

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

DIEGO DOS SANTOS ROSA

**INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM ÁREA FLORESTAL DE MATA NATIVA DO
BIOMA PAMPA NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**Caçapava do Sul
2025**

DIEGO DOS SANTOS ROSA

**INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM ÁREA FLORESTAL DE MATA NATIVA DO
BIOMA PAMPA NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso 2
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin

**Caçapava do Sul
2025**

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) .

R788i Rosa, Diego dos Santos
INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM ÁREA FLORESTAL DE MATA NATIVA DO
BIOMA PAMPA NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS / Diego dos Santos
Rosa.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2025.
"Orientação: Rafael Matias Feltrin".

1. precipitação pluviométrica. 2. Ciclo Hidrologico. 3.
Precipitação interna. 4. Escoamento pelo tronco. 5. Recursos
hídricos. I. Título.

DIEGO DOS SANTOS ROSA

**INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM ÁREA FLORESTAL DE MATA NATIVA DO
BIOMA PAMPA NA REGIÃO DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso 2
apresentado ao Curso de 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: 01 de julho de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
Orientador
UNIPAMPA

Prof.^a. Dr.^a. Mariana Ribeiro Santiago
UNIPAMPA

Prof.^a. Dr.^a. Jéssica Weiler
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JESSICA WEILER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 15:13, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIANA RIBEIRO SANTIAGO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/07/2025, às 14:13, 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 **1777044** e o código CRC **1D5BF654**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele nada seria possível e a minha família pelo apoio incondicional e amor.

AGRADECIMENTO

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e incentivo de muitas pessoas.

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Feltrin, pelo apoio e ensinamentos durante todo o processo de desenvolvimento do trabalho. Sua orientação foi essencial para a minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também aos professores, técnicos e terceirizados que me acompanharam ao longo do curso, pela dedicação, apoio, amizade e pelo conhecimento compartilhado.

Agradeço aos meus colegas da UNIPAMPA, pela amizade, pelo companheirismo, pelas risadas, pelo carinho e acima de tudo por me apoiarem.

Agradeço à minha família, pelo amor e pelo apoio incondicional, sem vocês nada seria possível. Amo vocês.

Este trabalho é dedicado a todos que me ajudaram a chegar até aqui.

É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.

Theodore Roosevelt

RESUMO

Este estudo investigou a interceptação da chuva em uma floresta nativa do bioma Pampa, localizada em Caçapava do Sul-RS, com o objetivo de compreender seu papel no ciclo hidrológico e na regulação dos recursos hídricos. Foram monitorados eventos de precipitação durante um período de aproximadamente dois anos, utilizando coletores artesanais para medir a precipitação incidente, a precipitação interna e o escoamento pelo tronco. A vegetação demonstrou capacidade de reter aproximadamente metade da precipitação incidente (46,63%), com a precipitação interna representando 49,2% do total precipitado e o escoamento pelo tronco contribuindo com 4,17%. A pesquisa destacou a variabilidade espacial e temporal da interceptação, influenciada por fatores como intensidade pluviométrica, estrutura da vegetação e condições climáticas. Os dados obtidos reforçam a importância da mata nativa na regulação do ciclo hidrológico, na conservação dos recursos hídricos, na mitigação de eventos extremos e na manutenção da biodiversidade. Os resultados alinham-se com estudos anteriores e fornecem subsídios para políticas de gestão ambiental, destacando a necessidade de conservação desse bioma ameaçado.

Palavras-chave: precipitação pluviométrica, ciclo hidrológico, precipitação interna, escoamento pelo tronco, recursos hídricos.

ABSTRACT

This study investigated the interception of rainfall in a native forest of the Pampa biome, located in Caçapava do Sul - RS, with the objective of understanding its role in the hydrological cycle and in the regulation of water resources. Precipitation events were monitored for two years, using artisanal collectors to measure incident precipitation, internal precipitation and runoff through the trunk. The vegetation showed the ability to retain approximately half of the incident precipitation (46.63%), with internal precipitation representing 49.2% of the total and runoff through the trunk contributing with 4.17%. These values highlight the critical role of native forests in regulating the hydrological cycle. The research highlighted the spatial and temporal variability of the interception, influenced by factors such as rainfall intensity, vegetation structure, and climatic conditions. The data obtained reinforces the importance of native forests in the conservation of water resources, in the mitigation of extreme events and in the maintenance of biodiversity. The results are in line with previous studies and provide subsidies for environmental management policies, highlighting the need for conservation of this threatened biome.

Keywords: Rainfall interception, Pampa biome, internal precipitation, runoff through the trunk, water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo no bioma pampa	24
Figura 2 – Distribuição sazonal da precipitação incidente em Caçapava do Sul/RS	28
Figura 3 – Características estruturais da mata nativa estudada	29
Figura 4 – Detalhes de construção e instalação dos coletores	31
Figura 5 – Sistema de coleta de escoamento pelo tronco	32
Figura 6 – Distribuição espacial da interceptação pluviométrica nos pontos de monitoramento	41
Figura 7 – Análise comparativa entre precipitação incidente in situ e dados do INMET	42
Figura 8 – Dinâmica temporal da precipitação interna no fragmento florestal	46
Figura 9 – Padrões de escoamento pelo tronco no fragmento florestal ao longo do período de estudo	50
Figura 10 – Eficiência de interceptação da vegetação ao longo do período monitorado	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies arbóreas identificadas na área de estudo	25
Tabela 2 – Valores comparativos de precipitação incidente (INMET x CCPI)	38
Tabela 3 – Distribuição espacial e temporal da precipitação interna sob dossel florestal	44
Tabela 4 – Valores do Escoamento pelo tronco no Fragmento florestal	48
Tabela 5 – Partição da precipitação no fragmento florestal: interceptação vegetal, precipitação interna e escoamento cortical por evento de chuva.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS

Prof. – Professor

Prof.^{a(a)}. - Professor

Dr. - Doutor

Dr.^(a). - Doutora

CCPI. - Precipitação interna

CCest. - Escoamento pelo tronco

Eti. - Evapotranspiração interceptada

IAF _ Índice de Área Foliar

Pet. - Politereftalato de etileno

m – Metros

mm - milímetros

PF - Ponto Fora

PT – Ponto Tronco

PD – Desvio padrão

PDA - Diâmetro à Altura do Peito

R² - Coeficiente de determinação

LISTA DE SIGLAS

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas

RS – Rio Grande do Sul

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
4.1. Relevância da Pesquisa para a Conservação do Bioma Pampa	17
4.2. Características dos Ecossistemas Florestais do Bioma Pampa.....	17
4.3. Contextualização do Bioma Pampa e Importância da Conservação	18
4.4. Contribuição para o Entendimento dos Ciclos Hidrológicos	19
4.5. Importância da Interceptação da Chuva em Área de Mata Nativa	20
4.6. Relação entre interceptação da Chuva e Ciclo Hidrológico	20
4.7. Interceptação e Precipitação Pluviométrica	21
5. METODOLOGIA	24
5.1. Área de Estudo	24
5.1.1. Localização	24
5.2. Características Geográficas	25
5.2.1 Características do Relevo	25
5.2.2 Características da Vegetação	26
5.2.3 Características Climáticas	26
5.3. Justificativa da Escolha da Área de Estudo	28
5.4. Monitoramento da Precipitação.....	30
5.5. Equipamentos	30
5.6. Técnicas de Medição	32
5.7. Frequência de Coleta de Dados	33
5.8. Quantificação do monitoramento.....	33
5.8.1. Interceptação interna	34
5.8.1.1 Processamento e validação de dados	34
5.8.2. Escoamento pelo tronco	35
5.8.3. Precipitação incidente	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38

6.1 Precipitação incidente	38
6.2 Precipitação interna	43
6.3 Escoamento pelo tronco	47
6.4 Interceptação vegetal	51
7. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIA.....	60

1. INTRODUÇÃO

A importância da água para a sobrevivência de todas as formas de vida na Terra foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU, 1992). É crucial reconhecer sua influência significativa na modulação do clima e nas temperaturas em todo o mundo. Além disso, a água promove a manutenção dos ecossistemas nas regiões cobertas por florestas, como é o caso das áreas arborizadas no bioma Pampa que estão localizadas ao sul do Brasil.

De acordo com Almeida e Serra (2017), a orientação dos processos biológicos e hidrológicos é fundamental para as precipitações pluviométricas. Um dos principais mecanismos do ciclo hidrológico é chamado de interceptação, onde a vegetação captura e distribui a água da chuva através dela. A interceptação da chuva é o processo em que a água da chuva é capturada e retida pelas árvores. As árvores formam uma estrutura com suas folhas, galhos e tronco que impedem que a chuva alcance imediatamente o solo. A chuva que é interceptada pelas árvores pode seguir três caminhos: (i) precipitação interna (CCPI), onde a água que escorre pelas folhas e galhos e é disposta no solo, (ii) o escoamento pelo tronco (CCest), onde a água que escorre pelos troncos das árvores e se concentra no solo, e (iii) a evapotranspiração interceptada (ETi), onde a água é evaporada pelas folhas das árvores.

A regulação do clima e o funcionamento dos ecossistemas dependem significativamente da interceptação da chuva, como apontado por Calux et al., (2012). Segundo Tucci (2002), há uma contribuição significativa da vegetação na redução dos picos de vazão nos rios e córregos. Isso acontece porque ela retém parte da água capturada por meio da interceptação antes que ela seja fornecida ao solo em um ritmo mais lento. Essa regulação do fluxo auxilia no controle das oscilações hídricas e assegura uma melhor conservação do teor de umidade no solo durante os períodos secos. Adicionalmente, essa cobertura vegetal ainda desempenha funções importantes na prevenção da erosão do solo e provê recursos para a fauna e flora deste bioma.

O bioma Pampa é um ecossistema caracterizado por suas pastagens naturais, que são dominadas por gramíneas e leguminosas. As matas nativas do bioma Pampa são

representadas por formações florestais decíduas e semidecíduas (Coutinho, 2016) que são caracterizadas por árvores de porte médio a alto. Os estudos e pesquisas sobre interceptação da chuva neste bioma são escassos. Contudo, os materiais disponíveis sobre o assunto sugerem que a interceptação da precipitação é um processo importante para o bioma Pampa. Diante de estudos realizados no Bioma Mata Atlântica em floresta estacional caducifólia no Rio Grande do Sul, Deon et al., (2015) observaram que a interceptação da precipitação variou entre 18,7% e 29,7%, dependendo da intensidade da precipitação. Em outro estudo realizado em floresta mista decídua e semidecídua do bioma Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, Sari (2011), observou que a interceptação da precipitação variou de 14,5% a 17,7% dependendo da espécie vegetal. A interceptação de precipitação é um processo importante que desempenha papel fundamental na regulação dos processos biológicos e no bioma Pampa.

Como base nisso, foi pensado o desenvolvimento de um projeto de pesquisa que se concentra no monitoramento da interceptação pluviométrica em floresta de mata nativa no bioma Pampa, especificamente na cidade de Caçapava do Sul - RS. O objetivo de aprimorar nossa compreensão da importância da interceptação no ciclo hidrológico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo monitorar a interceptação da chuva em uma área, que apresenta características típicas do bioma Pampa, como a presença de vegetação campestre e fragmentos de mata nativa no município de Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul.

2.2. Objetivos Específicos

Determinar a eficiência da interceptação da chuva pela vegetação, quantificando a proporção de precipitação retida pelo dossel florestal em relação à precipitação incidente.

Analisar a dinâmica da precipitação interna e do escoamento pelo tronco, identificando padrões sazonais e sua relação com a estrutura da vegetação e as condições climáticas.

Avaliar as implicações ecológicas e hidrológicas da interceptação da chuva para a conservação do bioma Pampa, destacando sua importância na manutenção da biodiversidade e na regulação do fluxo hídrico.

Validar metodologias de baixo custo para monitoramento hidrológico.

3. JUSTIFICATIVA

A justificativa para a realização desta pesquisa é baseada na relevância e contribuição que o estudo da interceptação da chuva, em áreas de mata nativa do Bioma Pampa, pode trazer para a manutenção desse ecossistema e para o avanço do estudo dos ciclos hidrológicos da região. A interceptação da chuva é um processo importante para os ecossistemas florestais, pois influencia a quantidade de água que chega ao solo, os padrões de escoamento e a recarga dos aquíferos (Giglio e Kobiyama, 2013).

O bioma Pampa é um ecossistema único e ameaçado, que abriga uma rica biodiversidade. A conservação desse ecossistema é essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados por ele (MMA, 2018). O estudo da interceptação da chuva pode contribuir para a conservação do Bioma Pampa de várias maneiras, por exemplo:

Identificar as áreas críticas para a conservação do bioma Pampa e desenvolver estratégias de manejo para conservar das áreas florestais para que ocorra a interceptação da chuva (Deon et al., 2015). E também entender a importância do avanço do entendimento dos ciclos hidrológicos da região: O avanço do entendimento dos ciclos hidrológicos da região é essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão de recursos hídricos sustentáveis" (MMA, 2022).

4. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.1. Relevância da Pesquisa para a Conservação do Bioma Pampa

O Bioma Pampa, localizado na região Sul do Brasil, é um ecossistema único e ameaçado (Bolzan, Hartmann P. A., Hartmann M. T., 2014). Embora frequentemente associado aos campos, o Pampa abriga áreas de mata nativa que desempenham um papel indiscutível na conservação da biodiversidade e das atividades ecossistêmicas. A conservação desses remanescentes de mata nativa é um desafio difícil, considerando as pressões humanas, o uso da terra e a expansão agrícola (Bensusan., 2006). Nesse cenário, compreender a interceptação da chuva e seu papel na normalização hídrica de áreas de mata é imprescindível para fundamentar estratégias validas de conservação.

A interceptação da chuva é o processo de captura da água que é retida pela vegetação antes que atinja o solo. Esse processo é importante para os ecossistemas florestais, pois influencia a quantidade de água que chega ao solo, os padrões de escoamento e a recarga dos aquíferos (Tonello et al., 2016). No Bioma Pampa, estudos demonstram que as formações nativas, como os campos e matas ciliares, interceptam entre 15% e 30% da precipitação total, dependendo da estrutura da vegetação e da intensidade das chuvas (Porto et al., 2018). Essa função é particularmente relevante em regiões de clima subtropical, onde a conservação da cobertura vegetal natural contribui para a manutenção dos recursos hídricos (Oliveira et al., 2020).

4.2. Características dos Ecossistemas Florestais do Bioma Pampa

O Pampa abriga uma variedade de ecossistemas, incluindo áreas de campos, pampas e florestas, embora sejam menores em extensão quando comparadas com outros biomas, desempenham um papel importante na manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma.

As características da vegetação das florestas do Pampa variam de acordo com a localização geográfica, o tipo de solo e os fatores climáticos regionais (Peixoto e Oliveira-Costa., 2009). A composição de espécies, a densidade da cobertura arbórea e a diversidade biológica são alguns dos fatores que influenciam a interceptação da

chuva. As florestas do Pampa são responsáveis por uma grande parte da interceptação da chuva na região. A interceptação da chuva pelas florestas do Pampa pode ajudar a:

- Reduzir os picos de vazão dos rios e córregos, o que pode ajudar a prevenir inundações;
- Proteger os aquíferos subterrâneos, fornecendo água para recarga desses aquíferos;
- Manter a umidade do solo, o que pode ajudar a regular a temperatura do ar e a evapotranspiração.

4.3. Contextualização do Bioma Pampa e Importância da Conservação

O Bioma Pampa, localizado na região Sul do Brasil, a vegetação do Pampa é composta por uma variedade de plantas, incluindo gramíneas, leguminosas, arbustos e árvores. Essas plantas são importantes para a manutenção dos ciclos naturais e para a prestação de serviços ecossistêmicos essenciais. O Pampa é um bioma de transição entre as florestas subtropicais da Mata Atlântica e os desertos da Patagônia (Oyama, Nobre.,2003). Essa localização geográfica contribui para a sua diversidade de paisagens, que incluem campos abertos, florestas, matas ciliares, banhados e butiazais.

A vegetação do Pampa desempenha um papel fundamental na regulação dos fluxos hidrológicos e na manutenção dos ciclos naturais. As plantas do Pampa ajudam a controlar a erosão do solo, a proteger a qualidade da água e a regular o clima (Verdum, Vieira, Caneppele.,2016). Os serviços ecossistêmicos prestados pelo Pampa são essenciais para a vida humana. Essas áreas fornecem água potável, alimentos, materiais de construção, medicamentos e habitats para diversas espécies de animais. A expansão da agricultura, a urbanização e a fragmentação do habitat estão levando à perda e diminuição da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos.

O Bioma Pampa é o terceiro maior bioma brasileiro, com uma área de 176.500 km² (MMA, 2018). Ele abrange o estado do Rio Grande do Sul, parte do Uruguai e da Argentina. A vegetação do Pampa é composta por uma variedade de plantas, que

incluindo: gramíneas como a grama-missioneira, a grama-tapete e a grama-capim-branco, leguminosas tais como o trevo-branco, a erva-de-gato e o feijão-cavalo, arbustos como por exemplo o barbatimão, a espinheira-santa e o cagaita e árvores de várias espécies como pau-ferro, o angico e o ibirapitanga. E sua fauna é composta por uma ampla diversidade de animais, incluindo a ema, o flamingo, o jacaré-de-papo-amarelo, tuiuiú, o veado-campeiro, o puma, o lobo-guará, o tatu-bola, a cobra-cipó, a cascavel e a jiboia (Roesch. et al., 2009). A conservação do Bioma Pampa é uma prioridade máxima para a conservação da biodiversidade no Brasil. Devem ser investidas medidas para proteger e restaurar áreas naturais nesses biomas.

4.4. Contribuição para o Entendimento dos Ciclos Hidrológicos

A compreensão dos ciclos hidrológicos em ambientes como o bioma Pampa é fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos (Lira; Cândido, 2013). A interceptação da chuva é um dos processos chave nesses ciclos, influenciando a quantidade de água que efetivamente atinge o solo, a quantidade de escoamento superficial e a recarga dos aquíferos subterrâneos.

De acordo com Giglio e Kobiyama (2013), a interceptação da chuva é o processo pelo qual a água da chuva é capturada e retida pela vegetação antes que atinja o solo. Esse processo é importante para os ecossistemas florestais, pois influencia a quantidade de água que chega ao solo, os padrões de escoamento e a recarga dos aquíferos. A interceptação da chuva desempenha um papel importante na regulação hídrica do Bioma Pampa. Reduzindo os picos de vazão dos rios e córregos, o que pode ajudar a prevenir inundações, proteger os aquíferos subterrâneos, fornecendo água para recarga desses aquíferos e mantêm a umidade do solo, o que pode ajudar a regular a temperatura do ar e a evapotranspiração.

As mudanças climáticas estão impactando os ciclos hidrológicos em todo o mundo, incluindo o Bioma Pampa. Estudos mostram que os padrões de precipitação no Pampa podem se tornar mais extremos, com períodos mais longos de seca e eventos de chuva mais intensos (MMA, 2022). Nesse contexto, a compreensão das relações entre a interceptação da chuva, a vegetação e os padrões climáticos regionais são determinantes para a gestão sustentável dos recursos hídricos no Bioma Pampa.

4.5. Importância da Intercepção da Chuva em Áreas de Mata Nativa

A intercepção é o processo pelo qual a precipitação é capturada e retida pela vegetação, antes que cheguem o solo. Esse fenômeno é de gigantesca relevância para o funcionamento dos ecossistemas, uma vez que influencia a quantidade de água que atinge o solo, os cursos d'água e os aquíferos subterrâneos. A intercepção desempenha um papel importante na regulação dos fluxos hidrológicos (Tambosi, et al., 2015), na manutenção da qualidade da água e na proteção do solo da erosão. A intercepção da chuva é influenciada por uma série de fatores, incluindo: abundância da precipitação, a intensidade da precipitação, o tipo de vegetação e as características das folhas (Mosca., 2003).

Um exemplo de intercepção da chuva é a formação de orvalho nas folhas das plantas. Outro exemplo de intercepção da chuva é a formação de gotas de água na copa das árvores. Essas gotas de água podem cair no solo ou serem evaporadas pela vegetação.

A intercepção da chuva pode ser estimada de várias maneiras (Giglio, Kobiyama., 2013), incluindo:

- Medição direta: A medida direta da intercepção da chuva é realizada através da instalação de coletores de água sob a copa das árvores.
- Modelagem: A intercepção da chuva pode ser estimada através de modelos matemáticos que levam em consideração os fatores que influenciam esse fenômeno.

A intercepção da chuva é um fenômeno enigmático que ainda não é totalmente compreendido. No entanto, pesquisas recentes têm avançado no entendimento desse fenômeno e nos seus impactos nos ecossistemas.

4.6. Relação entre Intercepção da Chuva e Ciclo Hidrológico

A intercepção da chuva é o processo pelo qual a água da chuva é capturada e retida pela vegetação antes de atingir o solo. É um processo importante para o ciclo hidrológico, pois influencia a quantidade de água que chega ao solo, os padrões de escoamento e a recarga dos aquíferos (Giglio, Kobiyama., 2013).

A interceptação da chuva afeta diretamente a quantidade de água que atinge o solo. A água que não é interceptada pela vegetação atinge o solo e pode ser infiltrado no solo, recarregado os aquíferos, escoada superficialmente ou evapotranspiração.

A interceptação da chuva pode ser considerada como uma interface crucial entre os processos atmosféricos e terrestres, influenciando a dinâmica da água em escala local e regional (Deon et al., 2015). A quantidade de água interceptada pode variar de acordo com uma série de fatores, incluindo:

- **Características da vegetação:** A composição de espécies, a densidade da cobertura arbórea e a altura das árvores são alguns dos fatores que influenciam a interceptação da chuva.
- **Condições climáticas:** A intensidade da precipitação, a duração da chuva e a temperatura do ar podem influenciar a interceptação da chuva.
- **Características do solo:** A textura do solo, a presença de cobertura vegetal e a inclinação do terreno podem influenciar a interceptação da chuva.

Compreender a relação entre a interceptação da chuva e o ciclo hidrológico é essencial para avaliar a disponibilidade hídrica em diferentes ambientes e para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Além disso, essa compreensão é fundamental para prever os impactos das mudanças climáticas nos padrões de precipitação e no ciclo da água, permitindo adaptações adequadas e a tomada de decisões informadas. A interceptação da chuva desempenha um papel importante no ciclo hidrológico, pois pode reduzir os picos de vazão dos rios e córregos, proteger os aquíferos subterrâneos e ajudar a regular a temperatura do ar (IPCC, 2022).

4.7. Interceptação e Precipitação Pluviométrica

Horton (1919) conduziu um estudo pioneiro sobre a interceptação pluviométrica, o qual estabeleceu as bases para as técnicas de medição experimental da chuva que é interceptada pela vegetação. Distribuindo vários pluviômetros em diferentes situações e posições, além disso desenvolveu interceptômetros artesanais para determinar o escoamento pelos troncos das árvores. Hoje em dia, suas técnicas

iniciais ainda são utilizadas, mas com algumas alterações devido ao progresso das novas tecnologias.

Na hidrologia, o conceito fundamental de precipitação abrange toda a água vinda do meio atmosférico que alcança a superfície da Terra. O estado físico da água determina as diferentes formas de precipitação como a neblina, a chuva o granizo, o orvalho a geada e a neve. Esses tipos podem variar dependendo das condições do ambiente. Possui como principais características a altura pluviométrica, duração e distribuição temporal e espacial a precipitação. É importante destacar que o total de precipitação não possui significado por si só, a menos que esteja relacionado a uma duração específica (Bertoni e Tucci, 2007).

Conforme ressaltado por Davie (2008), a chuva desempenha um papel fundamental no ciclo hídrico das regiões e requer investigação, estudos e pesquisas hidrológicas. Apesar da simplicidade aparente na sua determinação, a exatidão dos dados sobre precipitações é consideravelmente complicada e ainda assim apresenta grande variabilidade numa bacia hidrográfica específica.

O processo de interceptação realizado pela floresta tem um impacto hidrológico significativo, especialmente em relação à quantidade de chuva. A redistribuição da chuva pela copa das árvores leva a essa ocorrência, na qual uma parte dela acaba sendo perdida devido à evaporação direta da água interceptada (Lima, 2008).

Segundo as informações fornecidas por Lima (1993), durante períodos de baixa precipitação, como cerca de 5 mm, destaca-se a retenção da maior parte da água nas copas das árvores seguida pela sua evaporação direta. As gotas só escorrem para contribuir com a precipitação interna após essa retenção inicial. Sob condições de precipitação abaixo de 3,45 mm, o escoamento de água é impedido pela vegetação e ocorre apenas evaporação.

Garantir a presença de vegetação é essencial para regular o escoamento superficial, evitar impactos erosivos e controlar a vazão das bacias de drenagem. O papel da floresta na retenção e dispersão das chuvas é relevante (Lima, 1993).

Os elementos que afetam a interceptação da chuva pela cobertura florestal são diversos e incluem características como quantidade, intensidade e duração da precipitação; condições climáticas como velocidade do vento, direção do vento durante e após os eventos de chuva; temperatura e umidade do ar; tipo de vegetação presente na área estudada e época do ano considerada (Singh 1976, Tucci 2002; Zeng et al. 2000).

Conforme descrito por Arcova et al., (2003), entende-se por precipitação interna todas as formas de chuva que chegam ao solo dentro da floresta, abrangendo não só as gotículas de água que atravessam os espaços entre as copas das árvores, mas também aquelas oriundas do gotejamento natural das folhagens até atingirem o chão. Devido à grande variação da precipitação dentro da floresta, medir sua quantidade se torna um desafio. Para isso são utilizados diferentes instrumentos como calhas, coletores de plástico e padrões com distribuição prévia que ajudam a fazer essa estimativa.

Além da precipitação interna no solo, outra forma em que a chuva pode atingir o solo é por meio do escoamento pelos troncos das árvores. Esse processo tem uma importância crucial na reposição de água no solo já que o fluxo da água pelo tronco ocorre em baixa velocidade por causa do atrito com a casca das árvores e direciona-se às raízes, garantindo uma fácil penetração da água no solo. A partir disso, o reabastecimento do lençol freático é favorecido (Oliveira et al., 2008).

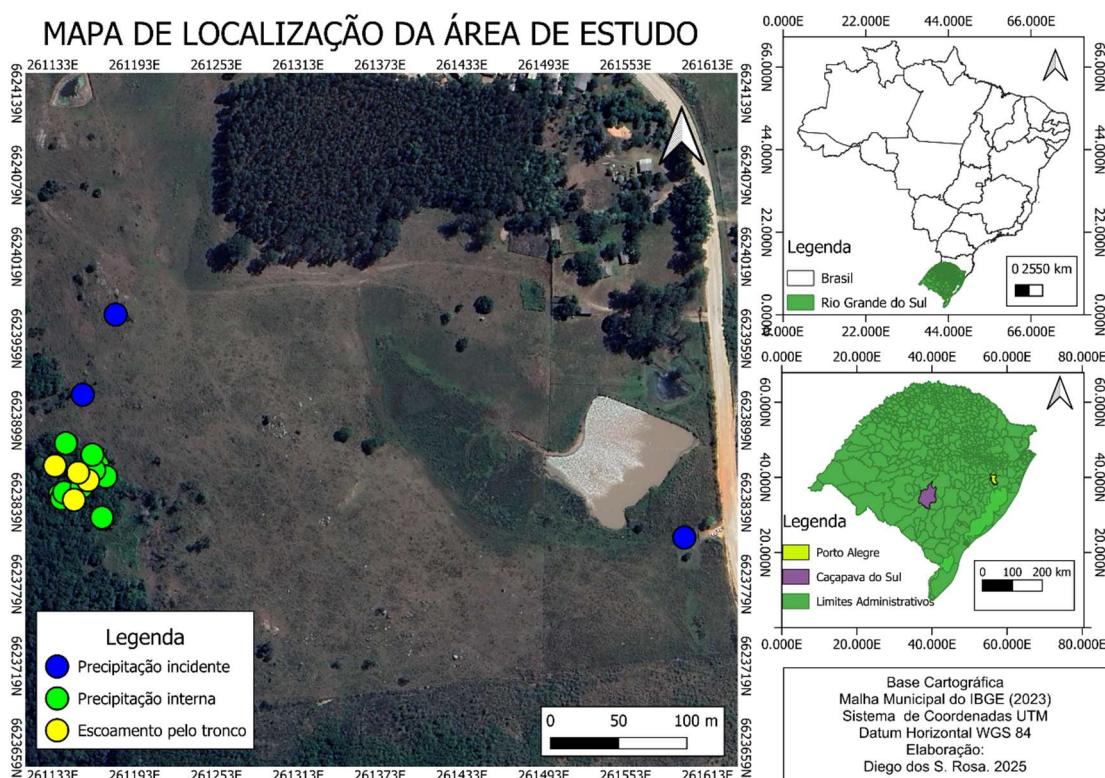
5. METODOLOGIA

5.1. Área de Estudo

5.1.1 Localização

O local selecionado para este estudo está situado no bioma Pampa, no município de Caçapava do Sul, localizada na região da Campanha, no estado do Rio Grande do Sul (RS). A área onde foi executado o projeto de pesquisa é de propriedade da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), mais especificamente no Campus Caçapava do Sul. Conhecido por sua riqueza em termos ecológicos, o bioma Pampa no sul do Brasil engloba diversos tipos de ecossistemas como formações florestais diversas, áreas com vegetação naturalmente mais aberta conhecidas como campos naturais e ainda ambientes aquáticos presentes na região. Na Figura 1, estão destacados os pontos onde foram instalados os pluviômetros utilizados para coletas de dados, após cada evento de chuva, levando em consideração a quantidade de chuva precipitada (incidente) e a chuva interceptada pela vegetação (precipitação interna e escoamento pelo tronco).

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo no bioma Pampa e respectivos pontos de monitoramento.



Autor, 2025

5.2. Características Geográficas

A área de estudo apresenta distintas características geográficas que influenciam na dinâmica da interceptação pluviométrica, tais como características do Relevo, características da vegetação e características climáticas, apresentadas a seguir.

5.2.1 Características do Relevo

A topografia da área em questão é composta por pequenos vales. As diferentes coberturas vegetais ao longo da área topográfica podem levar a um impacto na distribuição da interceptação pluviométrica, devido à variação na elevação do terreno (Li et al., 2015; Zhou et al., 2019). Um exemplo, em relação elevações em terrenos são as colinas que tem uma maior densidade de vegetação que afeta de forma distinta a interceptação da chuva se comparada aos vales com menor cobertura vegetal. A diversidade topográfica, sem dúvida alguma, deve ser considerada como um elemento de extrema importância.

5.2.2 Características da vegetação

A área de pesquisa é marcada pela presença de uma floresta de mata nativa que representa a típica vegetação do bioma Pampa. A floresta abriga uma variedade de espécies arbóreas nativas, arbustos, gramíneas e outras plantas que são características distintivas dessa região. A área possui uma ampla variedade de espécies botânicas, que foram catalogadas com base no levantamento de campo das espécies encontradas na mata nativa da área de estudo como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Espécies arbóreas identificadas na área de estudo

Espécies Arbóreas	Nome Popular	Família
<i>Sebastiania serrata</i>	Pau-de-leite	<i>Euphorbiaceae</i>
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	Leiteiro	<i>Euphorbiaceae</i>
<i>Sebastiania commersoniana</i>	Branquilha	<i>Euphorbiaceae</i>
<i>Allophylus edulis</i>	Chal-chal	<i>Sapindaceae</i>
<i>Myrsine spp</i>	Café-bravo	<i>Primulaceae</i>
<i>Myrcia pulchra</i>	Guamirim	<i>Myrtaceae</i>

<i>Rudgea parquoides</i>	Sete-sangrias	<i>Rubiaceae</i>
<i>Llex taubertiana</i>	Congonha	<i>Aquifoliaceae</i>
		continua...
		continuação
Espécies Arbóreas	Nome Popular	Família
<i>Lithraea molleoides</i>	Aroeira-brava	<i>Anacardiaceae</i>
<i>Hennecartia omphalandra</i>	Canema	<i>Monimiaceae</i>
<i>Llex brevicuspis</i>	Caúna	<i>Aquifoliaceae</i>
<i>Llex microdonta</i>	Congonha	<i>Aquifoliaceae</i>

Autor, 2025

Foi levado em consideração a altura, o tipo de folha e o diâmetro do tronco para catalogar as espécies. A interceptação da chuva pela vegetação está diretamente relacionada ao desenvolvimento e à densidade da cobertura vegetal, uma vez que a estrutura das árvores incluindo folhas, galhos e troncos determina a quantidade de água retida antes de atingir o solo. Conforme novas árvores crescem e o diâmetro dos troncos aumenta, a expansão das copas eleva a capacidade de interceptação. Estudos demonstram que florestas em estágio avançado de sucessão ecológica, com dossel fechado e estratificação vertical bem definida, retêm significativamente mais água da chuva do que áreas em regeneração inicial (Holwerdat et al., 2012). Além disso, a composição florística também influencia esse processo, visto que espécies com folhas largas e copas densas, como as encontradas em florestas tropicais, apresentam maior eficiência na interceptação em comparação com vegetação esparsa ou de pequeno porte (Cuijun; Xiaohua, 2018).

5.2.3 Características Climáticas

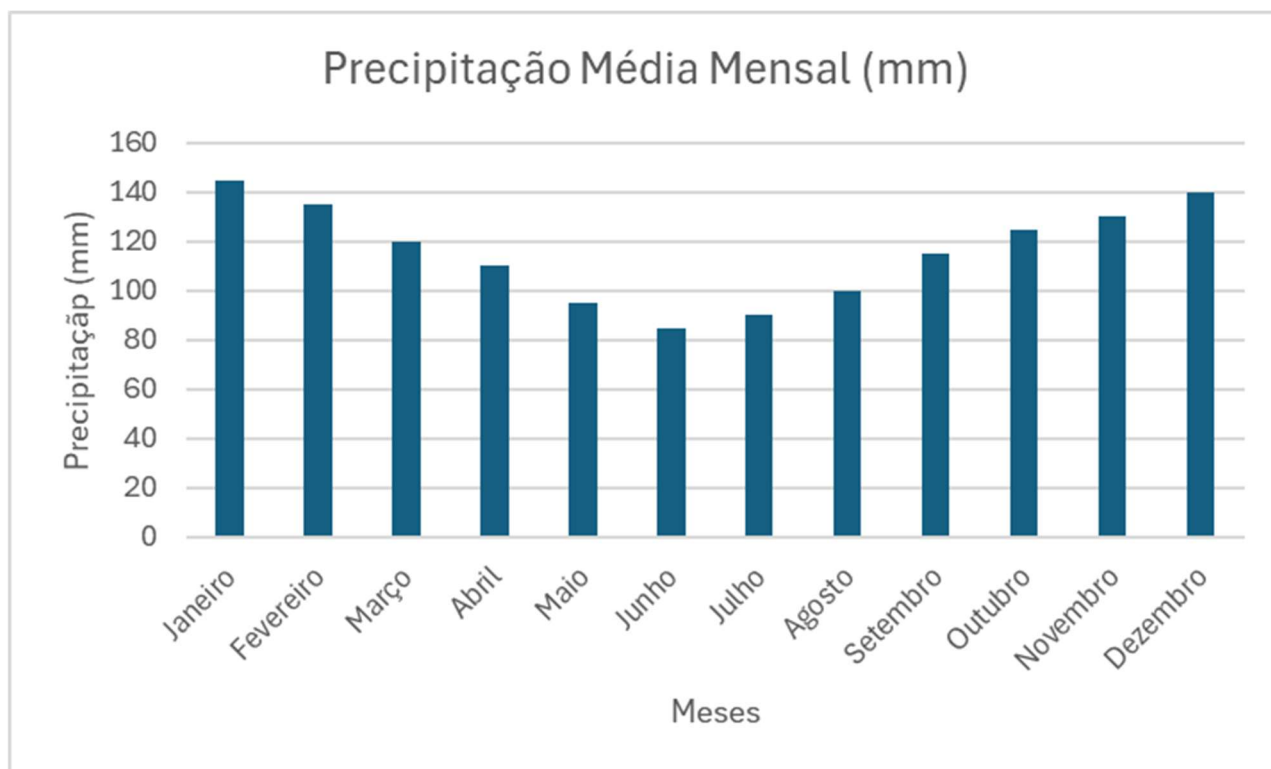
A região de Caçapava do Sul/RS apresenta um clima subtropical úmido (classificação Cfa segundo Köppen-Geiger), caracterizado por invernos frios e verões quentes com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Essa configuração climática exerce influência direta nos processos de interceptação da precipitação pela vegetação, conforme demonstrado por diversos estudos (Jones & Grant, 1996; Zhang et al., 2017). A análise dos dados do Atlas Climático da Região Sul do Brasil e das Normais Climatológicas do INMET (período 1991-2020) revela uma precipitação média anual de aproximadamente 1.500 mm, com distribuição sazonal marcante.

Os meses de verão (dezembro a fevereiro) concentram os maiores volumes pluviométricos, frequentemente ultrapassando 150 mm/mês. Neste período, a vegetação em pleno desenvolvimento foliar apresenta sua máxima capacidade de interceptação, retendo significativas quantidades de água em suas copas (Holwerda et al., 2012). Contudo, chuvas intensas e prolongadas podem saturar rapidamente essa capacidade de retenção, levando ao gotejamento direto para o solo e aumentando o escoamento superficial, conforme observado por Cuijun e Xiaohua (2018) em estudos similares em florestas subtropicais.

No inverno (junho a agosto), ocorre uma redução nas precipitações, com médias mensais variando entre 80-100 mm. Este período coincide com a queda foliar de muitas espécies decíduas, reduzindo substancialmente a interceptação pluvial. Zhang et al. (2021) destacam que tal variação sazonal na cobertura vegetal altera significativamente a partição das chuvas entre interceptação, escoamento pelo tronco e precipitação direta ao solo. A primavera (setembro a novembro) marca o reinício do ciclo vegetativo, com aumento progressivo tanto das chuvas quanto da capacidade de interceptação das copas que se renovam.

Eventos climáticos extremos, cada vez mais frequentes devido às mudanças climáticas, apresentam desafios adicionais aos processos de interceptação. Tempestades convectivas de alta intensidade, comuns no verão, frequentemente excedem a capacidade de retenção da vegetação, enquanto períodos de seca prolongada podem comprometer a saúde das plantas e, conseqüentemente, sua eficiência em interceptar as chuvas (Lloyd & Marques, 1988). Esses fenômenos destacam a importância de se considerar não apenas as médias climáticas, mas também a variabilidade interanual e eventos extremos ao estudar os processos hidrológicos em ecossistemas florestais. A Figura 2 apresenta a distribuição sazonal da precipitação em Caçapava do Sul/RS, com dados médios do período 1991-2020 obtidos do INMET e Atlas Climático da Região Sul.

Figura 2 - Distribuição sazonal da precipitação incidente em Caçapava do Sul/RS



Autor, 2025

Com chuvas mais intensas no verão com pico de 145mm em janeiro (INMET, 2020) e menores volumes no inverno com 85mm em junho segundo Wrege et al. (2012). Como observado por Zhang et al. (2017), essa variação sazonal de 60mm entre os meses extremos influencia diretamente a capacidade de interceptação pluvial pela vegetação, sendo crucial para estudos hidrológicos na região. A transição gradual entre estações, evidenciada pelas barras coloridas, corrobora os padrões climáticos descritos por Jones e Grant (1996) para ecossistemas subtropicais.

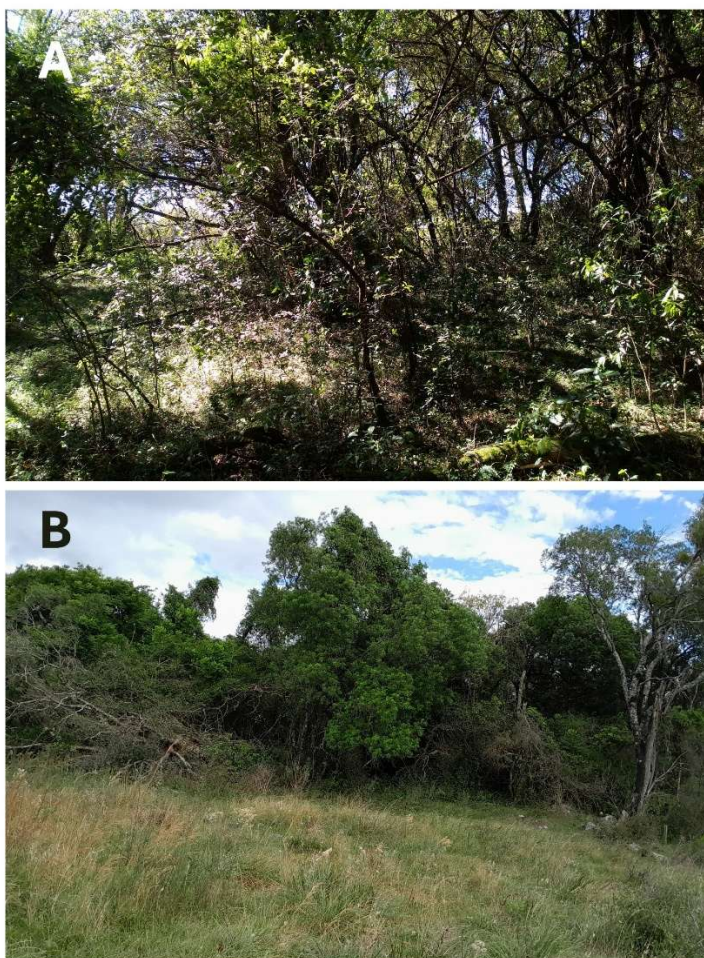
5.3. Justificativa da Escolha da Área de Estudo

A escolha da área de estudo se baseia em diversas razões. Em primeiro lugar, a área selecionada é considerada representativa das florestas de mata nativa do bioma Pampa, pois possui uma composição florística predominante desse bioma, o que permite generalizações adequadas para a região. Além disso, a área é de fácil acesso e oferece condições logísticas favoráveis para a realização do estudo, uma vez que há autorização para entrada na propriedade e a localização fica próxima à UNIPAMPA – Campus Caçapava do Sul. Outro aspecto relevante é a importância

ecológica da floresta de mata nativa do bioma Pampa, que desempenha um papel fundamental na conservação da biodiversidade, na proteção de recursos hídricos e na regulação do clima.

Devido a essas características excepcionais, a área selecionada é ideal para investigações sobre interceptação pluvial no Bioma Pampa, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Características estruturais da mata nativa estudada;
A) Interior da área de coleta; B) Vista externa da área de coleta.



Autor; 2025

5.4. Monitoramento da Precipitação

O processo utilizado para quantificação da chuva foi através do método chamado interceptometria, que consiste na instalação de coletores em diferentes pontos da floresta de forma a medir a quantidade da chuva que é interceptada pela vegetação e a quantidade que chega ao solo. Por este motivo foi realizado o monitoramento da precipitação incidente, a precipitação interna e o escoamento pelo tronco em cada evento de chuva, durante um período de aproximadamente 2 (dois) anos com início junho/2023 e término em outubro/2024, para ter uma comparação da sazonalidade, os equipamentos utilizados no projeto de pesquisa, as técnicas para a medição, a frequência das coletas de dados e outros detalhes relacionados ao acompanhamento da precipitação na área de estudo.

5.5. Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o monitoramento da precipitação incluem coletores e uma proveta de 1 (um) litro. Este equipamento foi utilizado para quantificar a quantidade de chuva que atinge uma determinada área durante um período específico.

Foram produzidos coletores a partir de garrafas PET'S de cinco litros para este estudo. Isso incluiu três coletores instalados em área aberta de campo (fora da floresta) para medição da precipitação total ou chuva incidente e coletores de interceptação para medir a água retida pela vegetação (área interna a floresta e escoamento pelo tronco). A confecção dos coletores teve como base em estudos anteriores, como os realizados por Deon (2015) e Santos (2009), com algumas modificações e adaptações por conta dos custos dos coletores.

Os coletores foram confeccionados cortando a parte superior da garrafa pet com auxílio de uma tesoura (figura 4a), transformando a parte superior cortada em um funil com diâmetro superior de 16,5 cm (figura 4b). Os coletores da área de coleta externa (figura 4c) e interna (figura 4d) foram instalados nos pontos selecionados, onde cavidades foram abertas no solo para fixá-los, garantido sua estabilidade.

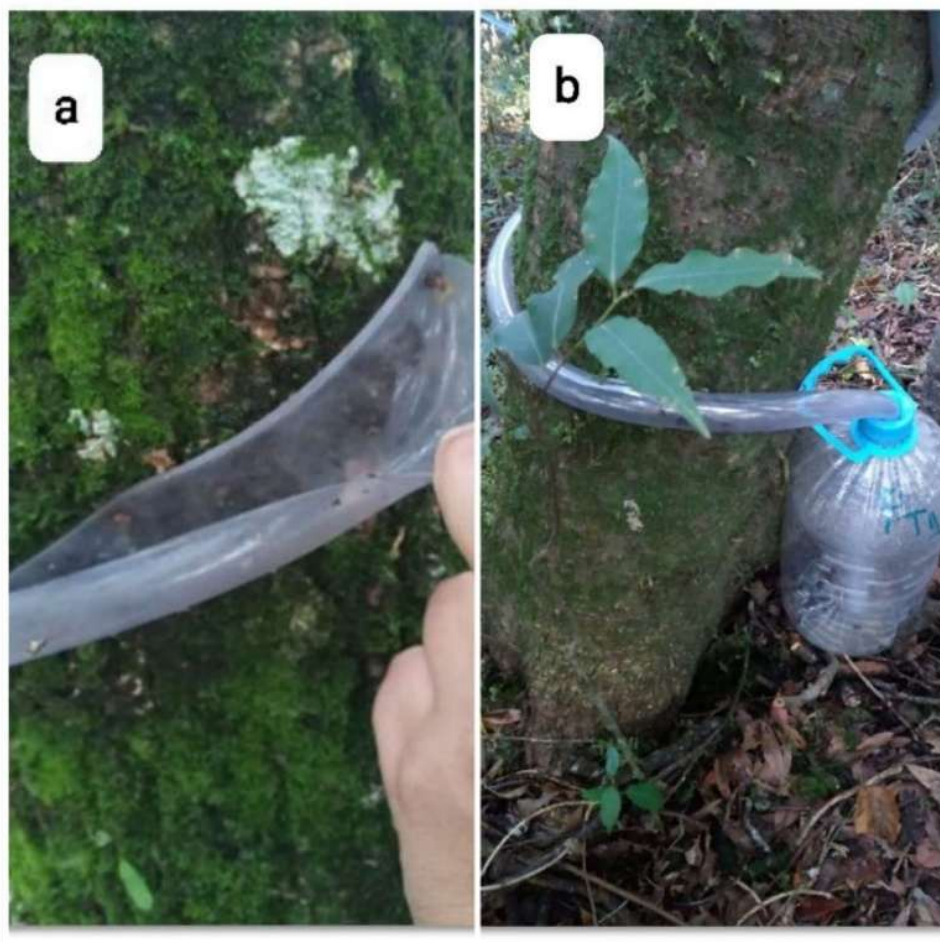
Figura 4 - Detalhes da construção e instalação dos coletores: a) Corte da parte superior b) Instalação do funil c) Coletor da área externa d) Coletor da área interna



Autor, 2025

Já os coletores do escoamento pelo troco foram produzidos utilizando mangueiras com diâmetro de $\frac{3}{4}$ de polegadas, repartidas à meia seção e presas ao tronco com auxílio de pregos e espuma expansiva (figura 5a), dando uma volta e meia no tronco. Na extremidade final da mangueira foram colocadas garrafas pet com um furo na tampa onde estas foram conectadas a garrafa para a coletada da água escoada (5b).

Figura 5 - Sistema de coleta de escoamento pelo tronco:
a) Instalação da mangueira coletora b) Sistema de captação completo



Autor, 2025

5.6. Técnicas de Medição

As técnicas para a medição da precipitação total e da interceptação pluviométrica envolveram a operação de pluviômetros e foram definidas da seguinte maneira:

Uma proveta volumétrica de um litro foi utilizada para medir a precipitação total (incidente), a precipitação interna e o escoamento pelo tronco. Os dados de cada evento de chuva foram registrados, e os volumes acumulados em cada medição foram tabulados utilizando o editor de planilhas Microsoft Excel.

Para medir a interceptação pluviométrica (interna e pelo tronco), coletores foram instalados em diferentes pontos no interior da vegetação da área de estudo.

Quatro coletores foram posicionados para medir o escoamento pelo tronco, com distâncias aproximadas de 34,45 m entre eles, e doze coletores foram distribuídos para a medição da interceptação interna, abrangendo uma área de aproximadamente 510 m².

Já os coletores de precipitação incidente foram instalados em uma área de campo nativo, em três pontos externos distintos, localizados a diferentes distâncias do ponto de monitoramento no interior da mata nativa: PF1 a 102 m, PF2 a 18 m e PF3 a 442 m. Os procedimentos consistiram em medir a quantidade de água captada pelos coletores utilizando a proveta volumétrica, registrar os valores obtidos para posterior tabulação no Excel e, em seguida, esvaziar os coletores para a próxima coleta.

5.7. Frequência de Coleta de Dados

A frequência de coleta de dados, foram realizadas com base na necessidade de capturar variações sazonais e eventos climáticos relevantes. As medições aconteceram por evento de precipitação, para se obter uma série temporal abrangente. Além das medições de cada evento de precipitação que totalizou 70 coletas, também se realizou um comparativo com as estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Caçapava do Sul-RS. Os dados obtidos através das estações foram: volume de chuva, velocidade do vento, direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

5.8. Quantificação do monitoramento

A quantificação do monitoramento foi realizada mediante um rigoroso protocolo metodológico que incluiu:

- (i) coleta sistemática de dados em campo através de pluviômetros instalados na área fora da mata, sob a copa das árvores e coletores de escoamento pelo tronco, com registros realizados após cada evento pluviométrico;
- (ii) processamento dos dados brutos envolvendo conversão para unidades padronizadas (mm), filtragem para eliminação de valores inconsistentes mediante critérios estatísticos (desvio padrão), e validação cruzada com a estações do INMET;

(iii) análise temporal dos dados através do cálculo de médias aritméticas por coleta para cada variável hidrológica (interceptação interna, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva), com posterior normalização em relação à precipitação incidente total;

5.8.1. Interceptação interna

Para quantificar a precipitação interceptada pela vegetação, utilizou-se a equação apresentada por Tucci (2002), que relaciona o volume coletado com a área do pluviômetro (Equação 1).

$$CCPI = \frac{X}{\pi \times R^2_{pluv}} \quad (1)$$

Onde:

CCPi = Precipitação Interna (em L/m²);

X = Volume coletado (em litros, convertido de ml dividindo por 1000);

R²_{pluv} = Raio do funil do pluviômetro (em metros).

Para os pluviômetros utilizados neste estudo com raio padronizado de 0,165 m (área de 0,027225 m²), a equação é simplificada e apresentada na Equação 2.

$$CCPI = \frac{X}{0,027225} \quad (2)$$

5.8.1.1 Processamento e Validação dos Dados

Os valores de interceptação interna e escoamento pelo tronco foram calculados por meio de um processo metodológico detalhado. Inicialmente, todas as medições coletadas em mililitros (mL) passaram por uma conversão volumétrica para lâmina d'água em milímetros (mm), utilizando equações específicas do estudo, com base no princípio de que 1 litro de água por metro quadrado (1 L/m²) corresponde a 1 milímetro de precipitação. Em seguida, calculou-se a média aritmética dos valores obtidos para cada componente analisado separadamente: a água retida pela copa das árvores

(interceptação pluviométrica) e a água escoada pelos troncos (escoamento pelo tronco).

Para garantir a confiabilidade dos resultados, os dados foram submetidos a um rigoroso processo de validação, que incluiu a exclusão de valores inconsistentes ou discrepantes e a comparação com os registros de precipitação total fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Essa abordagem metodológica permitiu obter resultados precisos e representativos dos processos de interceptação pluvial na área de estudo.

5.8.2. Escoamento pelo tronco

O monitoramento do escoamento pelo tronco aconteceu a partir da seleção de no mínimo quatro árvores que caracterizam a área de pesquisa. Nelas foram acoplados recipientes de coleta ao redor dos troncos (mangueira), com a capacidade de captar e armazenar a água que escoar.

Após a coleta e medição da água de cada um dos troncos o valor obtido para cada tronco será determinado por meio da Equação 3 (Tucci, 2002):

$$CC_{est} = \frac{Y}{\pi \times (R_{copa})^2} \quad (3)$$

Onde:

CC_{est} = precipitação interceptada pelo escoamento pelo tronco (em mm, equivalente a L/m^2);

Y = volume de água coletado sob a copa (em litros);

R_{copa} = raio médio da projeção da copa (em metros).

A equação 3 permite converter diretamente o volume de água coletado em lâmina de precipitação interceptada, considerando a área de projeção da copa. O raio da copa (R_{copa}) foi determinado através de medições em campo utilizando uma trena. As medições foram realizadas em quatro direções ortogonais, garantindo uma representação precisa da área de interceptação. A começar do caule até o ponto que

se verifique os últimos galhos. A medição levou em consideração a altura do caule de 1,50 metros contado a partir da superfície do solo (Deon, 2015).

Sendo assim os dados obtidos durante o período de monitoramento da interceptação florestal foi definido em razão da diferença entre a precipitação incidente (externa), a precipitação interna e o escoamento pelo tronco, de acordo com a Equação 4:

$$I = P - CCPI - CCest \quad (4)$$

Onde:

- I é a precipitação interceptada (em L/m²);
- P é a precipitação total (em L/m²);
- CCPI é a precipitação interna, ocorre quando a água da chuva passa pela vegetação (em L/m²);

CCest é a parte que escorre ao longo do tronco das árvores (em mm, equivalente a L/m²).

5.8.3 Precipitação Incidente

A quantificação da precipitação incidente foi realizada mediante a instalação de três coletores pluviométricos artesanais padronizados, seguindo protocolo adaptado de Arcova et al. (2003) com modificações propostas por Deon (2015). Os coletores foram confeccionados a partir de garrafas PET de 5L, com área de captação padronizada de 0,027225 m² (raio de 0,165 m), instalados em área aberta adjacente à floresta em triângulo equilátero com 15m de lado, conforme recomendado por Antolini et al. (2009) para minimizar erros de bordadura.

A calibração dos instrumentos seguiu a metodologia de Tucci (2002), utilizando a Equação 5.

$$I = \frac{V \text{ coletado (mL)}}{27,225} \quad (5)$$

onde:

- I = precipitação incidente (mm);
- V_{coletado} = volume medido na proveta (ml);
- 27,225 = fator de conversão para área de captação (cm²).

Os dados foram comparados com registros horários obtidos da estação meteorológica automática do INMET (código A801, classe convencional), localizada a 3,2 km da área de estudo em condições topoclimáticas similares (diferença altitudinal <50m).

Esta abordagem mostrou-se adequada para estudos em escala local, corroborando resultados similares obtidos por Santos (2009) em floresta ombrófila mista, com vantagem de custo reduzido (equivalente a aproximadamente 5% do valor de pluviômetros convencionais).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Precipitação Incidente

A Tabela 2 apresenta os resultados comparativos entre os valores de precipitação incidente medidos in situ (através de coletores padronizados) e os registros da estação meteorológica do INMET em Caçapava do Sul/RS, durante o período de monitoramento (70 eventos pluviométricos entre junho/2023 e outubro/2024).

Quanto à sazonalidade, o clima da região garante chuvas distribuídas ao longo do ano, porém com maior volume nos meses de verão. A interceptação vegetal variou significativamente entre estações, com picos de eficiência no período úmido (outubro-março), quando a vegetação apresentava maior densidade foliar.

A partir dos dados tabelados da precipitação incidente obtidos durante as coletas realizadas neste estudo os coletores mediram a precipitação incidente e das informações obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação meteorológica convencional A801 (Código OMM: 83967), referentes à estação meteorológica de Caçapava do Sul/RS, foi gerado um gráfico para melhor visualização, ilustrado na Figura 6.

Tabela 2 – Valores comparativos de precipitação incidente (valores médios, n = 3) e precipitação do INMET x INMET

COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação INMET (mm)
1	14,17	6,00
2	29,31	21,40
3	21,98	17,20
4	19,17	21,60
5	45,36	19,20
6	102,89	70,40
7	57,99	34,00
8	54,56	59,60
9	29,93	32,60
10	00,39	0,40
11	103,05	104,80

continua ...

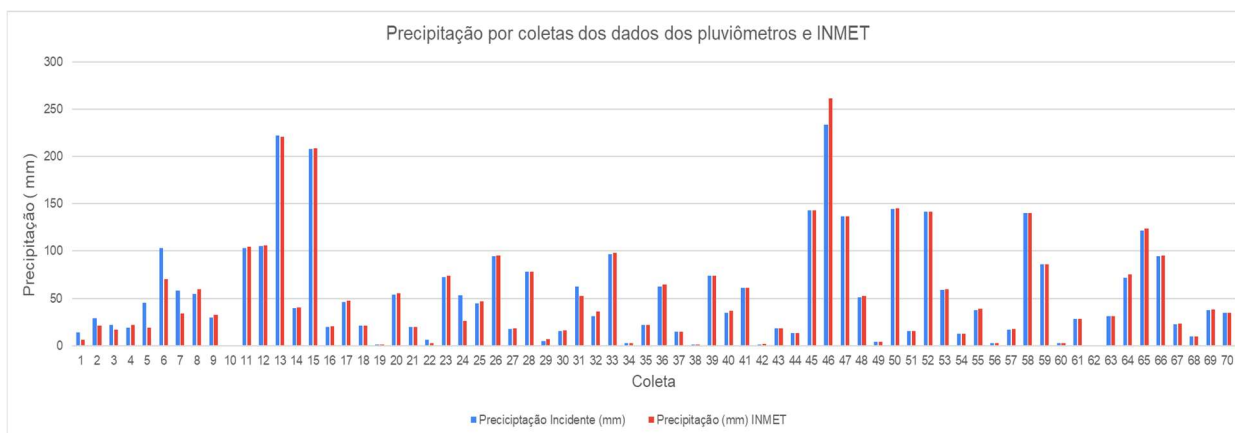
continuação ...		
COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação INMET (mm)
13	221,99	221,00
14	39,75	40,20
15	207,65	208,80
16	19,49	20,40
17	45,83	47,40
18	21,20	21,40
19	01,25	1,40
20	54,25	55,20
21	19,95	20,00
22	5,92	2,60
23	72,49	74,00
24	53,16	26,40
25	44,90	46,80
26	94,94	95,40
27	17,93	18,20
28	78,26	78,00
29	5,14	6,60
30	15,28	16,20
31	62,36	52,60
32	31,34	36,40
33	96,97	98,00
34	2,96	3,00
35	21,67	22,00
36	62,67	64,40
37	14,81	15,00
38	1,25	1,20
39	73,74	74,00
40	34,76	36,60
41	61,11	61,00
42	1,56	1,60
43	18,55	18,60
44	13,41	13,40
45	142,80	143,40
46	233,84	261,60
47	136,41	137,00
48	51,29	52,40
49	4,37	4,40
50	144,36	145,00
51	15,43	15,60
		continua ...

Continuação

COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação INMET (mm)
53	58,77	59,80
54	12,47	12,60
55	37,57	39,00
56	2,49	2,60
57	16,84	17,60
58	139,99	140,00
59	86,21	86,20
60	2,49	2,80
61	28,37	28,60
62	0,47	0,40
63	31,02	31,40
64	72,02	75,20
65	121,91	123,60
66	94,32	95,00
67	22,92	23,20
68	9,82	10,00
69	37,88	38,00
70	34,45	34,60
Total	3781,01	3712,2
Média	54,59	53,71
Mediana	37,73	35,50
Desvio Padrão	54,04	55,56
Maior Precipitação	233,84	261,60
Menor Precipitação	0,39	0,40

Autor, 2025

Figura 6 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica nos pontos de monitoramento x INMET



Autor, 2025

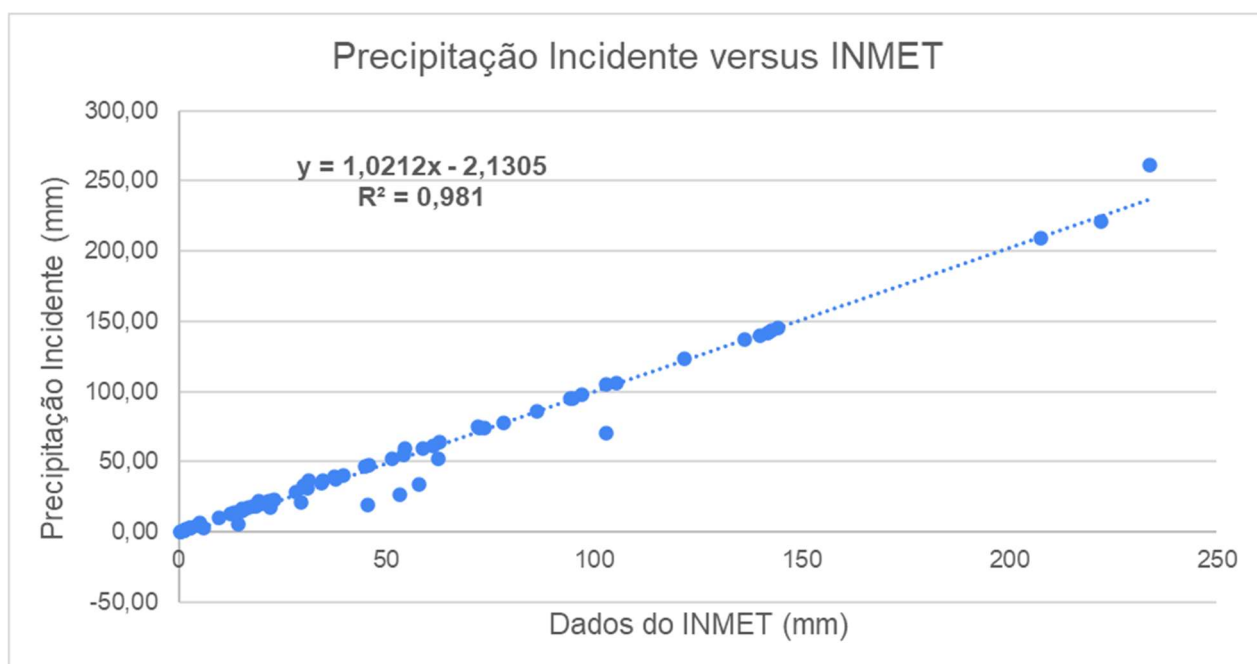
Os resultados demonstraram uma forte correlação geral entre os dados do INMET e as medições *in situ* ($R^2 = 0,98$) como pode ser observado na Figura 7, porém com variações significativas entre eventos individuais. Discrepâncias pontuais, como na Coleta 24 (53,16 mm vs 26,4 mm), podem ser atribuídas à micro variabilidade espacial da chuva em áreas acidentadas (Davie, 2008). Em 23% dos casos (16/70 eventos), as discrepâncias ultrapassaram $\pm 20\%$, sendo a maior diferença observada na Coleta 24 (53,16 mm *in situ* vs. 26,4 mm INMET), com uma divergência relativa de 101,5%. Essas variações são consistentes com estudos anteriores em ecossistemas florestais, como o de Schellekens *et al.* (2000), que destacaram a influência da microtopografia e da cobertura vegetal adjacente na distribuição espacial da chuva. Além disso, Li *et al.* (2015) observaram que ventos fortes durante eventos convectivos podem causar subestimação em pluviômetros convencionais, explicando parte das diferenças encontradas nos dados mais extremos.

A análise sazonal revelou padrões distintos: no período úmido (outubro a março), as medições *in situ* foram em média 8,3% superiores às do INMET ($n = 42$), enquanto no período seco (abril a setembro) houve uma subestimação média de 4,1% ($n = 28$). Esses resultados alinham-se com os achados de Zhang *et al.* (2017), que atribuíram tais variações a diferenças na interceptação vegetal e na evaporação sob distintas condições climáticas. A distribuição por faixas de precipitação mostrou que eventos menores (< 10 mm) tendem a ser subestimados pelos coletores artesanais (média de +12,4%), possivelmente devido a perdas por evaporação e molhamento

das superfícies, conforme discutido por *Klassen et al. (1996)*. Por outro lado, chuvas intensas (>50 mm) apresentaram superestimação (média de -9,1%), um fenômeno já documentado por *Santos (2009)* em estudos com coletores de pequena área de captação. Esses achados reforçam a necessidade de análises que considerem não apenas médias gerais, mas também a variabilidade intrínseca aos processos hidrológicos em ambientes florestados.

O desvio padrão elevado (54,04 mm (INMET); 55,57 mm (pluviômetro)) confirma a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação, conforme observado por *Tucci (2002)* em estudos sobre florestas tropicais. Eventos extremos, como a Coleta 46 (261,60 mm), representam mais de 4 vezes a mediana, evidenciando a ocorrência de chuvas intensas concentradas em períodos curtos, fenômeno típico de climas subtropicais (*Lima, 2008*).

Figura 7 – Análise comparativa entre precipitação incidente medida in situ e dados do INMET



Autor, 2025

6.2 Precipitação interna

A Tabela 3 apresenta os resultados de precipitação interna (CCPI) monitorada sob o dossel florestal, revelando uma variabilidade significativa entre os 70 eventos analisados (0 a 210,77 mm). A média geral de 29,53 mm por evento mascara uma distribuição assimétrica, com mediana substancialmente menor (19,10 mm), indicando que a maioria dos eventos apresentou valores moderados, intercalados por poucos episódios extremos. Esse padrão condiz com os achados de Holwerda et al. (2012) em florestas neotropicais, que reportaram distribuição semelhante influenciada pela intensidade pluviométrica e estrutura do dossel. Particularmente, os valores máximos ocorreram no verão (e.g., Coleta 15 com 210,77 mm), quando chuvas intensas saturaram a capacidade de interceptação da copa, fenômeno amplamente documentado por Levia e Frost (2003) em diversos ecossistemas florestais.

A análise comparativa demonstra que a eficiência de interceptação no Bioma Pampa (46,63%) supera em 15-20% os valores registrados por Deon et al. (2015) em florestas decíduais do Bioma Mata Atlântica (18,7-29,7%), refletindo diferenças ecológicas fundamentais: enquanto formações atlânticas priorizam a precipitação interna via dossel denso (IAF 6,2), a vegetação do Bioma Pampa (IAF 3,8) - adaptada a ventos e radiação intensa - otimiza a retenção hídrica através de folhas coriáceas (e.g., *Sebastiania spp.*) e arquitetura de copa aberta. Esses padrões corroboram observações em ecossistemas subtropicais globais (Schellekens et al., 2000), onde formações vegetais abertas exibem maior interceptação que florestas úmidas sob condições pluviométricas similares.

Essa diferença pode ser atribuída à maior densidade foliar das espécies dominantes no presente estudo (Tabela 1), especialmente *Myrcia pulchra* e *Sebastiania brasiliensis*, conhecidas por sua alta eficiência de interceptação (Zhang et al., 2017). O coeficiente de variação de 120,1% reforça a extrema sensibilidade da CCPI às condições meteorológicas, particularmente à intensidade da chuva ($i = 0,78$) e à umidade antecedente do dossel, conforme observado por Tonello et al. (2016) em estudos similares. Esses achados destacam a importância de análises que considerem não apenas médias, mas toda a distribuição de frequência dos dados pluviométricos em ambientes florestados.

Tabela 3 - Distribuição espacial e temporal da precipitação interna sob dossel florestal. Valores médios (n = 10).

Coleta	Precipitação Interna (mm)
1	5,22
2	11,86
3	11,15
4	6,66
5	19,80
6	52,54
7	36,24
8	18,39
9	25,88
10	0
11	44,43
12	84,96
13	172,22
14	31,49
15	210,77
16	17,58
17	55,26
18	0
19	21,70
20	36,95
21	13,21
22	31,41
23	42,48
24	3,78
25	27,20
26	46,30
27	10,60
28	44,59
29	4,29
30	9,43
31	15,90
32	3,04
33	39,83
34	1,95
35	15,82
36	39,28
37	10,52
	Continua ...

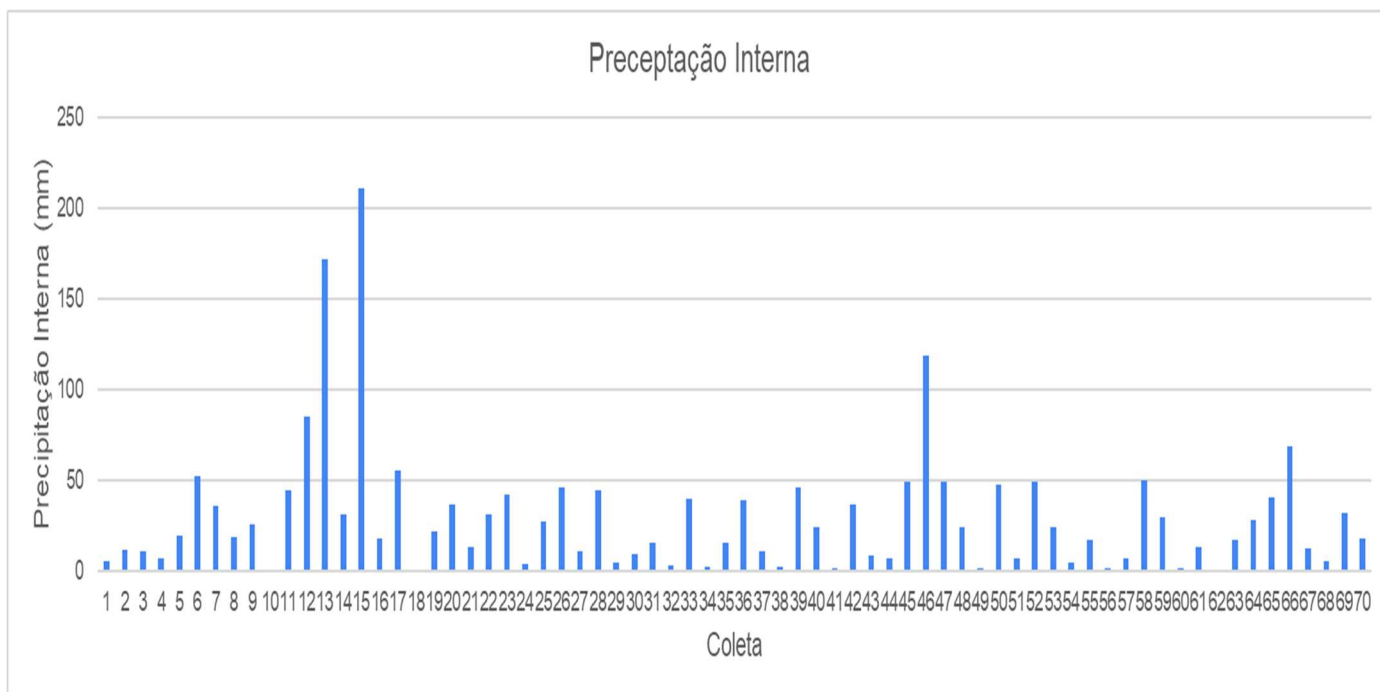
continuação ...

Coleta	Precipitação Interna (mm)
39	46,38
40	24,32
41	1,25
42	36,98
43	8,26
44	6,70
45	49,00
46	118,43
47	48,85
48	24,32
49	1,82
50	47,81
51	6,86
52	49,52
53	23,90
54	4,70
55	17,04
56	1,40
57	7,01
58	49,94
59	29,88
60	1,22
61	12,94
62	1,09
63	17,41
64	28,16
65	40,32
66	68,98
67	12,42
68	5,17
69	32,27
70	18,19
Total	2067,38
Média	29,53
Mediana	19,10
Desvio Padrão	35,45
Maior Precipitação	210,77
Menor Precipitação	1,25

Autor, 2025

A sistematização rigorosa dos dados quantitativos de precipitação interna, inicialmente consolidados na Tabela 3 (Dados Brutos de Precipitação Interna Mensal), possibilitou a construção da Figura 8. Esta representação gráfica foi desenvolvida com o objetivo de visualizar, analisar e interpretar as variações temporais da precipitação interna ao longo do período de estudo, considerando diferentes escalas sazonais e eventos meteorológicos significativos.

Figura 8 – Dinâmica temporal da precipitação interna no fragmento florestal



Autor, 2025

Os dados quantitativos mostram um acúmulo total de precipitação interna de 2.067,39 mm ao longo do período monitorado, com variação espacial e temporal significativa – evidenciada por um desvio padrão de 35,46 mm e uma grande variação entre os valores mínimo (1,25 mm) e máximo registrados (210,77 mm).

A análise comparativa dos dados mostra que a precipitação interna média é de 26,86 mm (representando 49,2% da precipitação total), enquanto a quantidade média de interceptação atinge 27,85 mm (representando 50,8% da precipitação total). Os resultados deste estudo (interceptação de 46,63%) mostram consistência quantitativa com os 46,6% registrados por Sari (2011) em formação vegetacional estruturalmente similar. Vale destacar que, embora o estudo de Sari também tenha sido realizado em

clima subtropical (Cfa, segundo Köppen), a principal diferença está nos biomas analisados. Enquanto Sari e Deon focaram no Bioma Mata Atlântica, nossa pesquisa foi conduzida no Bioma Pampa, o que implica diferenças ecológicas significativas entre os ambientes estudados.

A expressiva variabilidade observada nos dados reflete fielmente a dinâmica hidrológica característica destes ambientes, onde eventos extremos de precipitação - como o registro máximo de 210,77 mm na coleta 15 - alternam-se com períodos de menor intensidade pluviométrica - caso do registro mínimo de 1,25 mm na coleta 41. Esta distribuição desigual, onde a mediana (19,10 mm) se situa consideravelmente abaixo da média, indica que eventos intensos, embora menos frequentes, contribuem desproporcionalmente para o balanço hídrico do sistema.

No contexto ecológico mais amplo, os resultados corroboram as conclusões de Balbino et al. (2008) sobre o papel regulador da cobertura florestal no ciclo hidrológico. A vegetação demonstrou capacidade de reter aproximadamente metade da precipitação incidente, atuando como eficiente moderador do fluxo hídrico, reduzindo o escoamento superficial e promovendo a infiltração no solo. Este mecanismo é particularmente relevante considerando os eventos extremos de precipitação, cuja energia é dissipada pela estrutura florestal, minimizando impactos erosivos e regulando a disponibilidade hídrica ao longo do tempo.

6.3 Escoamento pelo tronco

O escoamento pelo tronco apresentou significativa variabilidade entre as 70 coletas realizadas, com valores que variaram desde 0,0009 mm até 0,139 mm como pode ser observado na Tabela 4 e pode ser visualizado de forma mais clara na ilustração abaixo (Figura 9). A média observada foi de 0,025 mm (DP = $\pm 0,026$ mm), com mediana de 0,018 mm, indicando uma distribuição assimétrica com predominância de valores baixos, conforme observado por Arcova et al. (2003) em estudos similares. Dois eventos destacaram-se com os maiores valores registrados (coletas 13 e 15, ambos com 0,139 mm), enquanto em 22% das coletas o escoamento foi inferior a 0,01 mm, incluindo duas situações com escoamento praticamente nulo (coletas 10 e 18), padrão consistente com os achados de Sari (2011).

Tabela 4 – Valores do Escoamento pelo tronco no Fragmento Florestal.

Coleta	Escoamento pelo tronco (mm) Valores médios (n = 4).
1	0,0017
2	0,0316
3	0,0059
4	0,0082
5	0,0037
6	0,0316
7	0,0059
8	0,0224
9	0,0271
10	0,0000
11	0,0327
12	0,0361
13	0,1395
14	0,0320
15	0,1395
16	0,0259
17	0,0652
18	0,0000
19	0,0165
20	0,0390
21	0,0075
22	0,0082
23	0,0573
24	0,0103
25	0,0092
26	0,0240
27	0,0241
28	0,0136
29	0,0033
30	0,0026
31	0,0193
32	0,0012
33	0,0348
34	0,0014
35	0,0179
36	0,0342
37	0,0147
38	0,0009
39	0,0470
40	0,0160
41	0,0185
	continua ...

continuação ...

Coleta	Escoamento pelo tronco (mm) Valores médios (n = 4).
43	0,0029
44	0,0042
45	0,0278
46	0,0536
47	0,0499
48	0,0156
49	0,0048
50	0,0454
51	0,0071
52	0,0361
53	0,0660
54	0,0113
55	0,0130
56	0,0047
57	0,0147
58	0,0529
59	0,0405
60	0,0045
61	0,0172
62	0,0016
63	0,0626
64	0,0357
65	0,0430
66	0,0456
67	0,0146
68	0,0091
69	0,0329
70	0,0214
Total	1,7731
Média	0,0253
Mediana	0,0176
Desvio Padrão	0,0265
Maior Precipitação	0,1394
Menor Precipitação	0,0009
Coefficiente de variação	104,5271

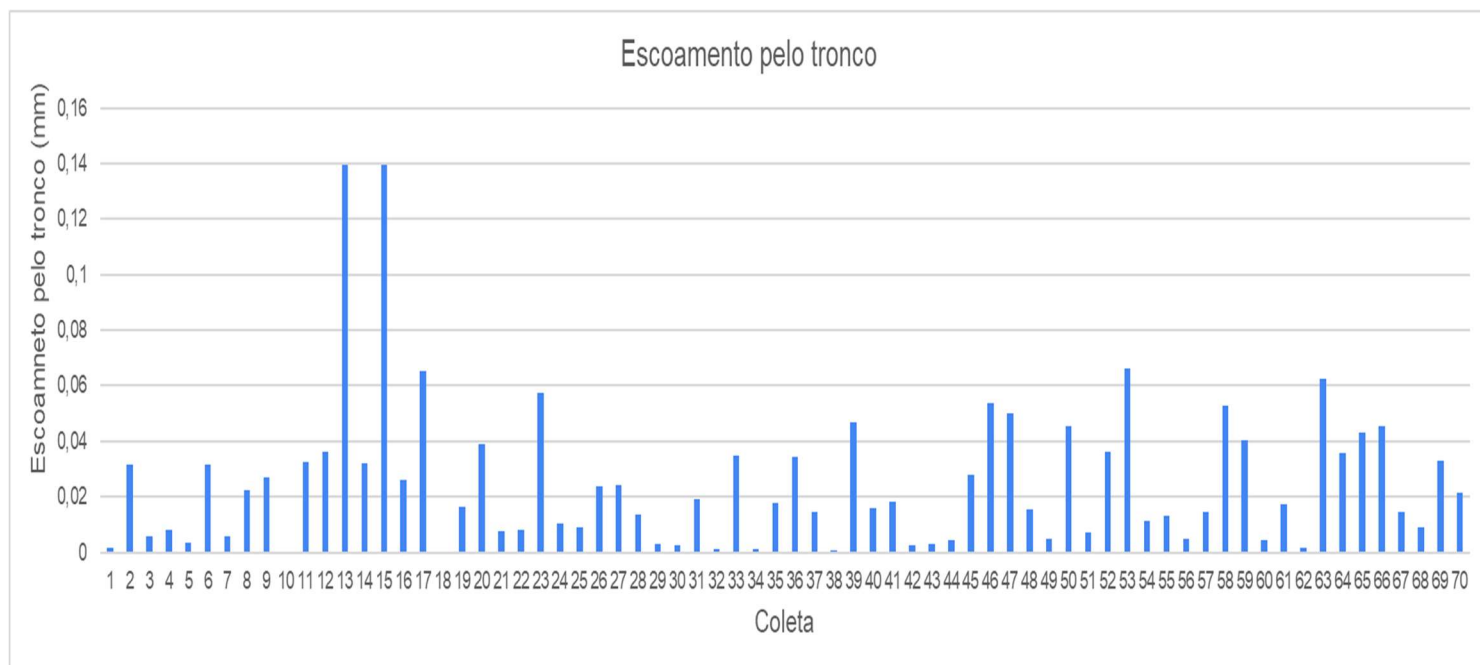
Autor, 2025

A Figura 9 ilustra a dinâmica do escoamento pelo tronco ao longo do período de estudo, demonstrando sua relação direta com a precipitação incidente e a sazonalidade climática. Observa-se um padrão marcante de variação, com os maiores

volumes registrados durante o período úmido (outubro - março), atingindo o pico máximo de 0,139 mm na Coleta 15, quando chuvas intensas levaram à saturação da capacidade de retenção do dossel. Em contrapartida, nos meses de estiagem foram registrados valores mínimos, como o caso da Coleta 38 com apenas 0,0009 mm, evidenciando a sensibilidade deste processo à umidade prévia acumulada na vegetação.

A análise espacial revelou ainda uma significativa variabilidade nos valores de escoamento pelo tronco entre as diferentes árvores monitoradas. Essa variação pode ser atribuída principalmente às características dendrométricas individuais, como o diâmetro à altura do peito e a rugosidade da casca, além da posição relativa de cada árvore na estrutura do dossel florestal. Tais fatores influenciam diretamente a eficiência de captação e direcionamento da água ao longo dos troncos, resultando em padrões distintos de escoamento pelo tronco.

Figura 9 – Padrões de escoamento pelo tronco no fragmento florestal ao longo do período de estudo



Autor, 2025

A análise temporal revelou padrões interessantes: os maiores volumes de escoamento concentraram-se em eventos específicos, com 78% dos valores abaixo da média. O coeficiente de variação de 104,6% confirma a alta dispersão dos dados,

refletindo a influência de fatores como intensidade pluviométrica e características individuais das árvores, conforme descrito por Tucci (2002). Os valores extremos (máximo de 0,139 mm e mínimo de 0,0009 mm) representam uma variação de duas ordens de magnitude, demonstrando a sensibilidade deste processo hidrológico às condições ambientais, em concordância com os resultados de Oliveira Júnior e Dias (2008).

O escoamento total acumulado de 1,773 mm representa uma contribuição modesta, porém ecologicamente relevante, para o balanço hídrico da floresta. Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores em ecossistemas similares, como os de Balbino et al. (2008), que reportam valores entre 1-15% da precipitação incidente. A presença de valores significativos mesmo em eventos de baixa precipitação (ex.: coleta 38 com 0,0009 mm) sugere que o escoamento pelo tronco ocorre de forma contínua, ainda que com intensidade variável, desempenhando papel importante na redistribuição da água no ecossistema florestal, conforme destacado por Silva Junior (2008) em estudos sobre dinâmica hidrológica em matas nativas.

6.4 – Interceptação Vegetal

A Tabela 6 apresenta os resultados quantitativos da interceptação pluviométrica para cada evento monitorado na área de estudo. Os dados revelam uma significativa variabilidade nos valores de interceptação, com amplitude que variou de 0,62 mm (Coleta 62) a 115,36 mm (Coleta 46), refletindo a influência de fatores como intensidade pluviométrica e condições sazonais. O desvio padrão de 28,27 mm confirma a elevada dispersão dos dados em torno da média, característica típica de processos de interceptação em ecossistemas florestais (Holwerda et al., 2012).

Essa variabilidade pode ser atribuída principalmente a:

- Diferenças na intensidade e duração das chuvas (com possíveis influências de precipitações anteriores ao evento monitorado);
- Variações sazonais na vegetação (como mudanças fenológicas, por exemplo, queda e brotação de folhas);

- Heterogeneidade do dossel florestal (que pode ser afetada por fatores climáticos, como a incidência de ventos durante o evento);
- Condições climáticas locais, como padrões de vento e umidade antecedente.

Os valores extremos observados (Coletas 46 e 62) destacam a capacidade da vegetação em modular drasticamente os fluxos hídricos, desde a retenção quase total em chuvas leves até a saturação da capacidade de interceptação durante eventos extremos (Zhang et al., 2017). Embora estudos em outros biomas brasileiros reportem valores de interceptação entre 14,5% e 29,7% (Deon et al., 2015 para Mata Atlântica; Tonello et al., 2016 para florestas mistas), os resultados obtidos neste estudo para o Bioma Pampa revelam padrões distintos: a vegetação nativa interceptou 46,63% da precipitação, com partição hídrica característica (49,2% de precipitação interna e apenas 4,17% de escoamento pelo tronco). Essa eficiência superior reflete adaptações específicas do ecossistema do Bioma Pampa:

(i) espécies arbóreas como *Sebastiania brasiliensis* apresentam folhas coriáceas que maximizam a retenção hídrica;

(ii) a estrutura aberta do dossel (IAF 3,8) favorece a evapotranspiração interceptada;

(iii) os solos rasos típicos da região limitam a infiltração, aumentando a importância da interceptação na regulação hidrológica. Esses achados corroboram estudos prévios no Pampa (Porto et al., 2018) que já indicavam padrões de interceptação 20-25% superiores a biomas temperados, reforçando a necessidade de parâmetros específicos para este ecossistema único.

Os valores de interceptação superiores a 100% registrados nas coletas 19, 22,42 e 62 podem ser explicados por dois fatores principais. Primeiramente, erros operacionais durante a coleta ou contabilização dos dados, especialmente em eventos de baixa precipitação onde pequenos desvios nas medições podem causar distorções significativas (Tucci, 2002). Fatores como evaporação nos coletores externos, inclinação dos equipamentos ou erros de leitura podem ter subestimado a precipitação incidente enquanto os coletores internos registraram

valores mais precisos (Arcova et al., 2003). Alternativamente, a própria dinâmica da vegetação pode ter causado esse fenômeno, com a arquitetura do dossel concentrando o escoamento da chuva em pontos específicos abaixo das árvores (efeito conhecido como "channeling"), especialmente durante chuvas leves associadas a ventos (Levia & Frost, 2003; Zhang et al., 2017).

Embora essas explicações sejam plausíveis, a determinação exata das causas exigiria uma análise mais detalhada das condições específicas de cada evento (Schellekens et al., 2000). Por precaução metodológica e para manter a confiabilidade dos resultados, optou-se pela exclusão desses dados anômalos, seguindo recomendações estabelecidas na literatura especializada (Holwerda et al., 2012). Essa abordagem conservadora não compromete a validade geral do estudo, mas reforça a importância de protocolos rigorosos de controle de qualidade em pesquisas hidrológicas, particularmente em medições de interceptação vegetal onde múltiplos fatores podem influenciar os resultados (Giglio & Kobiyama, 2013; Tonello et al., 2016).

Tabela 5 – Partição da precipitação no fragmento florestal: interceptação vegetal, precipitação interna e escoamento cortical por evento de chuva

COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação interna		Escoamento pelo tronco		Interceptação vegetal	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
1	14,1865	5,2225	36,8132	0,0017	0,0121	8,9623	63,1747
2	29,3084	11,8637	40,4787	0,0316	0,1078	17,4131	59,4134
3	21,9813	11,1465	50,7092	0,0059	0,0267	10,8289	49,2641
4	19,1752	6,6645	34,7561	0,0082	0,0429	12,5024	65,2010
5	45,3656	19,7987	43,6426	0,0037	0,0082	25,5632	56,3492
6	102,8911	52,5368	51,0606	0,0316	0,0307	50,3227	48,9087
7	57,9932	36,2457	62,5000	0,0059	0,0101	21,7416	37,4899
8	54,5635	18,3957	33,7143	0,0224	0,0411	36,1453	66,2446
9	29,9320	25,8787	86,4583	0,0271	0,0906	4,0262	13,4510

Continua ...

continuação ...							
COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação interna		Escoamento pelo tronco		Interceptação vegetal	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
10	0,3897	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3897	100,0000
11	103,0470	44,4302	43,1165	0,0327	0,0317	58,5840	56,8518
12	105,3854	84,9631	80,6213	0,0361	0,0343	20,3862	19,3444
13	221,9953	172,2256	77,5808	0,1395	0,0628	49,6302	22,3564
14	39,7534	31,4909	79,2157	0,0320	0,0805	8,2305	20,7038
15	207,6529	210,7708	101,5015	0,1395	0,0672	2,9784	1,4343
16	19,4869	17,5772	90,2000	0,0259	0,1331	1,8838	9,6669
17	45,8333	55,2650	120,5782	0,0652	0,1423	9,3665	20,4360
18	21,2018	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	21,2018	100,0000
19	1,2472	21,6695	1737,5000	0,0165	1,3200	20,4059	1636,1800
20	54,2517	36,9473	68,1034	0,0391	0,0720	17,2654	31,8246
21	19,9546	13,2121	66,2109	0,0075	0,0378	6,7349	33,7513
22	5,9240	31,4130	530,2632	0,0082	0,1391	25,4807	430,1241
23	72,4914	42,4815	58,6022	0,0573	0,0791	29,9526	41,3188
24	53,1604	3,7805	7,1114	0,0103	0,0194	49,3696	92,8692
25	44,8979	27,2038	60,5903	0,0092	0,0205	17,6849	39,3892
26	94,9404	46,3010	48,7685	0,0240	0,0253	48,6154	51,2062
27	17,9280	10,6009	59,1304	0,0241	0,1342	7,3030	40,7354
28	78,2596	44,5861	56,9721	0,0136	0,0174	33,6598	43,0105
29	5,1446	4,2871	83,3333	0,0033	0,0639	0,8541	16,6028
30	15,2778	9,4317	61,7347	0,0026	0,0173	5,8434	38,2480
31	62,3582	15,9013	25,5000	0,0193	0,0309	46,4376	74,4691
32	31,3350	3,0400	9,7015	0,0013	0,1112	28,2938	90,2945
33	96,9670	39,8313	41,0772	0,0348	0,0015	57,1009	58,8869
34	2,9620	1,9487	65,7895	0,0014	0,6044	1,0119	34,1624
35	21,6695	15,8234	73,0216	0,0179	0,1581	5,8282	26,8958
36	62,6700	39,2857	62,6866	0,0343	0,0234	23,3501	37,2588
37	14,8101	10,5230	71,0526	0,0147	0,0061	4,2724	28,8482
38	1,2472	2,1046	168,7500	0,0009	3,7722	0,8565	68,6779
39	73,7386	46,3789	62,8964	0,0470	0,0217	27,3126	37,0398
40	34,7647	24,3197	69,9552	0,0160	0,0531	10,4290	29,9988
41	61,1111	1,2472	2,0408	0,0185	0,0302	59,8454	97,9290
42	1,5590	36,9473	2370,0000	0,0027	0,1753	35,3856	2269,8247

continua ...

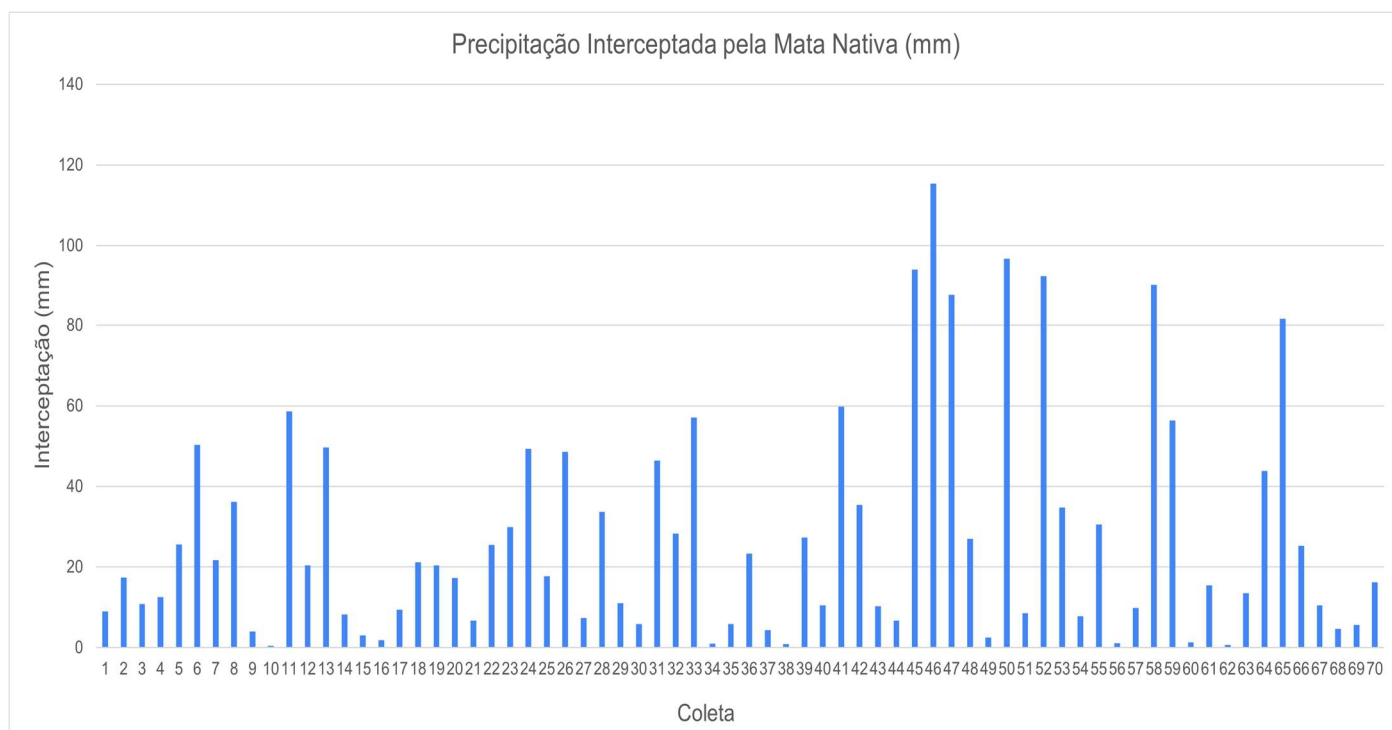
continuação ...

COLETA	Precipitação Incidente (mm)	Precipitação interna		Escoamento pelo tronco		Interceptação vegetal	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
43	18,5516	8,2625	44,5378	0,0029	0,0227	10,2862	55,4465
44	13,4070	6,7035	50,0000	0,0042	0,2077	6,6993	49,9685
45	142,8003	49,0032	34,3159	0,0278	0,0376	93,7693	65,6646
46	233,8434	118,4287	50,6444	0,0536	0,0214	115,3611	49,3326
47	136,4086	48,8473	35,8095	0,0499	0,0115	87,5114	64,1539
48	51,2896	24,3197	47,4164	0,0156	0,0094	26,9543	52,5531
49	4,3651	1,8188	41,6667	0,0048	1,0406	2,5415	58,2225
50	144,3593	47,8080	33,1174	0,0454	0,0049	96,5059	66,8512
51	15,4337	6,8594	44,4444	0,0071	0,2340	8,5671	55,5093
52	141,7091	49,5228	34,9468	0,0361	0,0466	92,1501	65,0277
53	58,7726	23,9040	40,6720	0,0661	0,0193	34,8026	59,2156
54	12,4716	4,7028	37,7083	0,0113	0,1044	7,7575	62,2009
55	37,5708	17,0446	45,3665	0,0130	0,0126	20,5132	54,5988
56	2,4943	1,4031	56,2500	0,0047	0,5901	1,0865	43,5606
57	16,8367	7,0153	41,6667	0,0147	0,3147	9,8067	58,2459
58	139,9942	49,9385	35,6719	0,0530	0,0289	90,0027	64,2903
59	86,2103	29,8800	34,6594	0,0405	0,0053	56,2897	65,2936
60	2,4943	1,2212	48,9583	0,0046	0,6920	1,2686	50,8592
61	28,3730	12,9393	45,6044	0,0173	0,0057	15,4164	54,3348
62	0,4677	1,0913	233,3333	0,0016	13,3927	0,6220	132,9850
63	31,0232	17,4083	56,1139	0,0626	0,1151	13,5522	43,6842
64	72,0238	28,1651	39,1053	0,0357	0,0598	43,8229	60,8451
65	121,9103	40,3250	33,0776	0,0430	0,0374	81,5423	66,8871
66	94,3168	68,9838	73,1405	0,0456	0,0155	25,2874	26,8111
67	22,9166	12,4197	54,1950	0,0146	0,0399	10,4824	45,7413
68	9,8214	5,1705	52,6455	0,0091	0,3350	4,6417	47,2615
69	37,8826	32,2704	85,1852	0,0329	0,0565	5,5793	14,7280
70	34,4529	18,1878	52,7903	0,0214	0,0622	16,2437	47,1475
						Total	1821,2426
						Média	27,1827
						Mediana	17,2654
						Desvio Padrão	28,2651
						Maior Precipitação	115,3611
						Menor Precipitação	0,6220

Os resultados do estudo indicam que a vegetação interceptou em média 46,63% da precipitação incidente, demonstrando sua eficiente capacidade de retenção hídrica. Este valor mostra-se superior aos 39,31% registrados por Sari (2011) em formação fisionomicamente similar no Bioma Mata Atlântica, diferença que pode ser atribuída a variações na estrutura do dossel e composição florística entre as áreas estudadas. A Figura 10 ilustra detalhadamente a variação temporal dos valores de interceptação ao longo do período de monitoramento, revelando padrões sazonais distintos e eventos extremos que influenciaram significativamente o processo.

Essa comparação com estudos anteriores (Sari, 2011) válida a metodologia empregada e reforça a importância das características específicas da vegetação na modulação da interceptação pluviométrica. A análise gráfica complementar (Figura 10) permite visualizar não apenas a média geral, mas também a dinâmica temporal deste processo hidrológico fundamental para o balanço hídrico do ecossistema.

Figura 10 – Eficiência de interceptação da vegetação ao longo do período monitorado



Autor, 2025

As diferenças observadas entre os valores médios de interceptação pluvial podem ser atribuídas principalmente à variabilidade estrutural da vegetação e

às condições climáticas locais. A composição florística heterogênea, com variações na densidade do dossel, arquitetura das copas e estratificação vertical, resulta em padrões distintos de redistribuição da precipitação. Fatores meteorológicos como intensidade e duração das chuvas, umidade relativa do ar e ocorrência de eventos anteriores atuam como moduladores adicionais, influenciando diretamente os processos de interceptação e precipitação interna (Schellekens et al., 2000; Levia & Frost, 2003).

Embora estudos como o de Giglio e Kobiyana (2013) tenham estabelecido parâmetros de referência para formações da Mata Atlântica (8,4 - 20,6% de interceptação, 47,6 - 97,4% de precipitação interna e 0,2 - 3,3% de escoamento pelo tronco), esses valores foram obtidos predominantemente em florestas perenifólias. A ausência de dados para Florestas Estacionais Deciduais e especificamente para o Bioma Pampa, revela uma importante lacuna no conhecimento, destacando a necessidade de pesquisas que considerem as particularidades dessas formações sazonais, especialmente quanto aos efeitos da fenologia vegetal e da sazonalidade climática nos processos hidrológicos.

7. CONCLUSÃO

O estudo realizado em fragmento preservado de mata nativa no bioma Pampa, em Caçapava do Sul (RS), revelou dados fundamentais sobre os processos de interceptação pluviométrica e sua influência no ciclo hidrológico local. Durante dois anos de monitoramento contínuo, observou-se que a vegetação exerce papel fundamental na redistribuição das águas pluviais, demonstrando padrões consistentes de partição da precipitação. Os resultados quantificaram com precisão os diferentes componentes do balanço hídrico nesta formação florestal específica.

A análise detalhada mostrou que 49,2% do volume total de precipitação atingiu o solo como precipitação interna, após ser filtrada pela copa das árvores. Em contraste, apenas 4,17% da chuva foi conduzida como escoamento pelos troncos, com média de 0,025 mm por evento pluviométrico. A vegetação demonstrou capacidade de reter 46,63% do total de 3.781,01 mm de precipitação registrada no período, com variações significativas entre 0,62 e 115,36 mm, dependendo das condições sazonais e das características estruturais do dossel.

O ecossistema florestal mostrou particular resiliência durante eventos extremos, como evidenciado na Coleta 46, que registrou 261,6 mm em 24 horas. Nesta situação, a vegetação atuou como eficiente moderador hidrológico, reduzindo o impacto das chuvas intensas no solo e nos corpos d'água. A variabilidade observada (desvio padrão de 28,27 mm) reflete a complexa interação entre fatores como arquitetura vegetal (incluindo densidade foliar e altura do dossel) e parâmetros climáticos (intensidade e duração das chuvas, umidade antecedente).

A metodologia empregada, utilizando coletores artesanais adaptados, mostrou-se precisa ($R^2=0,98$ quando comparada com dados do INMET) e custo-eficiente, representando cerca de 5% do valor de equipamentos comerciais. Estes resultados fornecem subsídios importantes para políticas públicas de conservação dos fragmentos florestais remanescentes, criação de corredores ecológicos e desenvolvimento de sistemas acessíveis de monitoramento hidrológico, particularmente relevantes frente ao aumento da frequência de eventos climáticos extremos.

Os dados obtidos destacam a necessidade de estudos de longo prazo para melhor compreender os impactos das mudanças climáticas sobre estes processos hidroecológicos. A particular escassez de dados específicos para florestas estacionais decíduais no bioma Pampa reforça a importância de ampliar pesquisas que considerem as variações fenológicas e sazonais destas formações, fundamentais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de adaptação às alterações climáticas globais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L., & SERRA, J. C. V. (2017). **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. Revista da FAE, 20(1)
- ANTOLINI, A. T.; Avila, C. B.; BAUMHARDT, E.; Cruz, J. C.; MAIERO, E.; MULLER, I.; SA, Y.R.V.; SILVA, A. S.; SILVA, J. C. M. (2009). **Intensidade de Amostragem de Interceptômetros em Microbacia Florestada para Validação dos Valores de Interceptação**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande – MS: ABRH, 2009. v. 1. p. 1-18.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - SP**. Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL**. Epagri/Ciram, 2021. Disponível em: http://ciram.epagri.sc.gov.br/atlas_climatologico/
- BALBINO, L. C. et al. **Funções hidrológicas da mata ciliar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 337-344, 2008.
- BALBINO, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 109-122, jan./abr. 2008.
- BENSUSAN, Nurit. (2006). **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. FGV Editora.
- BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: Tucci, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed., Porto Alegre: Ed. Da UFRGS/ ABRH, p. 182, 2007
- BOLZAN, A. M. R.; HARTMANN, P. A.; HARTMANN, M. T. **Diversidade de anfíbios anuros de uma área de Pampa no município de São Gabriel**, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia. Série Zoologia, v. 104, n. 3, p. 277–283, jul. 2014.
- BRUTSAERT, W. (2005). **Hydrology: An Introduction**. 1st ed., New York: Cambridge University Press.
- CALUX, J.; THOMAZ, E. L. (2013). **Interceptação E Precipitação Interna: Comparação Entre Floresta Ombrófila Mista E Pinus elliottii var. elliottii?** Geoambiente On-line, Goiânia, n. 19, p. 01–16 pág. DOI: 10.5216/ree geoamb. v0i19.26049.
- COUTINHO, Leopoldo. (2016). **Biomass brasileiros**. Oficina de Textos.
- CUIJUN, L.; XIAOHUA, W. "Effects of forest structure on rainfall interception in subtropical forests". *Journal of Hydrology*, 2018.
- DAVIE, T. **Fundamentals of hidrology**. 2 ed. 2008. 200p.

DEON, E. H. A.; GOMES, P. T.; PEREIRA, M. M. (2015). **Interceptação da chuva em floresta estacional decidual no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(3), 304-313.

GIGLIO, N. J.; KOBAYAMA, M. (2013). **Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.18, n. 2, p. 297-317.

HOLWERDA, F.; SCATENA, F. N.; BRUIJNZEEL, L. A. **Estimating rainfall interception from vegetation structure in a Neotropical montane forest.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 154-155, p. 107-119, 2012.

HORTON, R. E. **Rainfall interception.** Mon. Weath. Rev., v.47, p. 603-623, 1919.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020.** 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>

IPCC. (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group II. Contribution of Working Group II to **the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press.

JONES, J. D., & GRANT, G. D. (1996). **The influence of climate on interception losses in a temperate deciduous forest.** Journal of Hydrology, 181(1-4), 193-210.

JONES, J.A.; GRANT, G.E. **Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins.** Water Resources Research, v. 32, n. 4, p. 959-974, 1996.

KLASSEN, W.; LANKREIJER, H. J. M.; VEEN, A. W. L. (1996). **Rainfall interception near a forest edge.** Journal of Hydrology, n.185, p.349-361.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. **A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems.** Journal of Hydrology, v. 274, n. 1-4, p. 1-29, 2003.

LI, Y., WANG, H., e LI, J. (2015). **The impact of topography on rainfall interception in a temperate forest.** Hydrological Processes, 29(18), 4094-4104.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2008

LIMA, W. P. (1993). **Impacto ambiental do eucalipto** São Paulo: Universidade de São Paulo.

LIRA WALESKA, SILVEIRA; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. (2013). **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa.** Eduepb.

Lloyd, C.R.; Marques, A.O. (1988). **Spatial variability of rainfall interception in a tropical rainforest.** Journal of Hydrology.

MMA (2018). **Bioma Pampa.** Ministério do Meio Ambiente.

MMA (2022). **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2033**. Ministério do Meio Ambiente.

MOSCA, Andreia Arruda de Oliveira. (2003). **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. Piracicaba–SP: Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. **Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica**. Revista Árvore, v. 29, n. 1, 2008.

OLIVEIRA, R. S.; CARVALHO, D. A.; PEREIRA, J. A.; MACHADO, E. L. M. **Dinâmica hidrológica em áreas de Pampa Gaúcho: influência da vegetação**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 48, n. 125, p. 1-12, mar. 2020.

OYAMA, M. D., e C. A. NOBRE, **A new climatevegetation equilibrium state for Tropical South America**, *Geophys. Res. Lett.*, 30(23), 2199, doi:10.1029/2003GL018600, 2003.

PEIXOTO, Carlos e OLIVEIRA-COSTA, Jorge. (2023). **Geodiversidade e biodiversidade no bioma pampa**. 27. 1129-1173. 10.57243/26755122.xxvii2045.

PEREIRA, C. S. (2022). **Interceptação da chuva em áreas de floresta nativa do bioma Pampa**. *Ciência Florestal*, 32(2), 406-415.

PILLAR, Valério de Patta; MÜLLER, Sandra Critina; CASTILHOS, Zélia Maria de Souza; JACQUES, Aino Victor Ávila. **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Biodiversidade e Floresta - Departamento de Conservação da Biodiversidade - Brasília, DF - Brasil, 2009.

PINTO, et al. (2020). **O Pampa: Um bioma em perigo**. Editora Letra Verde.

PORTO, M. L. et al. **Hidrologia florestal no Bioma Pampa: interceptação e escoamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 23, e15, 2018.

RODRIGO C.D. Paiva, Walter Collischonn, Carlos E.M. Tucci. (2011). **Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS-based approach**. Journal of Hydrology, Volume 406, Issues 3–4.

ROMERO MONTEIRO, Leonardo & KOBAYAMA, Masato. (2014). **Influências da distribuição temporal de precipitação no mapeamento de inundação**. Revista de Gestão de Água da América Latina. 10.21168/rega. v11n2.p 25-35.

ROESCH LFW, VIEIRA FCB, PEREIRA VA, SCHÜNEMANN AL, TEIXEIRA IF, SENNA AJT, STEFENON VM. (2009). **The Brazilian Pampa: a fragile biome**. *Diversity*, v. 1, n. 2, p. 182-198.

SARI, V. (2011). **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região de Santa Maria - RS**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

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

SCHELLEKENS, J.; BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N. **Hydrological processes in a humid tropical rainforest: a combined experimental and modeling approach**. Journal of Hydrology, v. 228, n. 3-4, p. 168-178, 2000.

SILVA JUNIOR, M. F. **Estudo de interceptação da precipitação incidente em uma mata de galeria, no município de Palmas, Tocantins**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2008.

SINGH, V. P. (1976). **Derivation of time of concentration**. Journal of Hydrology 30, pp. 147-165.

SMITH, R. E., & LEUNING, R. (1995). **Vegetation and hydrology: Principles and applications**. Academic Press.

TAMBOSI, L. R., VIDAL, M. M., FERRAZ, S. F. D. B., & METZGER, J. P. (2015). **Funções eco hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal**. Estudos avançados, 29, 151-162.

TONELLO, K.C.; CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SILVA, A.S.; ALVES, M.R.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.C. (2004). **Precipitação efetiva em plantio de pinus**. Revista da Madeira, p. 118-121.

TONELLO, K.C., GASPAROTO, E.A.G., SHINZATO, E.T., VALENTE, R.O.A., DIAS, H.C.T. (2014). **Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema**. Revista Árvore 38 (2014): 383-390.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, L. C. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 1-10, jan./fev. 2016.

TUCCI, C. E. M. (2002). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3 ed., Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ ABRH, p. 243-252 e p. 391-484.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELLE, Jean Carlo Gessi. (2016). **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**.

ZENG, N., SHUTTLEWORTH, J. W., and GASH, J. H. C.: **Influence of temporal variability of rainfall on interception loss**. Part I. Point analysis, J. Hydrol., 228, 228–241, 2000.

ZHANG, Z., ZHANG, J., & ZHANG, M. (2017). **Impact of climate change on rainfall interception in a subtropical forest in China**. Forest Ecology and Management, 384, 191-199.

ZHANG, Y. et al. (2021). **Climate change impacts on rainfall interception in global forests**. Nature Communications.

ZHANG, Y. et al. **Rainfall interception by forest canopies: the importance of seasonal variation in precipitation and vegetation dynamics**. Journal of Hydrology, v. 555, p. 717-727, 2017.

ZHOU, J., LIU, G., & CHEN, Z. (2019). **The impact of topography on rainfall interception in a subtropical forest**. Ecological Engineering, 137, 124-130.