa das árvores: (a) Equipamento instalado para interceptação interna; e (b) Visualização da copa do *Eucalyptus globulus*.



Fonte: Autora (2024)

3.4 Coleta da Precipitação Externa

A determinação da precipitação externa, ou incidente, é uma etapa essencial para avaliar a quantidade total de chuva que atinge diretamente o solo, sem qualquer interferência do dossel ou de outros elementos da vegetação. Neste estudo, a precipitação incidente foi mensurada utilizando garrafas PET de 5 litros adaptadas como pluviômetros. Esses equipamentos foram estrategicamente posicionados em três pontos afastados da área de plantio de *Eucalyptus globulus*, assegurando que estivessem completamente fora da influência das copas das árvores e de outros obstáculos que pudessem interferir na coleta.

Após cada evento de chuva, a água acumulada foi medida utilizando provetas de 1.000 mL, permitindo a quantificação da precipitação em milímetros. Esses dados foram registrados periodicamente para o acompanhamento dos padrões de precipitação ao longo do período de estudo.

As áreas selecionadas para os pontos de coleta foram caracterizadas por exposição total à chuva direta, garantindo a obtenção de dados representativos das condições externas. As distâncias entre os pontos de incidência externa

foram 80,7 metros de distância entre o ponto 1 até o ponto 2, e 442 metros do ponto 2 até o ponto 3, (Figura 14).

Essa coleta externa é crucial para estabelecer comparações com a precipitação medida dentro da área florestal. A diferença entre os valores registrados permite identificar a capacidade de interceptação do dossel e o impacto da vegetação sobre o regime hídrico local. Além disso, os dados de precipitação incidente são fundamentais para calcular variáveis importantes, como a interceptação interna e o escoamento pelo tronco, fornecendo uma base confiável para o balanço hídrico da área de estudo. A Equação 6 utilizada para calcular a precipitação incidente é apresentada abaixo e converte o volume total coletado em L/m³, padronizando os resultados para análise:

$$P_e = V / A \quad (6)$$

Onde:

P_e: precipitação externa em L/m²;

V: volume de água coletado em litros;

A: área de captação do pluviômetro em m².

A determinação da precipitação externa não apenas valida os dados coletados dentro da área de estudo, mas também permite compreender a influência do dossel no regime hídrico, contribuindo para uma análise hidrológica detalhada da interação entre vegetação e precipitação. Essa abordagem é indispensável para avaliar o comportamento hidrológico da área de plantio e sustentar conclusões robustas sobre o impacto das copas das árvores na interceptação de chuva.

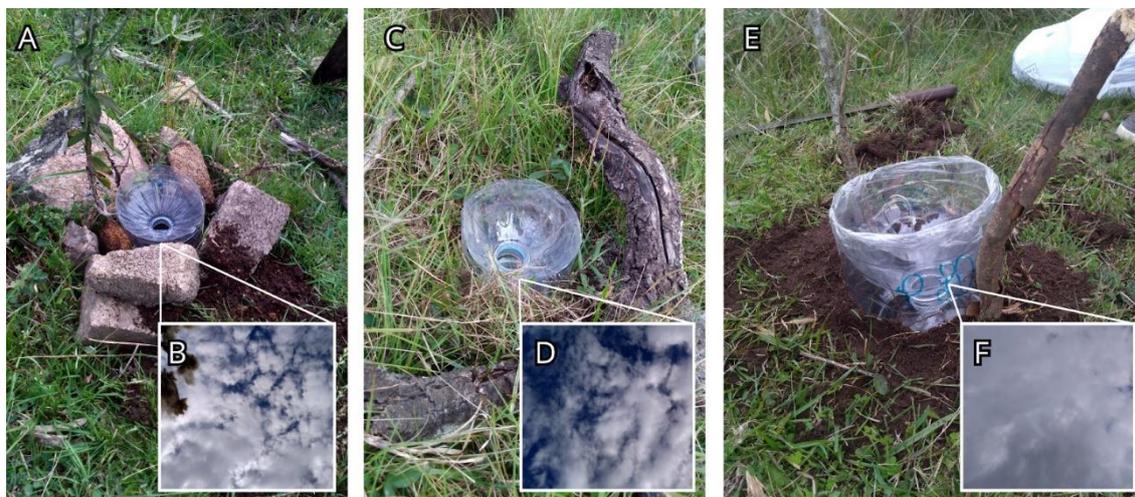
Figura 14 – Mapa de localização e distâncias entre os pontos de monitoramento de precipitação externa, medidos por meio do Google Earth.



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 15) apresenta o monitoramento da precipitação externa em três pontos distintos fora da área de plantio, destacando a configuração dos equipamentos utilizados e a cobertura visual do céu em cada ponto de coleta. As imagens ilustram as condições de instalação dos pluviômetros e a exposição direta à chuva, essenciais para determinar a precipitação incidente sem interferência do dossel florestal. Abaixo, são detalhados os pontos 1, 2 e 3, com registros visuais da área de coleta e das condições climáticas do dia de registro.

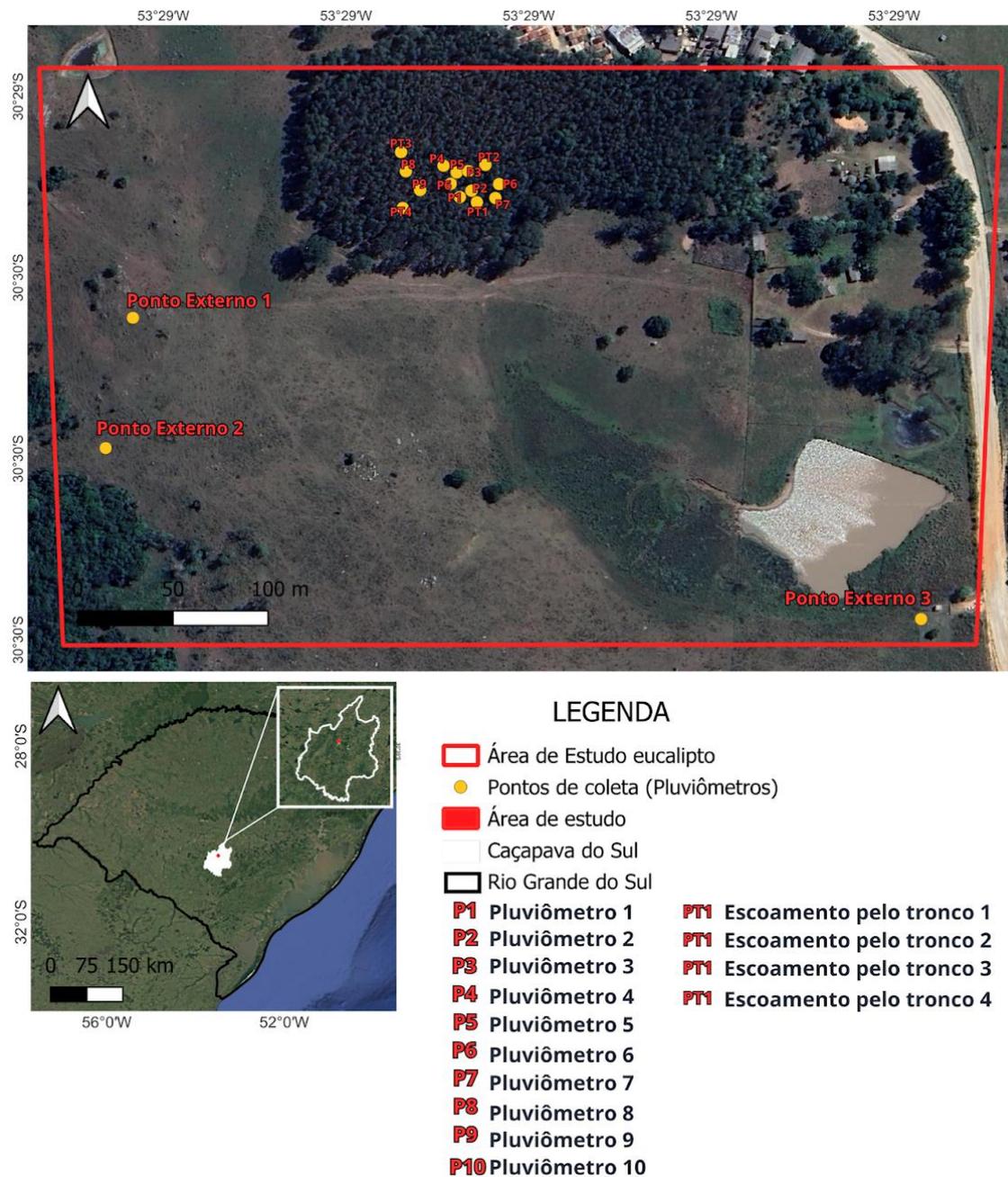
Figura 15 – Monitoramento da precipitação externa e cobertura do céu: (A e B) Ponto de coleta 1; (C e D) Ponto de coleta 2; (E e F) Ponto de coleta 3.



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 16) apresenta o mapa de localização dos pontos de monitoramento, tanto dentro da área de plantio de *Eucalyptus globulus* quanto na área externa, utilizada para a coleta de precipitação incidente. No mapa, estão demarcados os pontos internos, correspondentes à área de escoamento pelo tronco e interceptação interna, e os pontos externos, localizados fora da influência do dossel florestal. Essa distribuição permite uma análise comparativa entre as diferentes condições ambientais, destacando a influência da vegetação sobre o regime hídrico. A visualização detalhada dos pontos no mapa é essencial para compreender a organização espacial e os objetivos de coleta em cada setor da área de estudo.

Figura 16 – Mapa de localização dos pontos de monitoramento: área interna de *Eucalyptus globulus* e área externa para precipitação incidente.

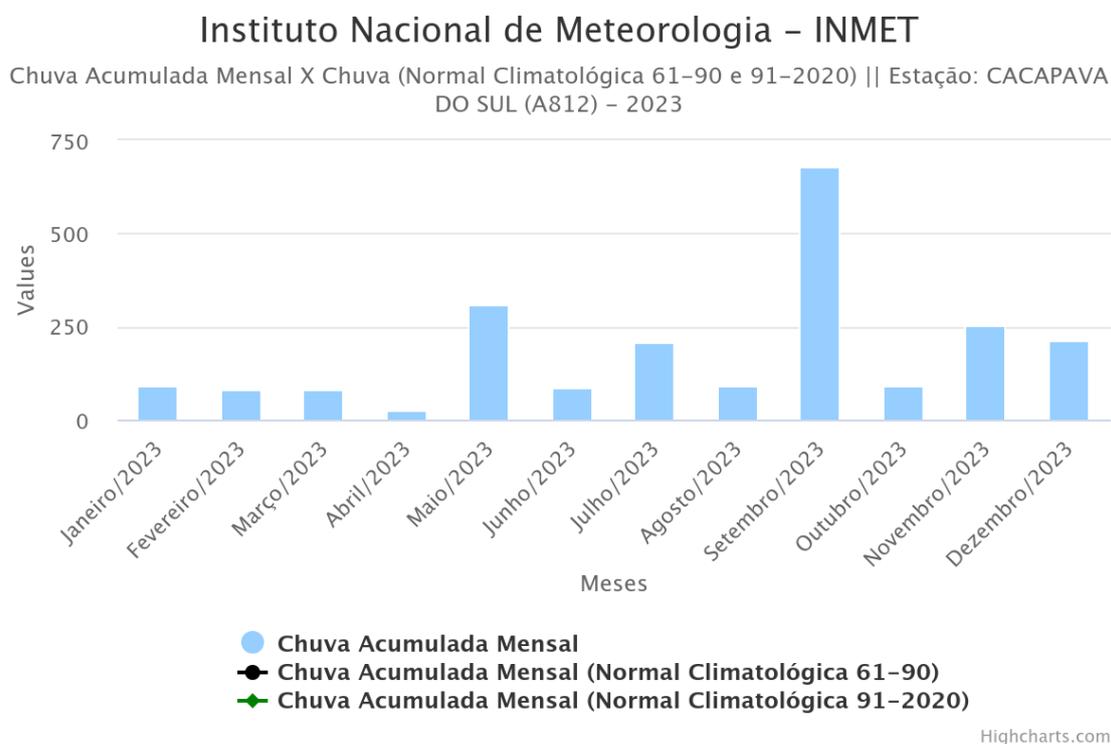


Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024;
 SRC: SIRGAS 2000 -Geográfico (EPSG 4326)
 Elaborado pela autora através do software QGIS-OSGeo4W-3.34.8-1

3.5 Integração e Análise dos Dados

A coleta de dados foi realizada logo após os eventos de chuva, evitando perdas por evaporação. As amostras de água coletadas foram mensuradas e registradas em cadernetas de campo. Posteriormente, os dados foram transferidos para planilhas Excel, onde foram comparados com os registros da estação meteorológica localizada em Caçapava do Sul do INMET pela plataforma online que é disponibilizada (Figura 17).

Figura 17 – Gráfico de exemplo do mês com maior precipitação no ano de 2023.



Fonte: INMET (2024)

A análise da interceptação pluviométrica foi realizada subtraindo-se da precipitação menos a precipitação interna e do escoamento pelo tronco, a Equação 1 utilizada para calcular a precipitação interceptada.

Essa análise incluiu uma avaliação descritiva dos dados, destacando médias e variações, bem como a realização de uma análise para identificar possíveis relações entre a interceptação e variáveis ambientais, como a densidade da vegetação. Também foram feitas comparações sazonais para verificar variações nos padrões de interceptação ao longo do ano.

3.6 Precauções de Campo

Durante as coletas, foram implementadas medidas preventivas para evitar interferências, como a presença de animais, (Figura 18). Os pluviômetros foram inspecionados regularmente para garantir que não houvesse danos ou vazamentos. A estabilidade dos dispositivos e as condições ambientais foram cuidadosamente monitoradas e registradas durante todo o período de estudo.

Figura 18 – Registro fotográfico (a) e (b) das precauções adotadas para mitigar o impacto do fluxo de animais na mata e imprevistos enfrentados durante o estudo, além do constante encontro com animais e situações de risco (c) e (d).



Fonte: Autora (2024)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Precipitação Incidente, Precipitação Interna, Escoamento pelo Tronco e Interceptação

A análise de 71 eventos pluviométricos monitorados entre junho de 2023 e outubro de 2024 permitiu compreender as interações hidrológicas dentro da área de *Eucalyptus globulus*. A dinâmica hídrica foi avaliada considerando a precipitação incidente (total disponível antes de interagir com o dossel florestal), a precipitação interna (volume que atravessa o dossel e atinge diretamente o solo), o escoamento pelo tronco (água que percorre o tronco após ser interceptada pelas copas) e a interceptação (quantidade de água retida ou evaporada pelas copas). Esses componentes fornecem uma visão integrada da contribuição da vegetação para o ciclo hidrológico, sendo fundamentais para o planejamento e manejo sustentável em áreas de cultivo.

As análises evidenciaram a influência direta da sazonalidade, da intensidade pluviométrica e das características estruturais do dossel na modulação da precipitação. Tais observações reforçam os achados de Lima (1976), que apontam a importância da densidade do dossel e do regime hídrico local na interceptação e distribuição da precipitação em florestas de eucalipto.

Essa área de plantio possui mais de 30 anos, sendo provenientes de rebrota após cortes realizados periodicamente a cada sete anos. O último corte iniciou-se no mês de novembro de 2024. Adicionalmente, a renovação da plantação ocorre de forma natural, sem a introdução de novas mudas, com o crescimento de árvores a partir das próprias sementes dispersadas no local. Esse processo de regeneração natural contribui para a diversidade estrutural e funcional da floresta, sendo influenciado por fatores como dispersão de sementes, condições ambientais e características do manejo adotado.

Os resultados médios de precipitação incidente, interna, escoamento pelo tronco e interceptação são apresentados na Tabela 4, permitindo identificar as proporções de cada componente em relação ao total de chuva.

Tabela 4 – Resumo dos Resultados (2023–2024), onde: P é a precipitação incidente, P_i é a precipitação interna, E_{sct} é o escoamento pelo tronco, P_e é a precipitação efetiva e I interceptação.

N° coleta	Período	P (mm)	P _i (mm)	P _i (% P)	E _{sct} (mm)	E _{sct} (% P)	I (mm)	I (% P)
C1	02/06/23 9h a 11/06/23 11h	14,19	9,28	65,38	0,51	3,58	4,4	31,04
C2	15/06/23 4h a 19/06/23 10h	29,31	19,72	67,29	0,52	1,77	9,07	30,95
C3	20/06/23 6h a 23/06/23 12h	21,98	10,68	48,58	0,49	2,23	10,8	49,18
C4	23/06/23 19h a 28/06/23 13h	19,18	12,86	67,07	0,55	2,85	5,77	30,08
C5	02/07/23 2h a 10/07/23 11h	45,37	30,24	66,67	0,11	0,23	15	33,1
C6	12/07/23 8h a 15/07/23 12h	102,9	68,67	66,74	0,65	0,63	33,6	32,63
C7	20/07/23 20h a 30/07/23 11h	57,99	37,18	64,11	1,13	1,95	19,7	33,94
C8	01/08/23 11h a 11/08/23 12h	54,56	37,49	68,71	0,89	1,64	16,2	29,65
C9	18/08/23 10h a 19/08/23 12h	29,93	21,59	72,14	0,6	1,99	7,74	25,87
C10	22/08/23 9h a 24/08/23 12h	0,39	0,28	72	0	1,14	0,1	26,86
C11	01/09/23 14h a 06/09/23 12h	103,1	69,37	67,32	0,15	0,14	33,5	32,53
C12	07/09/23 00h a 09/09/23 12h	105,4	70,08	66,49	0,38	0,36	34,9	33,14
C13	11/09/23 19h a 14/09/23 12h	222	147,4	66,4	1,3	0,59	73,3	33,02
C14	18/09/23 13h a 21/09/23 12h	39,75	26,81	67,45	1,3	3,26	11,6	29,29
C15	21/09/23 14h a 28/09/23 12h	207,7	139,1	67	1,18	0,57	67,3	32,43

Continua

N° coleta	Período	P (mm)	Pi (mm)	Pi (% P)	Esct (mm)	Esct (% P)	I (mm)	I (% P)
C16	01/10/23 2h a 04/10/23 11h	19,49	13,64	70	0,78	4,01	5,06	25,99
C17	10/10/23 9h a 18/10/23 12h	45,83	31,49	68,71	0,78	1,71	13,6	29,59
C18	22/10/23 16h a 23/10/23 12h	21,2	14,19	66,91	0,52	2,47	6,49	30,62
C19	23/10/23 14h a 30/10/23 12h	1,25	0,94	75	0,63	50,58	-0,32	-25,58
C20	01/11/23 17h a 04/11/23 12h	54,25	36,71	67,67	1,15	2,13	16,4	30,2
C21	07/11/23 10h a 09/11/23 9h	19,95	13,33	66,8	0,75	3,77	5,87	29,43
C22	10/11/23 20h a 12/11/23 10h	53,16	34,06	64,08	0,37	0,71	18,7	35,22
C23	12/11/23 11h a 16/11/23 12h	72,49	49,19	67,85	0,47	0,65	22,8	31,5
C24	18/11/23 6h a 19/11/23 10h	5,92	4,13	69,74	0,05	0,83	1,74	29,43
C25	22/11/23 10h a 29/11/23 12h	44,9	31,26	69,62	0,21	0,47	13,4	29,91
C26	02/12/23 6h a 07/12/23 12h	94,94	63,29	66,67	0,47	0,49	31,2	32,84
C27	13/12/23 6h a 14/12/23 12h	17,93	12	66,96	0,13	0,71	5,8	32,33
C28	15/12/23 20h a 21/12/23 12h	78,26	51,52	65,84	0,43	0,55	26,3	33,61
C29	22/12/23 19h a 25/12/23 12h	5,14	4,29	83,33	0,03	0,65	0,82	16,01
C30	29/12/23 5h a 30/12/23 12h	15,28	10,83	70,92	0,09	0,6	4,35	28,48
C31	02/01/24 21h a 05/01/24 12h	36,01	24,05	66,77	0,14	0,4	11,8	32,82

Continuação

N° coleta	Período	P (mm)	Pi (mm)	Pi (% P)	Esct (mm)	Esct (% P)	I (mm)	I (% P)
C32	10/01/24 22h a 12/01/24 12h	4,99	3,66	73,44	0,03	0,67	1,29	25,9
C33	14/01/24 18h a 21/01/24 12h	96,97	64,7	66,72	0,63	0,65	31,6	32,63
C34	04/02/24 19h a 05/02/24 12h	2,96	1,87	63,16	0,03	1,13	1,06	35,72
C35	11/02/24 00h a 14/02/24 12h	21,67	14,73	67,99	0,23	1,05	6,71	30,97
C36	16/02/24 6h a 21/02/24 11h	62,67	42,95	68,53	0,37	0,59	19,4	30,88
C37	26/02/24 19h a 29/02/24 12h	14,81	10,06	67,89	0,14	0,94	4,62	31,16
C38	03/03/24 6h a 03/03/24 11h	1,25	0,86	68,75	0,02	1,44	0,37	29,81
C39	07/03/24 10h a 12/03/24 9h	73,74	49,26	66,81	0,52	0,71	24	32,48
C40	15/03/24 5h a 17/03/24 11h	34,76	24,4	70,18	0,17	0,49	10,2	29,33
C41	19/03/24 1h a 22/03/24 11h	61,11	40,45	66,2	0,35	0,57	20,3	33,23
C42	27/03/24 8h a 31/04/24 11h	1,56	1,09	70	0,01	0,92	0,45	29,08
C43	01/04/24 6h a 04/04/24 12h	18,55	7,74	41,74	0,1	0,51	10,7	57,75
C44	07/04/24 6h a 09/04/24 12h	13,41	5,66	42,25	0,07	0,5	7,68	57,26
C45	11/04/24 9h a 17/04/24 12h	142,8	58,46	40,94	0,69	0,48	83,7	58,58
C46	23/04/24 22h a 30/04/24 12h	233,8	118,4	50,64	1,26	0,54	114	48,82
C47	01/05/24 00h a 07/05/24 12h	136,4	49,21	36,08	0,6	0,44	86,6	63,49
C48	08/05/24 14h a 13/05/24 12h	51,29	20,84	40,63	0,33	0,64	30,1	58,73

Continuação

N° coleta	Período	P (mm)	Pi (mm)	Pi (% P)	Esct (mm)	Esct (% P)	I (mm)	I (% P)
C49	16/05/24 13h a 17/05/24 12h	4,37	1,82	41,67	0,04	0,82	2,51	57,52
C50	19/05/24 9h a 31/05/24 11h	144,4	58,82	40,75	0,76	0,53	84,8	58,72
C51	01/06/24 1h a 08/06/24 12h	15,43	6,34	41,08	0,09	0,56	9,01	58,36
C52	12/06/24 5h a 20/06/24 12h	141,7	57,27	40,41	0,7	0,49	83,7	59,1
C53	21/06/24 15h a 26/06/24 12h	58,77	24,01	40,85	0,12	0,2	34,7	58,95
C54	03/07/24 21h a 05/07/24 12h	12,47	5,14	41,25	0,06	0,49	7,27	58,26
C55	10/07/24 8h a 18/07/24 12h	37,57	15,75	41,91	0,15	0,4	21,7	57,69
C56	21/07/24 6h a 25/07/24 12h	2,49	1,14	45,83	0,01	0,58	1,34	53,59
C57	28/07/24 5h a 30/07/24 12h	16,84	7,22	42,9	0,06	0,34	9,56	56,76
C58	03/08/24 21h a 10/08/24 12h	140	56,54	40,39	0,89	0,64	82,6	58,98
C59	17/08/24 10h a 23/08/24 12h	86,21	34,66	40,2	0,36	0,41	51,2	59,38
C60	28/08/24 8h a 31/08/24 12h	2,49	1,14	45,83	0,03	1,09	1,32	53,07
C61	01/09/24 22h a 05/09/24 12h	28,37	11,17	39,38	0,21	0,73	17	59,89
C62	09/09/24 2h a 09/09/24 12h	0,47	0,26	55,56	0	0,22	0,21	44,23
C63	12/09/24 9h a 16/09/24 12h	31,02	15,8	50,92	1,58	5,09	13,7	43,98
C64	17/09/24 9h a 24/09/24 12h	72,02	31,49	43,72	0,33	0,45	40,2	55,82
C65	24/09/24 10h a 30/09/24 12h	121,9	50,46	41,39	0,7	0,57	70,8	58,04

Continuação

N° coleta	Período	P (mm)	Pi (mm)	Pi (% P)	Esct (mm)	Esct (% P)	I (mm)	I (% P)
C66	01/10/24 8h a 02/10/24 12h	94,32	80,77	85,64	2,16	2,29	11,4	12,08
C67	04/10/24 9h a 11/10/24 11h	22,92	9,87	43,08	0,19	0,84	12,9	56,07
C68	11/10/24 12h a 12/10/24 12h	9,82	4,37	44,44	0,12	1,27	5,33	54,29
C69	15/10/24 8h a 16/10/24 12h	37,88	29,52	77,91	0,53	1,41	7,83	20,67
C70	23/10/24 18h a 30/10/24 12h	34,45	13,41	38,91	0,32	0,93	20,7	60,15
	Total das coletas registradas	3728	2127	57,05	31,72	0,85	1570	42,1
	Média das coletas registradas	53,26	30,39	58,95	0,45	1,8	22,4	39,25
	Desvio Padrão das coletas registradas	53,99	31,08	13,44	0,43	6	26,3	15,71
	Maior valor das coletas registradas	233,8	147,4	85,64	2,16	50,58	114	63,49
	Menor valor das coletas registradas	0,39	0,26	36,08	0	0,14	-0,32	-25,58
	LEGENDA: C46 = Maior volume coletado em um evento.							

Conclusão

Fonte: Autora (2024)

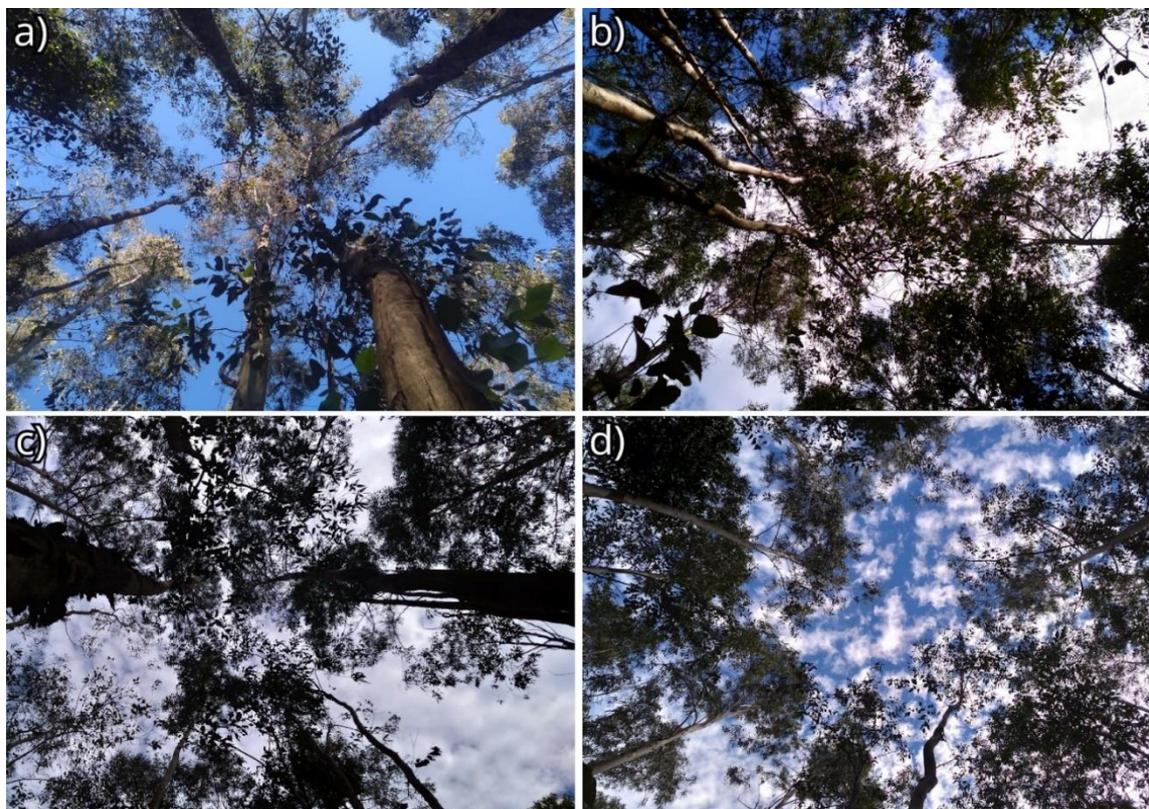
4.2 Distribuição da Precipitação Incidente e Interna

A precipitação incidente totalizou 1.603,6 mm em 2023 e 2.124,7 mm em 2024, alguns meses não apresentaram coletas de dados devido ao período de início e término do estudo, o que limitou a abrangência temporal da análise (Tabela 5), com uma média mensal de 133,63 mm e 177,06 mm, respectivamente. A precipitação interna foi de 1.071,63 mm em 2023 e 1.055,39 mm em 2024, representando 66,8% e 49,7% da precipitação incidente. Esses resultados indicam que a eficiência do dossel na retenção de água foi maior em 2024, possivelmente devido ao aumento da densidade foliar ou a condições climáticas que favoreceram a evaporação (Figura 19).

Os meses de setembro de 2023 e abril de 2024 destacaram-se como os períodos de maior precipitação, quando ocorreram inundações no Rio Grande do Sul, com valores incidentes de 677,83 mm e 408,60 mm, respectivamente. Em termos percentuais, setembro de 2023 apresentou uma precipitação interna de 66,8% do total incidente, enquanto abril de 2024 registrou 46,5%, evidenciando a influência da intensidade pluviométrica na retenção pelo dossel. Estudos como os de Almeida e Soares (2003) também observaram que eventos intensos reduzem a proporção de água interceptada devido à saturação das copas.

Além disso, a distribuição mensal revelou que meses com chuvas fragmentadas (menor intensidade) apresentaram maiores taxas de interceptação (Figura 20). Esse comportamento confirma os padrões relatados por Valente, David e Gash (1997), que identificaram uma maior eficiência na retenção hídrica em eventos de baixa intensidade.

Figura 19 - Visualização da copa das árvores (a) e (b) ano de 2024, (c) e (d) ano de 2023, evidenciando o formato e a densidade das folhagens, elementos essenciais para compreender o impacto da copa na interceptação pluviométrica.



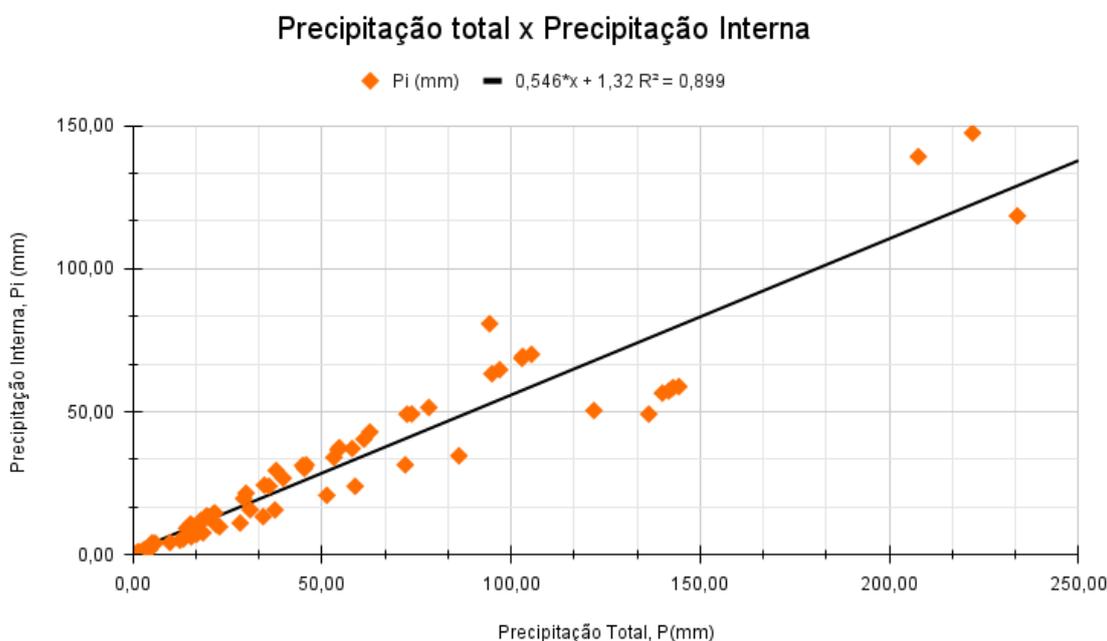
Fonte: Autora (2024)

Tabela 5 – Precipitação incidente e interna (2023–2024)

Ano	Total Escoamento (mm)	Média Mensal (mm)	Máximo
2023	1.603,60	1.071,63	33%
2024	2.124,70	1.055,39	50,30%

Fonte: Autora (2024)

Figura 20 – Comportamento da precipitação interna em relação à precipitação total.



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 20) ilustra uma relação linear crescente, com 0,02% da variabilidade na precipitação interna explicada pela precipitação incidente. Esse padrão reflete a saturação do dossel em eventos de alta intensidade, limitando a interceptação e aumentando o fluxo direto para o solo. Resultados semelhantes foram reportados por Putuhena e Cordery (2000), ao analisar florestas de eucalipto maduras.

4.3 Área Externa (Incidente)

A área externa serviu como referência para estimar a precipitação incidente total, fornecendo dados de chuva sem interferência do dossel florestal. Em 2023, os maiores volumes ocorreram em setembro (677,83 mm) e novembro, enquanto o menor foi registrado em junho (84,65 mm), (Gráfico 1). Já em 2024, os meses

de maior precipitação foram abril (408,60 mm) e maio, enquanto o menor foi julho (69,37 mm) Tabela 6.

Esses resultados mostram que a precipitação foi mais concentrada em períodos de transição sazonal (primavera e outono), padrão característico do regime climático da região. Estudos como os de Baumhardt *et al.* (2009) também relataram maior concentração de chuvas durante essas estações em plantações de eucalipto no Rio Grande do Sul.

Tabela 6 – Precipitação externa (P) por mês (2023–2024).

Nº coleta	Período	P (mm)
C1	02/06/23 9h a 11/06/23 11h	14,19
C2	15/06/23 4h a 19/06/23 10h	29,31
C3	20/06/23 6h a 23/06/23 12h	21,98
C4	23/06/23 19h a 28/06/23 13h	19,18
C5	02/07/23 2h a 10/07/23 11h	45,37
C6	12/07/23 8h a 15/07/23 12h	102,9
C7	20/07/23 20h a 30/07/23 11h	57,99
C8	01/08/23 11h a 11/08/23 12h	54,56
C9	18/08/23 10h a 19/08/23 12h	29,93
C10	22/08/23 9h a 24/08/23 12h	0,39
C11	01/09/23 14h a 06/09/23 12h	103,1
C12	07/09/23 00h a 09/09/23 12h	105,4
C13	11/09/23 19h a 14/09/23 12h	222

Continua

N° coleta	Período	P (mm)
C14	18/09/23 13h a 21/09/23 12h	39,75
C15	21/09/23 14h a 28/09/23 12h	207,7
C16	01/10/23 2h a 04/10/23 11h	19,49
C17	10/10/23 9h a 18/10/23 12h	45,83
C18	22/10/23 16h a 23/10/23 12h	21,2
C19	23/10/23 14h a 30/10/23 12h	1,25
C20	01/11/23 17h a 04/11/23 12h	54,25
C21	07/11/23 10h a 09/11/23 9h	19,95
C22	10/11/23 20h a 12/11/23 10h	53,16
C23	12/11/23 11h a 16/11/23 12h	72,49
C24	18/11/23 6h a 19/11/23 10h	5,92
C25	22/11/23 10h a 29/11/23 12h	44,9
C26	02/12/23 6h a 07/12/23 12h	94,94
C27	13/12/23 6h a 14/12/23 12h	17,93
C28	15/12/23 20h a 21/12/23 12h	78,26
C29	22/12/23 19h a 25/12/23 12h	5,14
C30	29/12/23 5h a 30/12/23 12h	15,28
C31	02/01/24 21h a 05/01/24 12h	36,01
C32	10/01/24 22h a 12/01/24 12h	4,99
C33	14/01/24 18h a 21/01/24 12h	96,97
C34	04/02/24 19h a 05/02/24 12h	2,96
C35	11/02/24 00h a 14/02/24 12h	21,67

Continuação

Nº coleta	Período	P (mm)
C36	16/02/24 6h a 21/02/24 11h	62,67
C37	26/02/24 19h a 29/02/24 12h	14,81
C38	03/03/24 6h a 03/03/24 11h	1,25
C39	07/03/24 10h a 12/03/24 9h	73,74
C40	15/03/24 5h a 17/03/24 11h	34,76
C41	19/03/24 1h a 22/03/24 11h	61,11
C42	27/03/24 8h a 31/04/24 11h	1,56
C43	01/04/24 6h a 04/04/24 12h	18,55
C44	07/04/24 6h a 09/04/24 12h	13,41
C45	11/04/24 9h a 17/04/24 12h	142,8
C46	23/04/24 22h a 30/04/24 12h	233,8
C47	01/05/24 00h a 07/05/24 12h	136,4
C48	08/05/24 14h a 13/05/24 12h	51,29
C49	16/05/24 13h a 17/05/24 12h	4,37
C50	19/05/24 9h a 31/05/24 11h	144,4
C51	01/06/24 1h a 08/06/24 12h	15,43
C52	12/06/24 5h a 20/06/24 12h	141,7
C53	21/06/24 15h a 26/06/24 12h	58,77
C54	03/07/24 21h a 05/07/24 12h	12,47
C55	10/07/24 8h a 18/07/24 12h	37,57

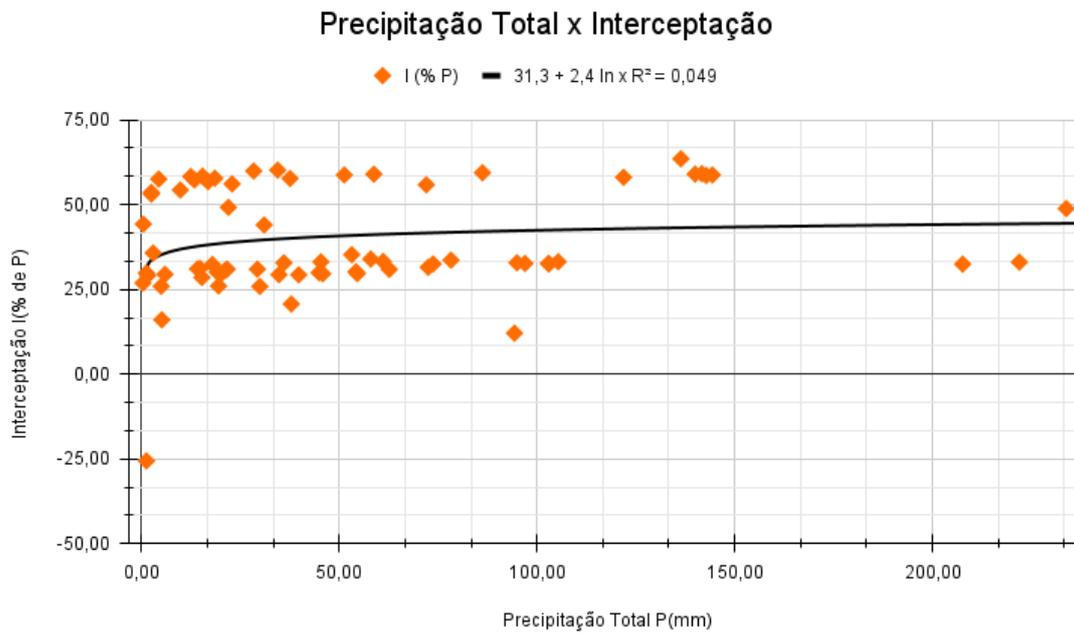
Continuação

Nº coleta	Período	P (mm)
C56	21/07/24 6h a 25/07/24 12h	2,49
C57	28/07/24 5h a 30/07/24 12h	16,84
C58	03/08/24 21h a 10/08/24 12h	140
C59	17/08/24 10h a 23/08/24 12h	86,21
C60	28/08/24 8h a 31/08/24 12h	2,49
C61	01/09/24 22h a 05/09/24 12h	28,37
C62	09/09/24 2h a 09/09/24 12h	0,47
C63	12/09/24 9h a 16/09/24 12h	31,02
C64	17/09/24 9h a 24/09/24 12h	72,02
C65	24/09/24 10h a 30/09/24 12h	121,9
C66	01/10/24 8h a 02/10/24 12h	94,32
C67	04/10/24 9h a 11/10/24 11h	22,92
C68	11/10/24 12h a 12/10/24 12h	9,82
C69	15/10/24 8h a 16/10/24 12h	37,88
C70	23/10/24 18h a 30/10/24 12h	34,45
	Total das coletas registradas	3728
	Média das coletas registradas	53,26
	Desvio Padrão das coletas registradas	53,99
	Maior valor das coletas registradas	233,8
	Menor valor das coletas registradas	0,39
LEGENDA:		
C46 = Maior volume coletado em um evento.		

Conclusão

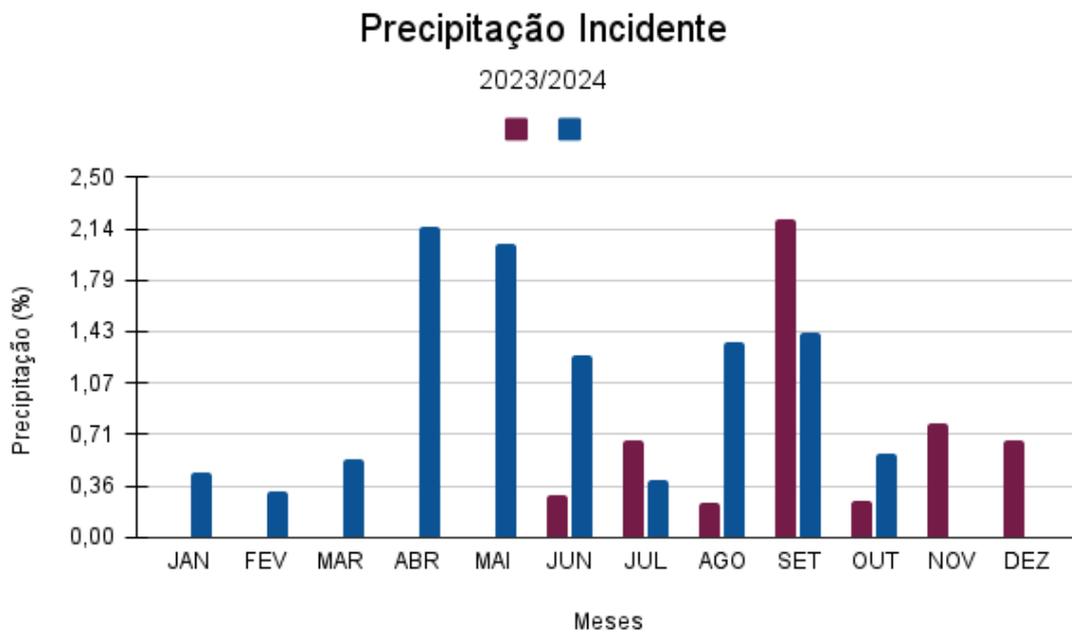
Fonte: Autora (2024)

Figura 21 – Precipitação Total x Precipitação Interceptada



Fonte: Autora (2024)

Gráfico 1 – Volumes da precipitação incidente registrados durante o período de estudo (2023/2024).



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 21) desprende-se a existência de uma relação potencial linear entre a interceptação e a precipitação incidente, sendo 0,049% da interceptação explicados em função da precipitação total. Nesse caso, pode-se observar que quanto maior a precipitação incidente mais se iguala a interceptação. A interceptação apresenta maior variabilidade. Eventos menores demonstram alta eficiência de interceptação, enquanto precipitações intensas resultam em menor proporção de retenção devido à saturação do dossel.

4.3.1 Dados Negativos

Valores negativos ou anômalos registrados em variáveis como interceptação pluviométrica ou escoamento pelo tronco são fenômenos frequentemente documentados na literatura científica e podem ser atribuídos a uma série de fatores ambientais e metodológicos. Valente, David e Gash (1997) destacaram que essas ocorrências podem ser explicadas por:

- Redistribuição de água pelo dossel: Durante eventos de chuva acompanhados por ventos fortes, parte da precipitação pode ser deslocada lateralmente, resultando em volumes menores de água coletados nos dispositivos de monitoramento, ou até mesmo em valores negativos quando comparados à precipitação incidente.
- Saturação do sistema: Eventos extremos de precipitação podem exceder a capacidade de retenção do dossel ou dos dispositivos de coleta, ocasionando transbordamentos que distorcem os valores reais capturados.
- Interferências externas: A presença de resíduos vegetais, insetos ou danos aos coletores pode afetar a precisão das medições, especialmente em ambientes florestais dinâmicos.

No presente estudo, alguns eventos apresentaram valores discrepantes, particularmente em situações de precipitação intensa ou durante períodos de alta atividade atmosférica. Esses resultados reforçam a complexidade dos processos hidrológicos em áreas de *Eucalyptus globulus*, onde interações entre

fatores climáticos e estruturais da vegetação desempenham um papel significativo na modulação do regime hídrico (Di Marco E. 2015).

Embora esses valores possam ser vistos como anomalias, eles fornecem informações valiosas sobre as limitações do sistema de coleta e as respostas da floresta a diferentes condições ambientais. Segundo Valente, David e Gash (1997), esses dados devem ser interpretados no contexto das condições locais e utilizados para aprimorar modelos hidrológicos e ajustar as metodologias de monitoramento.

4.4 Escoamento pelo Tronco

O escoamento pelo tronco é um componente essencial na avaliação do balanço hídrico em florestas, especialmente em áreas com plantações de *Eucalyptus globulus*. Durante os anos de 2023 e 2024, a variação mensal no volume de água canalizada pelos troncos evidenciou padrões sazonais e sua relação com a precipitação incidente Tabela 7.

Em 2023, os volumes mensais de escoamento pelo tronco variaram entre 1,49 mm em agosto e 4,31 mm em setembro. O pico em setembro está diretamente relacionado ao maior volume de precipitação incidente registrado no mesmo mês, totalizando 677,83 mm (Gráfico 2). Este valor destaca a eficiência limitada do dossel em eventos pluviométricos intensos, levando à canalização de maiores volumes pelo tronco. Por outro lado, os meses de agosto e outubro apresentaram os menores volumes de escoamento (1,49 mm e 2,72 mm, respectivamente), refletindo precipitações incidentes menores, de 84,89 mm e 87,77 mm.

Já em 2024, o maior escoamento mensal ocorreu em outubro, com 3,33 mm, também em consonância com um volume expressivo de precipitação incidente (199,39 mm). O menor valor foi registrado em julho, com apenas 0,28 mm, destacando a influência das chuvas mais moderadas durante este mês. A média anual de escoamento pelo tronco foi de 1,73 mm em 2023 e 1,64 mm em

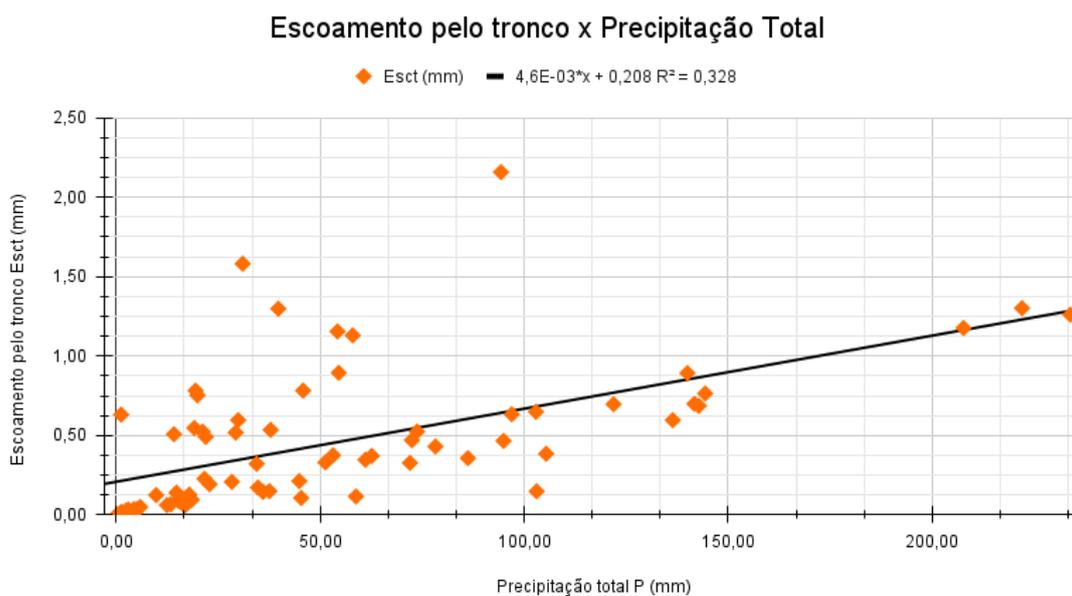
2024, refletindo a influência do dossel e das condições climáticas nos volumes canalizados (Figura 22).

Tabela 7 – Escoamento pelo tronco (2023–2024)

Ano	Total Escoamento (mm)	Média Mensal (mm)	Máximo Mensal (mm)
2023	16,63	2,38	4,3%
2024	15,09	2,16	3,33%

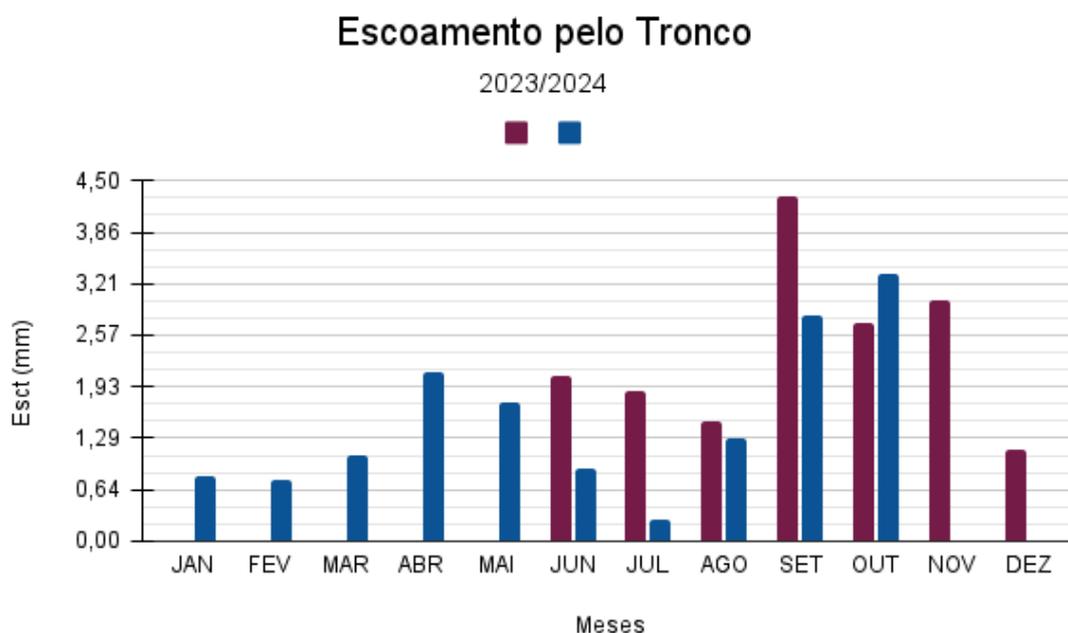
Fonte: Autora (2024)

Figura 22 – Precipitação total x escoamento pelo tronco conforme informações das 71 coletas monitoradas.



Fonte: Autora (2024)

Gráfico 2 – Volumes de escoamento pelo tronco registrados durante o período de estudo (2023/2024).



Fonte: Autora (2024)

A (Figura 22) demonstra que o escoamento pelo tronco possui uma relação linear crescente com a precipitação incidente, com 0,025% da variabilidade explicada. Esse comportamento reflete a saturação do dossel em chuvas mais intensas, resultando em maior fluxo pelo tronco.

4.5 Precipitação Interna

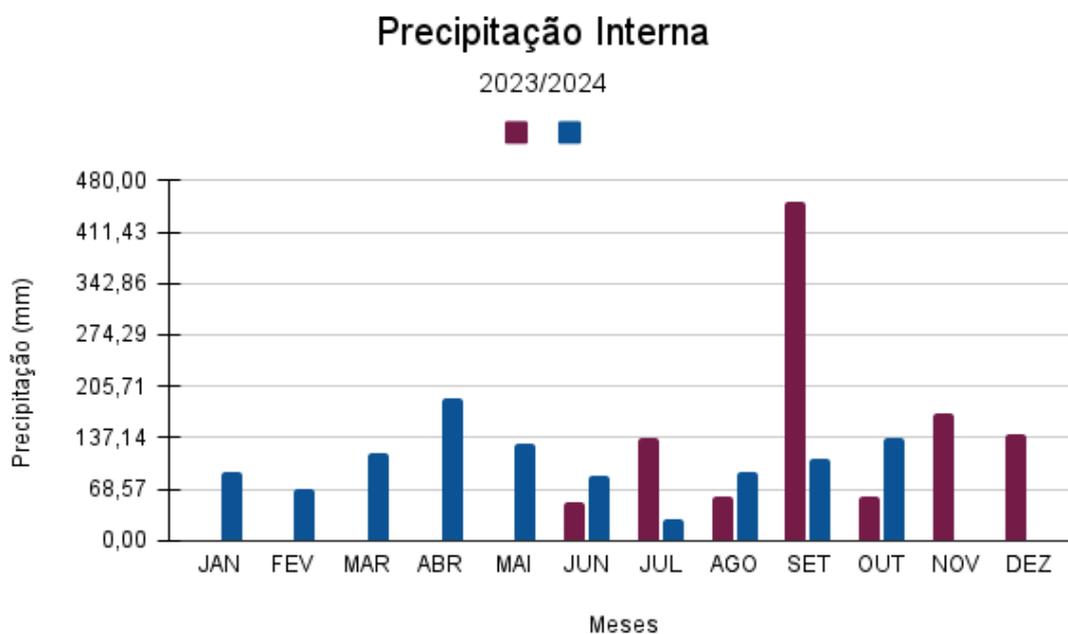
A precipitação interna corresponde ao volume de chuva que ultrapassa o dossel e atinge diretamente o solo, sendo um indicador importante da capacidade do dossel em interceptar a precipitação. Durante os dois anos analisados, a precipitação interna apresentou variações expressivas entre os meses, alinhadas com os padrões de chuva da região.

Em 2023, o maior volume de precipitação interna foi observado em setembro, com 452,80 mm, representando 66,8% da precipitação incidente

deste mês. Este valor reflete a saturação do dossel durante eventos de chuva mais intensa. O menor volume ocorreu em agosto, com 59,37 mm, equivalente a 69,9% da precipitação incidente (Tabela 2). Esses resultados indicam que a eficiência do dossel é maior em chuvas de menor intensidade, com maior proporção da precipitação sendo interceptada.

No ano de 2024, os picos de precipitação interna foram registrados em abril, com 190,30 mm, e outubro, com 137,93 mm, correspondendo a 46,6% e 69,1% das precipitações incidentes nos respectivos meses (Gráfico 3). O menor valor foi observado em julho, com apenas 29,26 mm, refletindo a redução das chuvas neste período. Esses dados corroboram a importância do manejo do dossel para melhorar a eficiência de interceptação em eventos de chuva mais frequentes e intensos.

Gráfico 3 – Volumes de precipitação registrados durante o período de estudo (2023/2024).



Fonte: Autora (2024)

4.6 Análise Comparativa

Comparando os anos de 2023 e 2024, observa-se que, embora os volumes totais de precipitação interna tenham sido semelhantes (1.071,67 mm em 2023 e 1.055,39 mm em 2024), a distribuição mensal apresenta diferenças significativas. Em 2024, a precipitação interna foi mais uniforme ao longo do ano, refletindo uma sazonalidade menos acentuada das chuvas. Por outro lado, 2023 mostrou maiores extremos, com picos concentrados em meses específicos.

A relação entre a precipitação interna e a precipitação incidente reforça a capacidade do dossel em reter água em chuvas de menor intensidade, enquanto em eventos mais intensos, o dossel atinge sua saturação rapidamente, resultando em maior escoamento pelo tronco e menor interceptação. Esses padrões destacam a importância de considerar a densidade do dossel e as práticas de manejo florestal no planejamento hídrico de áreas com *Eucalyptus globulus*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a dinâmica hidrológica em uma área de plantio de *Eucalyptus globulus* no Bioma Pampa, com foco na precipitação incidente, interna, interceptação e escoamento pelo tronco. Entre 2023 e 2024, foram utilizados métodos de monitoramento pluviométrico e cálculos específicos, resultando em uma compreensão detalhada dos padrões de distribuição da precipitação e das interações entre o dossel e os processos hidrológicos locais.

Os resultados evidenciaram variações significativas entre os anos analisados. Em 2024, a interceptação acumulada foi de 1.054,22 mm (49,6% da precipitação incidente), enquanto em 2023 foi de 516,32 mm (32,2%). A precipitação interna representou 1.071,63 mm em 2023 e 1.055,39 mm em 2024, enquanto o escoamento pelo tronco somou 16,63 mm e 15,09 mm, respectivamente. Esses valores destacam a influência do maior

desenvolvimento vegetativo em 2024, associado à ausência de podas e à densidade do dossel.

O escoamento pelo tronco, embora corresponda a uma fração menor da precipitação total (0,85%), foi significativo em períodos de chuvas intensas, demonstrando a capacidade do dossel de redirecionar parte da água da chuva. A precipitação incidente externa desempenhou um papel crucial como referência para calcular a eficiência das copas na interceptação e redistribuição da água.

Comparando os dados com outros estudos, os resultados estão alinhados com os valores encontrados por Lima (1976) e Almeida e Soares (2003), reforçando a confiabilidade do monitoramento e das análises realizadas. Esses achados ressaltam a importância de monitorar processos hidrológicos em plantações florestais, pois eles impactam diretamente o balanço hídrico e o potencial de infiltração do solo.

Apesar das vantagens do *Eucalyptus globulus*, como crescimento rápido e adaptabilidade, o estudo destaca a necessidade de manejo adequado para evitar impactos negativos, como o esgotamento de recursos hídricos. O regime climático local e a sazonalidade das chuvas devem ser considerados em qualquer planejamento de manejo.

Conclui-se que plantações de *Eucalyptus globulus* desempenham um papel significativo no ciclo hidrológico, afetando tanto a distribuição quanto a disponibilidade de água no ecossistema. Estudos futuros devem integrar monitoramento de longo prazo, sensoriamento remoto e modelagem hidrológica para formular estratégias mais eficazes de manejo e conservação, especialmente em regiões de regime hídrico variável como o Bioma Pampa. Essa abordagem contribuirá para a sustentabilidade e a gestão equilibrada de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. de; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa (MG, Brasil), v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

AZZAZY M. Impactos ambientais da poluição industrial na morfologia do pólen de *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae). *J. App. Biology Biotech*, 4 (05), 057-062, (2016). Acesso em: 09 set. 2023.

GARCIA, Lara Gabrielle; FERRAZ, BARROS, Silvio Frosini; ALVARES, Clayton Alcarde; FERRAZ, Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros; HIGA, Rosana Clara Victoria. Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis* frente aos cenários de mudanças climáticas no Brasil. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 503-511, dez. 2014. Acesso em: 09 set. 2023.

BAUMHARDT, E.; MAZIERO, E.; SILVA, A. S.; ANTOLIN, A.T.; SÁ, Y. R. V.; ÁVILA, C. B.; CRUZ, J. C.; MULLER, I.; SILVA, J. C. M. Intensidade de amostragem de interceptômetros em microbacia florestada para validação dos valores de interceptação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo: ABRH, 2009. Acesso em: 09 set. 2023.

BRUIJNZEEL, L.A. LAHydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 104(1), 185-228, (2004). Acesso em: 09 set. 2023.

CALHEIROS, DF. et al. The role of forests in the Brazilian water and energy balance. **Forest Ecology and Management**, 394, p. 10-21, 2017. Acesso em: 09 set. 2023.

DI MARCO E. *Eucalyptus globulus* sp. *Labill globulus*. (Eucalipto branco) Família *Myrtaceae*. Ficha técnica. Manejo da produção florestal. Buenos Aires, Argentina. 36, (2015). Acesso em: 09 set. 2023.

EMBRAPA. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento.** - Portal Embrapa 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1131510/o-eucalipto-e-a-embrapa-quatro-decadas-de-pesquisa-e-desenvolvimento>>. Acesso em: 3 dec. 2024.

FRIES, A. et al. Measurement and modeling of rainfall interception by temperate forest. **Journal of Hydrology**, 370(1-4), 82-96, 2009. Acesso em: 09 set. 2023.

GONZALEZ R., Silva G., Urbina A. e Gerding M. Óleo essencial de *eucalyptus globulus* Labill. e *Eucalyptus nitens* H. Dance & Maiden (Myrtaceae) para o controle de *Sitophilus Zea mays* Motschulsky. *Chileno J. Agric. Anim. Sci., Ex-Agro-Ciência*. 2016. 32 (3): 204-216. Acesso em: 09 set. 2023.

JAMES S. e Bell D. 2001. Características morfológicas e anatômicas das folhas de *Eucalyptus globulus* ssp heteroblástico. *globulus* (Myrtaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, 49 (2), 259-269. Acesso em: 09 set. 2023.

LEVIA, D.F.; GERMER, S. Uma revisão da dinâmica de geração de fluxo pelo tronco e das interações entre fluxo e ambiente em florestas e matagais. **Resenhas de Geofísica**, 53(3), p. 673-71, 2015. Acesso em: 10 out. 2023.

LIMA, W.P. de. Impacto Ambiental do Eucalipto. 2 ed., São Paulo: **Editora da Universidade de São Paulo**, 1996, 301 p.

LIMA, W.P. de. Interceptação da Chuva em Povoamentos de Eucalipto e de Pinheiro. IPEF, n. 13, p. 75-90. 1976.

LIMA, W.P. de. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 241 p.

MELO Neto, J. O.; Mello, C. R.; Mello, J. M.; Guimarães, D. V. Comportamento físico da precipitação interna em um povoamento de Eucalyptus. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1215-1226, jul./set. 2019. DOI: 10.5902/1980509817981.

OCHOA-TOCACHI, BF et al. Benefits of cloud forests: Modeling water and carbon cycling and evaluating their conservation role under future scenarios of land-use change. **Journal of Hydrology**, 573, 953-971, 2019. Acesso em: 10 out. 2023.

OVERBECK, G. E.; Müller, S. C.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V. D.; Blanco, C. C.; Boldrini, I. I.; Both, R.; Forneck, E. D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 9, p. 101-116, 2007. DOI: 10.1016/j.ppees.2007.07.005.

OVERBECK, GE et al. **Ecology of Southern Brazilian Campos**. Springer, 2007. Acesso em: 10 out. 2023.

PILLAR, V. D.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. Disponível em: https://www.biodiversidade.rs.gov.br/upload/1334052261_CamposSulinos-Livro.pdf. 10 out. 2024.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil. MapBiomas, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 out. 2024.

REDE DE CAMPOS SULINOS. A agonia do Pampa: um panorama atual sobre a supressão da vegetação nativa campestre. Observatório do Código Florestal (OCF), 2020. Disponível em: <https://www.observatorioflorestal.org.br>. Acesso em: 10 out. 2024.

ROCHA, HR *et al.* **Ciclo hidrológico: Conceitos e aplicações**. Oficina de Textos, 2009. Acesso em: 10 out. 2023.

SANTOS, I. Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. 2009. 167f. **Tese (Doutorado em Geografia)** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Acesso em: 10 out. 2023.

SARI, Vanessa. Caracterização do comportamento hidrológico em áreas de plantio de eucalipto: estudos de interceptação e escoamento. **Revista Brasileira de Hidrologia**, 2024. Acesso em: 10 out. 2023.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrol. Processes*, v. 18, n. 8, p. 1507-1511, June 2004. Acesso em: 10 out. 2023.

SCOTT, DF. The automated weather station as an aid to forest hydrology research. **Journal of Hydrology**, 56(1-2), 139-155, 1982. Acesso em: 10 out. 2023.

SILVA, J.M.N. "**Eucaliptos**: Biologia, Silvicultura e Aplicações". Editora Florestal, 2018. Acesso em: 10 out. 2023.

STULL, R. B. *Meteorology for Scientists and Engineers*. 2nd ed. Brooks/Cole, (2000). Acesso em: 10 out. 2023.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. **Journal of Hydrology**, v. 190, p. 141-162, 1997. Acesso em: 10 out. 2023.

VALVERDE, J. C., Rubilar, R., Barrientos, G., Medina, A., Pincheira, M., Emhart, V., Zapata, Á., Bozo, D., Espinoza, Y., Campoe, O. C. Differences in rainfall interception among Eucalyptus genotypes. *Trees*, v. 37, p. 1189–1200, 2023. DOI: 10.1007/s00468-023-02417-1. Acesso em: 10 out. 2023.