



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG



**GUILHERME SANTANA SILVA**

**PRECIPITAÇÃO INTERNA DE ÁRVORES ESPARSAS EM  
ÁREA URBANA**

**P G R N**

**Campo Grande, MS.**

**2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**GUILHERME SANTANA SILVA**

**PRECIPITAÇÃO INTERNA DE ÁRVORES ESPARSAS EM  
ÁREA URBANA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais. Análise Integrada e geotecnologias.

**Orientador: Prof. Dr. Jamil Alexandre Ayach Anache.**

Aprovada em:

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Jamil Alexandre Ayach Anache  
Orientador PGRN - UFMS

Profa. Dra. Eliane Guaraldo  
PGRN - UFMS

Dra. Lívia Malacarne Pinheiro Rosalem  
Universidade de São Paulo

**Campo Grande, MS.  
2022**

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais.*

## EPÍGRAFE

*Quando se navega sem destino, nenhum vento  
é favorável. (Seneca)*

## AGRADECIMENTOS

Meus profundos e mais sinceros agradecimentos à todas as pessoas e instituições que contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial:

Ao prof. Jamil Anache pela paciência, compreensão, orientação e dedicação no desenvolvimento da pesquisa.

Ao LASAC, Laboratório de Águas Subterrâneas e Áreas Contaminadas, em especial às colegas Jessica Lima, Mariana Godoy e Natália de Souza Pelinson.

Ao PGRN, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PPGRN), da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (FAENG) da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) pela oportunidade de realizar o mestrado.

Aos professores José Marcato Junior e Flávio Marcelo Alves pelo apoio na elaboração da pesquisa.

À professora Cláudia Gonçalves Vianna Bacchi pela confiança depositada em mim, proporcionando-me grandes oportunidades de conhecimento.

Aos meus pais, Reginaldo e Tânia, aos meus irmãos, Jéssica e Leonardo, à minha namorada Pollyanna pelo incentivo, carinhos e me ajudaram a participar deste processo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Ciclo hidrológico e balanço hídrico .....	4
3.2 Precipitação.....	6
3.3 Intercepção .....	7
3.3.1 Precipitação Interna .....	9
3.3.2 Escoamento pelo tronco.....	10
3.4 Intercepção pelas árvores no contexto urbano .....	11
4 ÁREA DE ESTUDO .....	12
5 MATERIAL E MÉTODO .....	13
5.1 Seleção e identificação dos indivíduos .....	13
5.2 Instrumentação e período de monitoramento.....	13
5.2.1 Precipitação total .....	14
5.2.2 Precipitação interna .....	14
5.2.3 Escoamento pelo tronco.....	15
5.3 Dendrometria .....	15
5.4 Análise estatística de dados .....	16
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
6.1 Caracterização dos indivíduos arbóreos.....	18
6.2 Precipitação total.....	20

6.3	Precipitação interna.....	21
6.4	Efeitos das Características .....	26
6.5	Heterogeneidade da precipitação interna nas árvores esparsas .....	28
7	CONCLUSÃO.....	32
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico. ....	5
Figura 2 - Componentes da intercepção em árvores.....	8
Figura 3 - Área de estudo. ....	12
Figura 4 - Pluviômetro milimetrado. ....	13
Figura 5 – Distribuição, sob as copas das árvores, dos pluviômetros para obtenção da precipitação interna.....	15
Figura 6 - Identificação dos exemplares arbóreos sob os quais foram instalados os pluviômetro, durante o período de coleta de dados. Sendo: 1 – <i>Terminália</i> , 2 – <i>Tabebuia rosealba</i> ; 3 - <i>Handroanthus impetiginosus</i> ; 4 - <i>Handroanthus impetiginosus</i> ; 5 - <i>Tabebuia rosealba</i> ; 6 - <i>Handroanthus impetiginosus</i> ; 7 - <i>Apeiba tibourbou</i> ; 8 - <i>Genipa americana</i> ; 9 - <i>Ficus benjamina</i> ; 10 - <i>Licania tomentosa</i> ; 11 - <i>Aspidosperma tomentosum</i> ; 12 - <i>Dimorphandra mollis</i> . ....	19
Figura 7 - Histograma dos eventos. ....	20
Figura 8 - <i>Boxplot</i> das precipitações internas (PI) e precipitação total (PT) em cada um dos 12 indivíduos.....	23
Figura 9 - Distância Euclidiana (Método de Ward) da precipitação interna (PI) entre os diferentes indivíduos arbóreos.....	26
Figura 10 – Precipitação interna centro e extremidade dos indivíduos. ....	30
Figura 11 – Correlação entre precipitação total e precipitação interna nos indivíduos observados. * indica coeficiente de correlacao (corr.) de Spearman significativo (p valor < 0,05).....	31

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa. ....	18
Tabela 2 – Precipitação total (PT) por evento. ....	21
Tabela 3 – Mapa de Calor da mediana da precipitação interna (mm), onde PT é a precipitação total.....	22
Tabela 4 - Medianas da PI. ....	24
Tabela 5 - Porcentagem da precipitação interna.....	25
Tabela 6- Tabela de Classificação de Coeficiente.....	26
Tabela 7 – Matriz de correlação entre precipitação interna e características dos indivíduos. ....	27
Tabela 8 - Valores de diâmetro a altura do peito, mediana da precipitação interna, altura, diâmetro e área de copa das espécies estudadas. ....	27
Tabela 9 – Precipitação interna no centro e na extremidade para cada um dos indivíduos. ....	29

## RESUMO

SILVA, G. S. (2022). Precipitação interna de árvores esparsas em área urbana. 2022. 37 Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A precipitação interna das águas pluviais sob os indivíduos arbóreos são parte importante no ciclo hidrológico. Nesse contexto, indivíduos arbóreos isolados são capazes de interceptar valores significativos de água, com potencial para aliviar os sistemas de drenagem urbana. O objetivo deste trabalho é detalhar o processo de precipitação interna em indivíduos arbóreos esparsos comumente encontrados em cidades inseridas no Bioma Cerrado. Os indivíduos usados nesse estudo estavam localizados no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande – MS. Para isso, foram monitorados doze indivíduos arbóreos, utilizando pluviômetros milimetrados para mensurar a quantidade de água precipitada internamente e a precipitação total do sítio. Os doze indivíduos arbóreos são das seguintes espécies: 2 *Tabebuia roseoalba*, 3 *Handroanthus impetiginosus*, *Apeiba tibourbou*, 1 *Genipa americana*, 1 *Ficus benjamina*, 1 *Licania tomentosa*, 1 *Aspidosperma tomentosum*, 1 *Dimorphandra mollis* e 1 um da família *Terminalia*. As observações mostram que existe uma correlação entre a área projetada da copa e a precipitação interna, sendo o Oiti, *Lincaia tomentosa* o que apresenta o menor valor de precipitação interna - 11,25 mm/dia – e o Ipê-rosa, o que apresenta o maior valor de precipitação interna – 18,25 mm/dia. Conclui-se que as características dendrométricas influenciam diretamente na interceptação da água da chuva, sendo necessário mais estudos para melhor correlacionar as características das árvores e a capacidade de interceptação.

**Palavras-chave:** Interceptação, chuva interna, arborização, Cerrado.

## ABSTRACT

The throughfall is an important part of the hydrological cycle. In this context, isolated trees are able to intercept significant amounts of water, with the potential to alleviate urban drainage systems. The objective is to detail the internal precipitation process in isolated trees commonly found in cities located at Cerrado Biome. This research had field experiments with tree species recurrent in urban afforestation in the Cerrado, the individuals studied are located on the Campus of the Federal University of Mato Grosso do Sul, in Campo Grande – MS. For this, twelve arboreal individuals were monitored, using millimeter rain gauges to measure the amount of throughfall and the total precipitation at site. The twelve tree individuals are of the following species: 2 *Tabebuia roseoalba*, 3 *Handroanthus impetiginosus*, *Apeiba tibourbou*, 1 *Genipa americana*, 1 *Ficus benjamina*, 1 *Licania tomentosa*, 1 *Aspidosperma tomentosum*, 1 *Dimorphandra mollis* and 1 one from the *Terminalia* family. The observations show that there is a correlation between the projected canopy area and internal precipitation, being Oiti, *Lincaia tomentosa* with the lowest throughfall value – 11,25 mm/day - and Ipê-rosa, with the highest throughfall value - 18,25 mm/day.229. Concluded that the dendrometric characteristics directly influence the interception of rainwater, being necessary more studies to better correlate the characteristics of the trees and the interception capacity.

**Keywords:** Interception, Throughfall, afforestation, Cerrado.

# 1 INTRODUÇÃO

O combate e prevenção das inundações urbanas é um grande desafio no Brasil visto o contexto de crescimento demográfico, tendências de urbanização e mudanças climáticas (JHA; BLOCH; LAMOND, 2012). Quando a chuva é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume das águas escoam para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento acarretando as inundações.

O processo de interceptação da chuva é uma parte fundamental no ciclo hidrológico, podendo influenciar as demais componentes do ciclo (TSIKO et al., 2012a). As árvores nas áreas urbanas têm sido cada vez mais consideradas parte de um conjunto de práticas de infraestrutura verde usadas para gerenciar o escoamento de águas pluviais (SELBIG et al., 2022).

Oliveira Júnior e Dias (2005) e Alves (2019) elencaram que a interceptação pelas copas das árvores é, de fato, uma importante componente no ciclo hidrológico urbano, já que influencia na redistribuição da água da chuva, no amortecimento, no direcionamento e na retenção das águas que chegam ao solo. De forma análoga, XIAO et al. (2000) aponta que a arborização urbana desempenha um papel importante nos sistemas de drenagem das águas pluviais, em especial, devido à interceptação pelas copas das árvores.

Nos sistemas urbanos, a cobertura pelas copas é, na maioria das cidades brasileiras, descontínua, uma vez que as árvores são frequentemente isoladas e há alto número de variação de espécies, tipo de copa/folha e de suas características, o que torna a interceptação nestes ambientes difícil de ser medida e, ainda, mais complexa de ser prevista (GUEVARA-ESCOBAR *et al.*, 2007).

O processo de interceptação varia de acordo com os fatores climáticos - intensidade e volume precipitado, chuva antecedente, velocidade do vento, temperatura do ar, umidade do ar, e radiação solar - e característica da vegetação - altura e densidade da vegetação, capacidade de armazenamento, grau de desenvolvimento vegetal, características da casca, presença/ausência de líquens e fungos, padrões de ramificação da copa, e ângulo de inclinação dos ramos (SARI; DE PAIVA; DE PAIVA, 2016).

Indivíduos arbóreos esparsos também podem ter potencial significativo na detenção das águas pluviais. Silva (2018) observou valores de até 60% de interceptação em uma Sibipiruna, espécie comumente encontrada em áreas urbanas e de 50% para Tipuanas (*Tipuana tipu*). Outra árvore comumente utilizada na arborização urbana. Yang (2019) por sua vez, observou 35% de interceptação para Acácia do Japão (*Shapora japônica*), *Ginkgo biloba* 57 %, *Zelkova serrata* 20% e *Aesculus turbinata* com 30%. Enquanto Hassan (2017) verificou 48% na Azinheira (*Quercus ilex*).

Deste modo, entender como o processo de precipitação interna varia de acordo com os diferentes tipos de árvores, ajudará a tomada de decisão dos instrumentos de gestão pública a fim de reduzir o escoamento de águas pluviais em bacias hidrográficas urbanas (XIAO; MCPHERSON, 2011).

Abordagens experimentais podem ser importantes estratégias para melhor compreender o processo de interceptação por meio da precipitação interna de árvores típicas do bioma Cerrado brasileiro em um contexto de balanço hídrico urbano. Dentre os questionamentos que tais abordagens nos permitiriam responder, podemos destacar:

- i) A melhor compressão da precipitação interna da água da chuva pelas árvores;
- ii) O efeito da dendrometria na precipitação interna;

- iii) A importância do dimensionamento da precipitação interna em projetos de drenagem urbana.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O principal objetivo desta pesquisa é estudar o processo de interceptação por meio do detalhamento do processo de precipitação interna processo de precipitação interna em indivíduos arbóreos esparsos comumente encontrados em cidades inseridas no Bioma Cerrado.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar o processo de precipitação interna de indivíduos esparsos selecionados, comumente encontrados em cidades inseridas no Bioma Cerrado;
- Verificar o efeito das características das árvores esparsas na precipitação interna;
- Estudar a heterogeneidade da precipitação interna em diferentes árvores esparsas.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Ciclo hidrológico e balanço hídrico**

A característica essencial de qualquer volume de água superficial é a sua instabilidade e mobilidade. As relações entre as várias formas de ocorrência da água se processam dentro de um sistema fechado denominado ciclo hidrológico (UEHARA; JORGE, 1998). A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização (TUNDISI, 2003).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 1997). Apesar de ser um sistema fechado, não se pode classificá-lo como um fenômeno isolado, uma vez que resulta na interação entre processos hidrológicos, geomorfológicos e biológico (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

Os principais processos do ciclo hidrológico, Figura 1, são a condensação, precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial, escoamento subterrâneo, transpiração e evaporação (TUCCI, 2004). A divisão do ciclo e a nomeação de seus componentes facilitam estudar como a água e a energia entram no sistema e como estas são armazenados e liberados (ANDERSON, HENRY W.; HOOVER, MARVIN D. HOOVER; REINHART, 1976).

Os processos do ciclo hidrológico são interdependentes e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente e estão relacionados pelo balanço hídrico (REICHARDT; TIMM, 2004).

Rocha e Santos (2018) afirmam que a maioria dos estudos do ciclo hidrológico ocorrem na bacia hidrográfica. Na escala de bacia hidrográfica o balanço hídrico é o próprio ciclo hidrológico (CONSENSA, 2012).

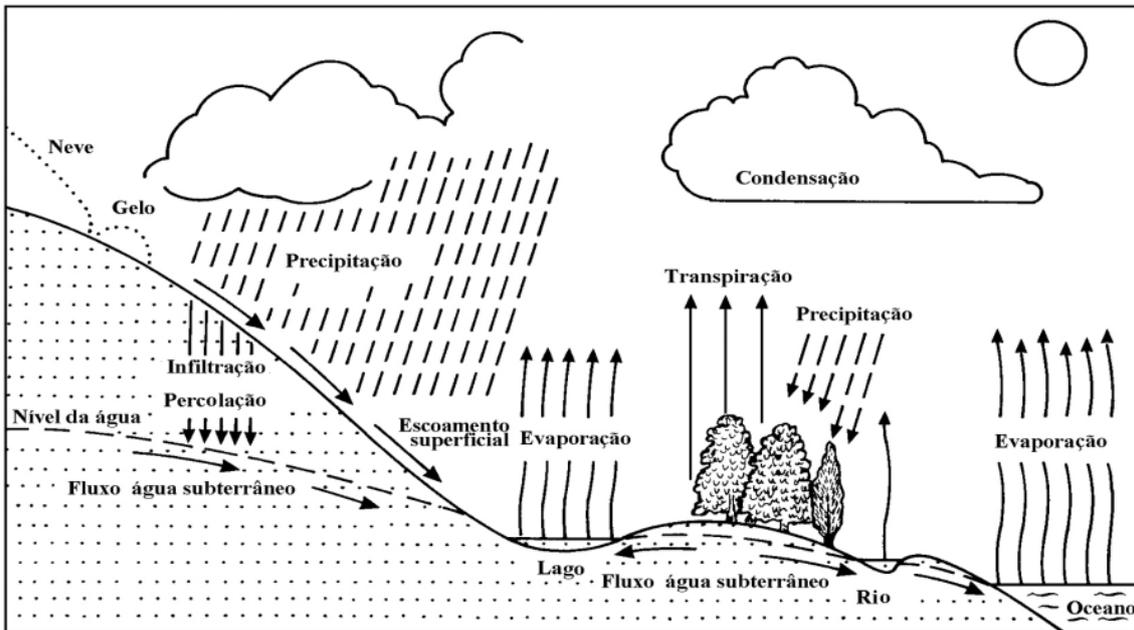


Figura 1 - Ciclo Hidrológico.  
 Fonte: Tucci, 2004.

O balanço hídrico é baseado na lei de conservação de massa que é aplicada para os fluxos de água que ocorrem em determinados intervalos de tempo e volumes em diferentes escalas (ANACHE, 2017). Para Uehara e Jorge (1998) corresponde a uma análise comparativa entre a quantidade de água que entra (*input*) e que sai (*output*) do sistema, levando-se em conta as variações das reservas hídricas superficiais e subterrâneas, durante o período de tempo adotado.

Pode, também, ser definido como um sistema contábil de monitoramento de água, baseado na lei de Conservação de Massa, segundo Righetto (1998), pode ser fundamentada pela equação geral:

$$\Delta S = V_E - V_S \quad (1)$$

Onde:  $V_E$  é a vazão de entrada,  $V_S$  é a vazão de saída e  $\Delta S$  a variação de armazenamento de água.

Desta forma, podemos destacar que o balanço hídrico é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um determinado sistema em um dado intervalo de tempo.

### **3.2 Precipitação**

Bertoni e Tucci (2004) definem a precipitação como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. É uma etapa do ciclo hidrológico, cuja forma mais frequente é a chuva, que ocorre quando o vapor d'água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas, é condensada e se agrupam formando as nuvens, as gotículas que se aglutinam até ter tamanho e peso suficiente para precipitar sob a forma de chuva, neve ou granizo.

A precipitação é um dos elementos meteorológicos que exerce maior influência sobre as condições ambientais. Além do efeito direto sobre o balanço hídrico, exerce influência indiretamente sobre outras variáveis ambientais (SORIANO; GALDINO, 2002).

Existem várias formas de precipitação, entre as mais comuns temos a precipitação pluvial ou chuva, granizo, nuvens, orvalho, geada e neve. Os eventos naturais desencadeados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração são conhecidos como inundações e enchentes. As características da chuva que interferem na formação de enchentes são: a intensidade, duração, frequência de ocorrência, a quantidade, a distribuição espacial e temporal e o tipo de chuva (GUANDIQUE; CARDOSO DE MORAIS, 2015).

As características da chuva influenciam na dinâmica do processo de interceptação e a capacidade de armazenamento da copa é parcialmente restaurada várias vezes durante um evento (SÁ, 2019).

Entre os fatores climáticos e meteorológicos, Horton (1919) verificou os efeitos da intensidade e duração da chuva e da velocidade do vento. Hewlett (1982) acrescentou a quantidade de eventos de chuva e o tempo decorrido entre eles. (Loshali e Singh (1992) complementou mencionando o volume de chuva, o tamanho da gota, o tipo de chuva (convectiva ou frontal) e a estação do ano.

A medição da precipitação pode ser realizada de diversas maneiras: pluviômetros manuais, pluviômetros automáticos convencionais, pluviômetros não convencionais. Bem como por radares meteorológicos e sensoriamento remoto. Cada qual com sua incerteza, característica, custo e particularidade.

### **3.3 Intercepção**

No ciclo hidrológico, após a precipitação o primeiro processo pela qual a água da chuva passa é a intercepção (TSIKO et al., 2012a), o autor afirma ainda que o processo pode influenciar nas demais etapas do ciclo tais como infiltração, armazenamento, escoamento subsuperficial, manutenção da umidade do solo e geração de cheia. A intercepção altera as características locais, afetando, por exemplo, a capacidade de infiltração, erosão e distribuição da umidade do solo, a geração de escoamento e ocorrência inundações (KEIM; SKAUGSET; WEILER, 2005; TSIKO et al., 2012b).

A intercepção pode ser definida de diferentes formas, como um armazenamento, um fluxo ou como um processo, o mais apropriado (SAVENIJE, 2004). Horton (1919), que foi pioneiro no estudo da intercepção pluviométrica e definiu a intercepção como sendo o volume perdido da precipitação que poderia estar disponível para o solo.

De fato, o que ocorre é que as águas da chuva ao atingirem as copas das árvores são fracionadas, parte é armazenada nas folhas e caules, parte transpassa a copa e vai direto ao solo. Quando o dossel é saturado ocorre, então, o escoamento pelo tronco e a gotejamento da chuva previamente armazenada nas folhas.

Assim, levando em conta o balanço hídrico, podemos seccionar a precipitação total que incide sobre indivíduos arbóreos em precipitação interna e o escoamento pelo tronco- precipitação total (PT) – sob indivíduos arbóreos em precipitação interna (PI) e a que escoo pelo tronco ( $E_{tronco}$ ), Figura 2.

A partir das definições acima, a interceptação pela copa de indivíduos arbóreos pode ser calculada por meio da seguinte equação:

$$\text{Interceptação} = PT - PI - E_{tronco} \quad (2)$$

Onde: PT é a precipitação total, PI é a precipitação interna e  $E_{tronco}$  é o escoamento pelo tronco.

O total de interceptação depende da natureza da cobertura vegetal e das características da precipitação como intensidade, duração, frequência, evaporação, além de outras variáveis (TOGASHI; MONTEZUMA; LEITE, 2012).

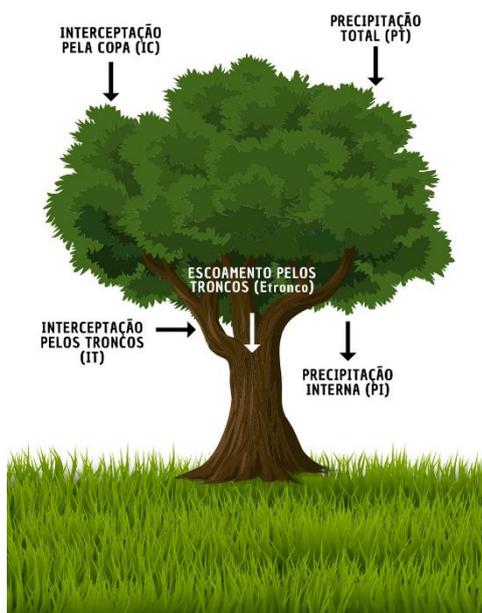


Figura 2 - Componentes da interceptação em árvores.  
Fonte: Autoria própria.

A interceptação pela copa das árvores pode não ser uma das componentes mais expressivas do balanço hídrico, todavia representa um processo significativo (ARNELL, 2002; TSIKO et al., 2012), principalmente em séries temporais mais longas, típicas de projetos urbanísticos.

Os estudos acerca da interceptação, no Brasil, geralmente são em áreas florestais. Giglio e Kobiyama (2013) realizaram uma revisão acerca dos estudos no Brasil e apontam mais de 42 trabalhos em áreas florestais em diferentes biomas. Se tratando de áreas urbanas, são escassos os trabalhos, tal qual o desenvolvido por da Silva (2010) e Alves (2015).

Silva (2010) estudou duas espécies de árvores – sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*) e tipuana (*Tipuana tipu*) – comumente utilizadas na arborização urbana. Concluiu que a arquitetura da copa, a quantidade de área foliar e de galhos influenciaram, diretamente, na interceptação da água da chuva. Observou interceptação média de 60,6% e 59,40% para sibipiruna e tipuana, respectivamente.

Alves (2015), por sua vez, estudou a capacidade de interceptação das copas de espécies de maior frequência na arborização urbana da cidade de Uruaçu/GO. Em eventos chuvosos com mediana de 16,7mm de precipitação acumulada, os valores medianos de interceptação encontrados em cada espécie foram: *Mangifera indica* (Mangueira) – 8,0mm; *Pachira aquática* (Monguba) - 7,4mm; *Licania tomentosa* (Oiti) – 7,2mm; e, *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna) - 4,8mm.

### **3.3.1 Precipitação Interna**

A precipitação interna representa a porção da precipitação total que atinge o solo diretamente sem sofrer a influência de obstáculos mais a parte que sofre a influência de folhas e galhos, mas também chegará ao solo por gotejamento.

Sua quantificação é importante para diversos estudos, entre os quais: determinação das perdas por interceptação, modelagens hidrológicas e análise de geração do escoamento superficial, erosão do solo, distribuição da umidade nas florestas e entrada de solutos e água nos ecossistemas florestais.(SARI; PAIVA; PAIVA, 2015)

Este componente do ciclo hidrológico apresenta elevado grau de variabilidade temporal e espacial (BALBINOT et al., 2008) devido à interação de fatores bióticos e meteorológicos, que atuam mutuamente sobre a partição da precipitação (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; LEVIA; FROST, 2006).

Segundo Lloyd (1988) a distribuição dos valores de chuva interna era muito mais ampla em planície de floresta amazônica, cerca de 0-200% da precipitação total, do que em uma floresta de pinus em clima temperado, cerca de 0-100% da precipitação total.

Para Oliveira Júnior (2005) os valores de precipitação internavariam, principalmente em virtude da quantidade, diversidade e idade de espécies, nível de inclusão do diâmetro à altura do peito, tipo de coletor de escoamento pelo tronco, arquitetura e forma de copa, estratificação das copas, filotaxia, tipo de folha, tamanho e forma da folha, tipo de casca e irregularidades no tronco. Dessa forma, a compreensão e entendimento da relação entre os componentes estruturais da vegetação e a precipitação interna têm papel chave na gestão de recursos hídricos (LEVIA; FROST, 2006).

Consensa (2012) traz que a estimativa exata da precipitação interna é muito difícil, sendo medida com uma variedade de dispositivos, de diversos tamanhos, com calhas de vários tamanhos, coletor plástico e padrão de medição de chuva.

### **3.3.2 Escoamento pelo tronco**

Os valores de escoamento pelo tronco ( $E_{\text{tronco}}$ ) apresentam pequena contribuição no processo de interceptação, uma vez que, a interceptação pelas copas é o

componente dominante. Geralmente, o  $E_{\text{tronco}}$  corresponde apenas a de 1 a 5% dos totais precipitados (HORTON, 1919; LIMA; NICOLIELO, 1983), sendo assim muito baixo e pouco representativo. (TOGASHI; MONTEZUMA; LEITE, 2012) Sendo tratado como não representativo, uma vez que os erros cometidos nas leituras superam os seus próprios valores, sendo negligenciado por alguns autores.

### **3.4 Intercepção pelas árvores no contexto urbano**

No contexto urbano, geralmente a intercepção é um fator subestimado. Poucos são os estudos que relacionam as intercepções das chuvas pelas árvores aos modelos hidrológicos de bacias (ALVES; FORMIGA, 2019). A modelagem dos processos de intercepção e a interação desses processos com demais processos hidrológicos e com o clima, deveriam ser considerados nos modelos ambientais mais complexos, tais como os modelos de chuva-vazão, sendo necessário para isso mais investigação para melhor entendimento sobre o processo de intercepção Chaffe et al. (2010), a maior investigação do processo de intercepção para colocá-lo na modelagem comumente usada - chuva-vazão.

A intercepção pelas copas das árvores é um componente importante, pois influencia na redistribuição da água da chuva, no amortecimento, no direcionamento e na retenção das águas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração (OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada dentro do campus da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) no município de Campo Grande - MS ( $20^{\circ}29'54.12''$  S,  $54^{\circ}36'15.60''$  W), também conhecido como Cidade Universitária (Figura 3).

A área está situada dentro de fragmentos do Bioma Cerrado, o qual de acordo com a classificação de Köppen o clima é Aw (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), com a estação chuvosa iniciando em outubro e finalizando em maio. A precipitação média anual é de aproximadamente 1500 mm/ano (KAUFMANN DE ALMEIDA et al., 2017).

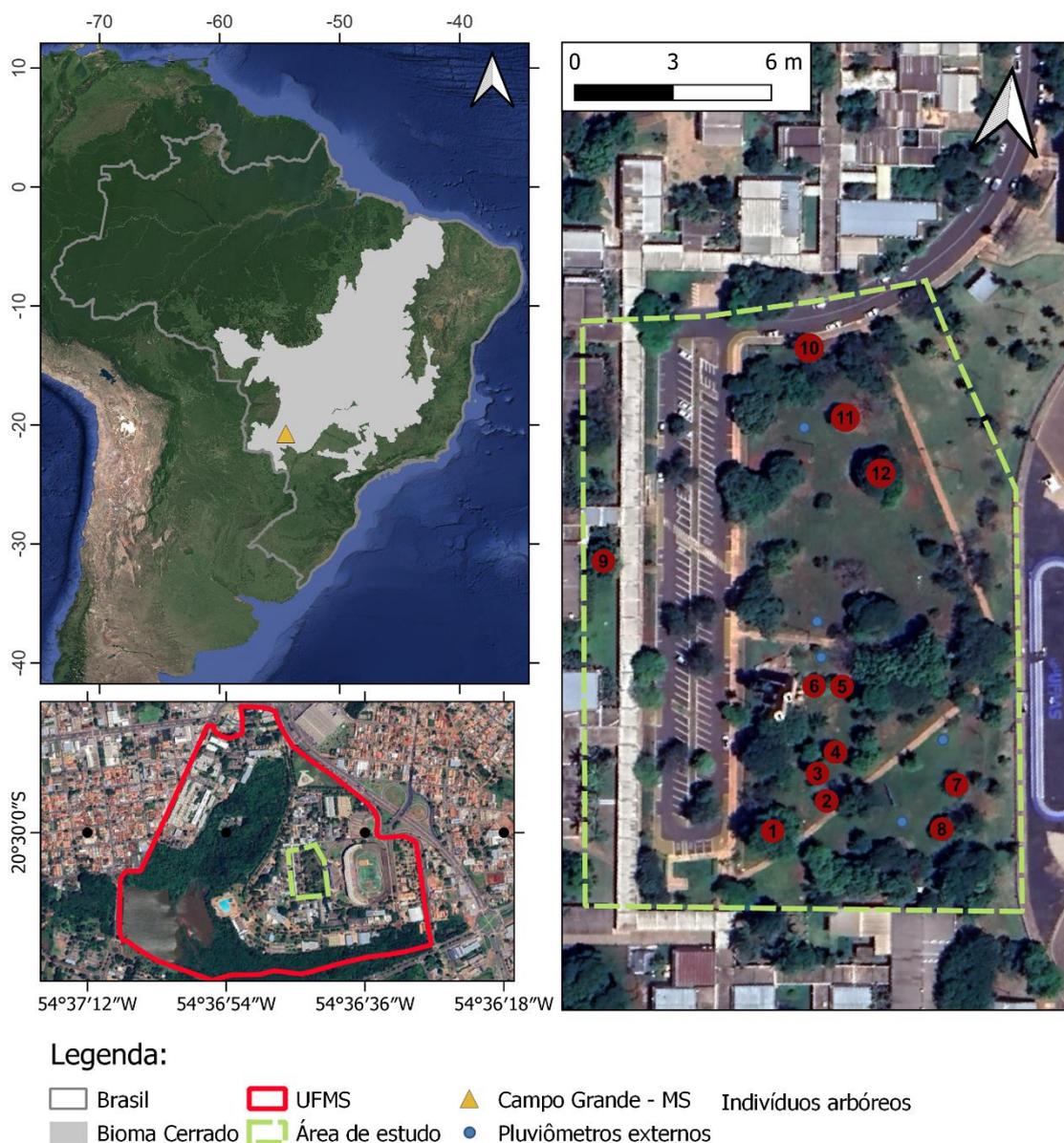


Figura 3 - Área de estudo.  
Fonte: própria.

## 5 MATERIAL E MÉTODO

### 5.1 Seleção e identificação dos indivíduos

Foram selecionados 12 indivíduos sendo 3 das espécies *Handroanthus impetiginosus* (Ipê-Rosa), 2 *Tabebuia roseoalba* (Ipê-branco), 1 *Apeiba tibourbou* (Pente de Macaco), 1 *Genipa americana* (Genipapo), 1 *Licania tomentosa*, 2 *Aspidosperma tomentosum* (Peroba), *Dimorphandra mollis* (Faveira), 1 *Ficus benjamina* (Figueira), 1 indivíduo do gênero *Terminalia*, o qual não foi possível determinar a espécie.

A escolha dos indivíduos levou em consideração critérios como: distância suficiente para não haver contato entre as copas de indivíduos próximos; localização na mesma área do campus para facilitar a logística experimental; indivíduos com diversidade de tamanhos, a fim de trazer uma variedade das características observadas.

### 5.2 Instrumentação e período de monitoramento

O monitoramento das precipitações foi realizado por meio da instalação de pluviômetros milimetrado (Figura 4), tendo sido aferido manualmente no dia seguinte à ocorrência de eventos chuvosos. Com o intuito de padronizar os procedimentos, a realização da leitura diária foi realizada às 6:00 (manhã).



Figura 4 - Pluviômetro milimetrado.  
Fonte: Autor.

O experimento foi realizado nos períodos entre dezembro de 2020 e março de 2021 e entre novembro de 2021 e fevereiro de 2022, ambos no período chuvoso na referida área de estudo. Foram monitorados, ao todo, 54 eventos.

### **5.2.1 Precipitação total**

A série de dados de chuva externa foi obtida por meio de cinco pluviômetros, instalados com o auxílio de estacas de 50 cm, dentro da área de estudo. Os pluviômetros forneceram o volume acumulado da precipitação total, sendo a leitura realizada diariamente após cada evento de chuva. Vale ressaltar que os pluviômetros externos funcionaram como a referência para a comparação dos registros coletados pelos equipamentos instalados sob a copas.

### **5.2.2 Precipitação interna**

Assim como a precipitação total, a precipitação interna foi monitorada com o auxílio de pluviômetros milimetrados, sendo distribuídos seis destes sob a copa de cada um dos indivíduos estudados. Foram posicionados em dois círculos concêntricos com um terço e dois terços do raio da copa de cada indivíduo, Figura 5.

A distribuição no entorno do tronco foi inspirada na metodologia usada por Valente (2020) - que ao estudar a interceptação das águas pluviais em uma única oliveira (*Olea europea L.*), distribuiu 24 pluviômetros posicionados em três círculos concêntricos, centrados no tronco da árvore – a metodologia foi adaptada às características do presente estudo.

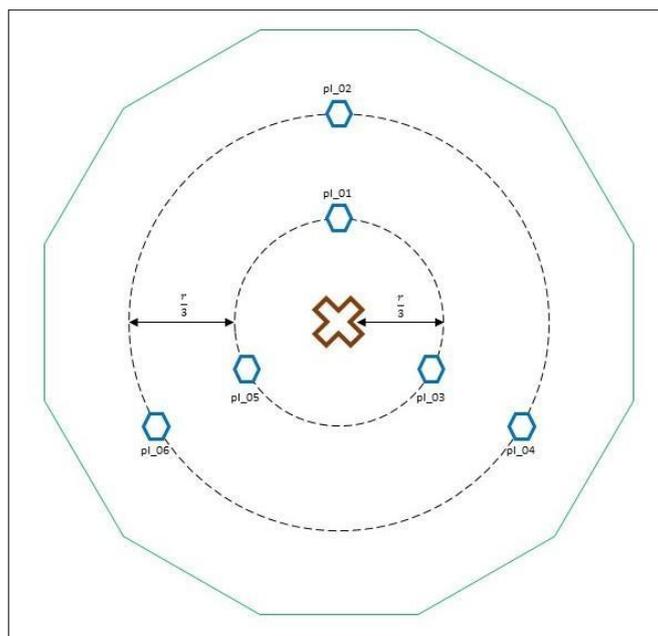


Figura 5 – Distribuição, sob as copas das árvores, dos pluviômetros para obtenção da precipitação interna.

Fonte: própria.

### 5.2.3 escoamento pelo tronco

Conforme apresentado no item 3.3.2, os valores para o escoamento pelo tronco variam entre 1% e 5% da precipitação total. Por essa razão, associada à dificuldade de medir o escoamento de tronco, este estudo desconsiderou-o.

### 5.3 Dendrometria

De acordo com (Silva e Paula Neto (1979) as medidas podem ser classificadas como diretas e indiretas. Quando são realizadas medidas diretas, faz-se, na realidade, uma determinação, enquanto as indiretas se referem à estimativa (medição aproximada). Neste trabalho utilizou-se de medidas diretas para altura, projeção da copa e circunferência à altura do peito.

A aplicação mais comum da dendrometria no Brasil tem sido a medição de árvores em pé, com o objetivo de determinar o volume de madeira e, portanto, o seu valor comercial (DURIGAN; OLIVEIRA, 1992).

Segundo Spurr (1952) três fatores governam a escolha das medidas a serem realizadas nas árvores: a facilidade e a velocidade que as medidas podem ser realizadas; a exatidão com que podem ser feitas e a correlação entre as medidas e as características às quais se desejam uma estimativa.

. Em campo, foram determinadas a altura de cada indivíduo com o auxílio de trena e inclinômetro, assim como circunferência na altura do peito e diâmetro médios de copa - sendo necessários para as análises das características dos indivíduos arbóreos e seus desempenhos, quanto as intercepções. Esses dados foram necessários para as análises das características dos indivíduos arbóreos e seus desempenhos, quanto às intercepções.

As características selecionadas são as com maior frequência utilizadas para quantificação e mensuração nas publicações sobre arborização no Brasil. (OLIVEIRA; TAVARES, 2012).

Determinou-se, também, a área de projeção da copa das árvores a qual foi obtida a partir de fotografias realizada por drone e posteriormente processadas em um sistema de informação geográfica (SIG).

#### **5.4 Análise estatística de dados**

A normalidade dos dados foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk considerando um intervalo de confiança de 95%. Assim, foi constatada a necessidade de aplicação de técnicas não paramétricas de análise estatística, uma vez que os dados não apresentam a distribuição normal. Todas as análises estatísticas foram realizadas com a utilização da linguagem de programação *Python*, e pacotes específicos para análise de dados e estatística (*Numpy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Scikitlearn e Scipy*).

Para verificar o efeito das características das árvores esparsas na intercepção da precipitação, foi calculada uma matriz de correlação de *Spearman* entre

as medianas da interceptação dos indivíduos monitorados e as diversas características levantadas (altura, diâmetro da copa, diâmetro do tronco na altura do peito).

Foi realizada, também, a análise hierárquica de *Cluster*, AHC Análise de Agrupamento Hierárquico (*Agglomerative Hierarchical Clustering*), para agrupar os indivíduos monitorados de acordo com a precipitação interna. Para tanto utilizou-se o método de Ward, que segundo Hair et al. (2005) consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Os resultados foram expressos na forma gráfica por dendrograma.

Com o intuito de compreender a correlação entre a precipitação interna e total, utilizou-se do teste Wilcoxon-Mann-Whitney para verificar se existia diferença significativa entre elas e o potencial para interceptação. O teste é utilizado em substituição ao teste t de *Student* para amostras pareadas, quando os dados não são normalmente distribuídos.

Por fim, considerando que foram monitoradas as precipitações internas em regiões próximas à área central e às extremidades das copas, foi possível estudar a heterogeneidade da interceptação nas diferentes árvores esparsas monitoradas. Assim, foi aplicado, também, o teste de Mann-Whitney para verificar se as medianas de precipitação interna de regiões centrais e extremidade das copas das árvores são iguais ou diferentes.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterização dos indivíduos arbóreos

As medidas observadas dos indivíduos foram tomadas no começo do experimento, sendo apresentadas na Tabela 1, os indivíduos foram ilustrados na Figura 6. Os parâmetros utilizados são os mais utilizados nas pesquisas

Tabela 1 - Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa.

Indivíduo	Espécie	Nome Popular	DAP	CAP	H <sub>total</sub>	DMC
1	<i>Terminalia</i> *		0,62	1,95	29,32	19,94
2	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	0,15	0,48	6,98	5,60
3	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	0,24	0,75	12,65	6,30
4	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	0,18	0,55	10,63	5,94
5	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	0,13	0,40	8,4	5,08
6	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	0,16	0,49	9,5	6,00
7	<i>Apeiba tibourbou</i>	Pente de Macaco	0,30	0,95	11,58	7,76
8	<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	0,56	1,77	6,46	8,64
9	<i>Ficus benjamina</i>	Figueira	0,48	1,52	16,36	10,24
10	<i>Licania tomentosa</i>	Oiti	0,38	1,20	11,05	5,42
11	<i>Aspidosperma tomentosum</i>	Peroba	0,54	1,70	13,07	4,63
12	<i>Dimorphandra mollis</i>	Faveira	0,55	1,74	18,78	7,50

Legenda: \*foi possível determinar apenas a gênero do indivíduo; DAP (m): diâmetro a altura do peito; CAP (m): circunferência a altura do peito; H<sub>total</sub> (m): altura total da árvore; DMC (m): diâmetro médio de copa. Fonte: própria.

Os parâmetros escolhidos estão entre os mais utilizados para pesquisa de interceptação das águas pluviais pelas árvores. Pflug (2021) ao estudar o efeito da altura e características de 10 espécies arbóreas utilizou dos parâmetros diâmetro médio de copa, altura do indivíduo, diâmetro a altura do peito. Jiang (2021) por sua vez ao analisar a partição de chuva e alteração química associada em três espécies arbóreas utilizou-se dos parâmetros de diâmetro na altura do peito, área basal, altura da árvore, área projetada da coroa e a relação entre a altura do dossel e a largura.



Figura 6 - Identificação dos exemplares arbóreos sob os quais foram instalados os pluviômetro, durante o período de coleta de dados. Sendo: 1 – *Terminália*, 2 – *Tabebuia rosealba*; 3 - *Handroanthus impetiginosus*; 4 - *Handroanthus impetiginosus*; 5 - *Tabebuia rosealba*; 6 - *Handroanthus impetiginosus*; 7 - *Apeiba tibourbou*; 8 - *Genipa americana*; 9 - *Ficus benjamina*; 10 - *Licania tomentosa*; 11 - *Aspidosperma tomentosum*; 12 - *Dimorphandra mollis*.

## 6.2 Precipitação total

Durante toda a fase experimental foram obtidos os dados de precipitação total com variações de entre 1 mm até 74 mm. Do período total foram realizadas aferições 54 vezes. Para análise dos dados, foram utilizadas apenas 18 coletas, realizadas entre 20 de novembro de 2021 e 28 de fevereiro de 2022, uma vez que as demais coletas apresentaram falhas e nem todos os indivíduos poderiam ser comparados. Então, a fim de trabalhar com uma série de dados homogêneos, quando, por quebra de pluviômetro, retirada para capina da área, dentre outros motivos, não foi possível coletar dados de todas os indivíduos monitorados, os dados foram descartados da análise.

A distribuição de frequência do total de precipitação total acumulado em cada um dos eventos estudados é apresentada na Tabela 2 e sua distribuição temporal na Figura 7.

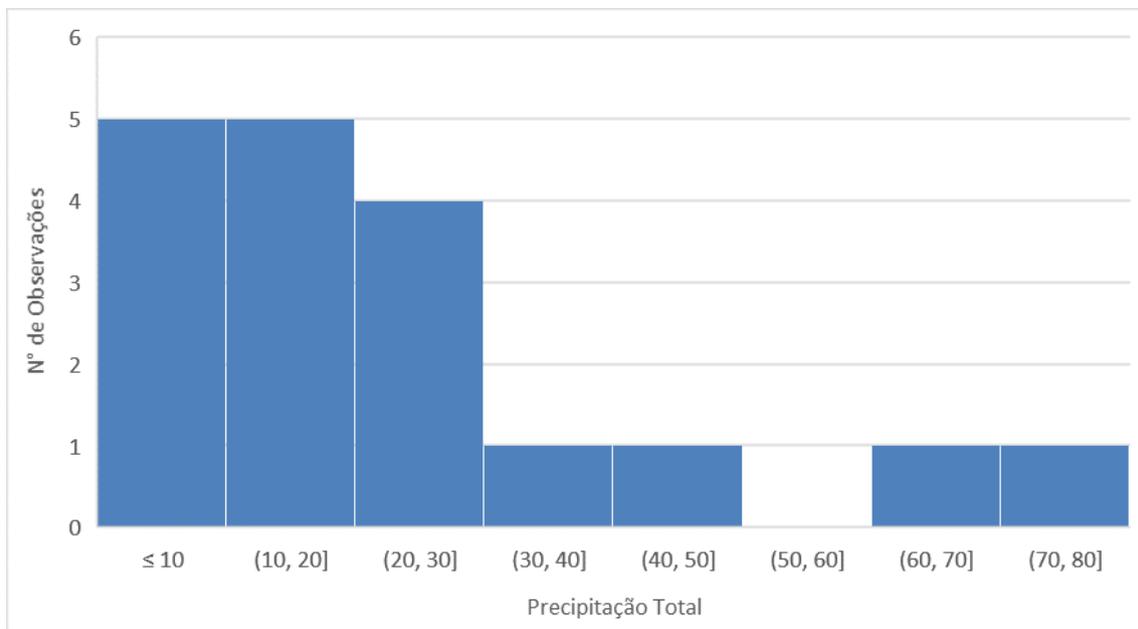


Figura 7 - Histograma dos eventos.

Fonte: própria.

Na Tabela 2, estão apresentados os dados de precipitação total dos eventos analisados, com a mediana da precipitação total acumulada de 15,5 mm de precipitação total de água da chuva.

Tabela 2 – Precipitação total (PT) por evento.

<b>Evento</b>	<b>PT (mm/dia)</b>
1	41
2	3
3	15
4	1
5	12
6	36
7	25
8	75
9	22
10	1
11	70
12	9
13	7
14	25
15	29
16	13
17	16
18	12

Fonte: própria.

### **6.3 Precipitação interna**

Com as leituras da precipitação interna dos 6 pluviômetros instalados em cada árvore, não foi encontrada normalidade nos dados obtidos e, portanto, apenas as medianas foram consideradas para análise. A Tabela 3 apresentadas medianas das precipitações interna (mm) observadas, em relação a precipitação total (mm).

A quantificação da precipitação interna deveria, preferencialmente, ser realizada após cada evento de chuva, como diversos pesquisadores costumam fazer ao analisar interceptação da precipitação por árvores ( SILVA et al., 2010; LIMA, 1998;

XIAO; MCPHERSON, 2011), no entanto, devido às limitações do presente projeto foi inviável a leitura após todo evento de chuva.

Dos 216 valores medianos provenientes das leituras realizadas nos pluviômetros posicionados abaixo da copa das árvores, 63 apresentaram dados de precipitação interna superiores à precipitação total. Isso se justifica, segundo Loescher; Powers e Oberbauer (2002) devido ao fato de que o volume de precipitação interna pode ultrapassar o da precipitação total pelo efeito de afunilamento. Tais observações podem ser justificadas ainda pelas características incomuns entre as espécies, tais como a tipologia das folhas, a idade dos indivíduos, bem como diversas outras interferências ambientais e humanas, relacionadas às doenças e podas realizadas nos indivíduos arbóreos. Na Tabela 3, destacado em vermelho as PI's superiores a precipitação total, em amarelo as PI's iguais a precipitação total e em azul as PI's inferiores a precipitação total.

Tabela 3 – Mapa de Calor da mediana da precipitação interna (mm), onde PT é a precipitação total.

		Indivíduos											
Evento	PT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	41	24,5	41	30,5	34,5	32,5	30	30,5	35,5	30	28,5	38	27,5
2	3	1	1,5	1,5	2	2	1,5	3	2	1	2	2	1
3	15	12,5	11,5	13	12,5	13,5	12,5	9	14,5	10,5	15	14	13
4	1	1	1,5	1	1	1,5	1	0	1	0	0	0	0
5	12	10,5	13,5	11,5	11,5	11,5	13,5	12	13,5	13	10,5	15	10
6	36	22	31,5	26	26	29,5	39	37,5	45,5	30	31,5	34,5	27,5
7	25	19,5	24,5	27	28,5	27,5	24,5	26,5	21	24,5	29	32,5	27
8	75	70	72,5	61	68	78	72	60,5	63,5	81	70	110	83,5
9	22	17	23	20	22,5	24	18	25	17	19,5	24,5	21	20
10	1	0	2	2	2	3	4	2	1	0	0	0	0
11	70	54,5	70,5	59	70	67	80	70	64,5	68	56,5	83,5	60
12	9	6	9	8,5	11	10	10	5	8	12	5,5	14,5	10
13	7	4	5,5	5	6,5	6,5	7	9	5,5	5	6	4,5	3,5
14	25	19	21	19,5	22	26,5	29	20	20,5	20,5	12	26	20
15	29	26	30	30	30,5	33	34	22	29	29,5	22	35,5	32,5
16	13	5,5	11,5	9	10	11	15	8,5	8,5	8	5	9	5
17	16	11,5	15	19	22,5	20	19	13,5	14	15,5	10	20,5	14
18	12	7	13	12	14,5	13	12	14	11	7	8	5	7

Fonte: própria.

Os valores de precipitação interna superiores indicam que a chuva interna é concentrada em certos pontos (pontos de gotejamento), nos quais o volume de chuva interna coletado é maior do que em outros lugares (SHUTTLEWORTH, 1989). Na Figura 8, é possível observar que as árvores 1 (*Terminalia*) e 10 (Oiti) apresentaram medianas de precipitação interna acumuladas inferiores aos demais indivíduos. Podemos destacar ainda que o indivíduo 10 (Oiti) pela menor mediana de precipitação interna (11,5 mm) e o indivíduo 4 (Ipê Rosa) pela maior mediana de precipitação interna (17,5 mm).

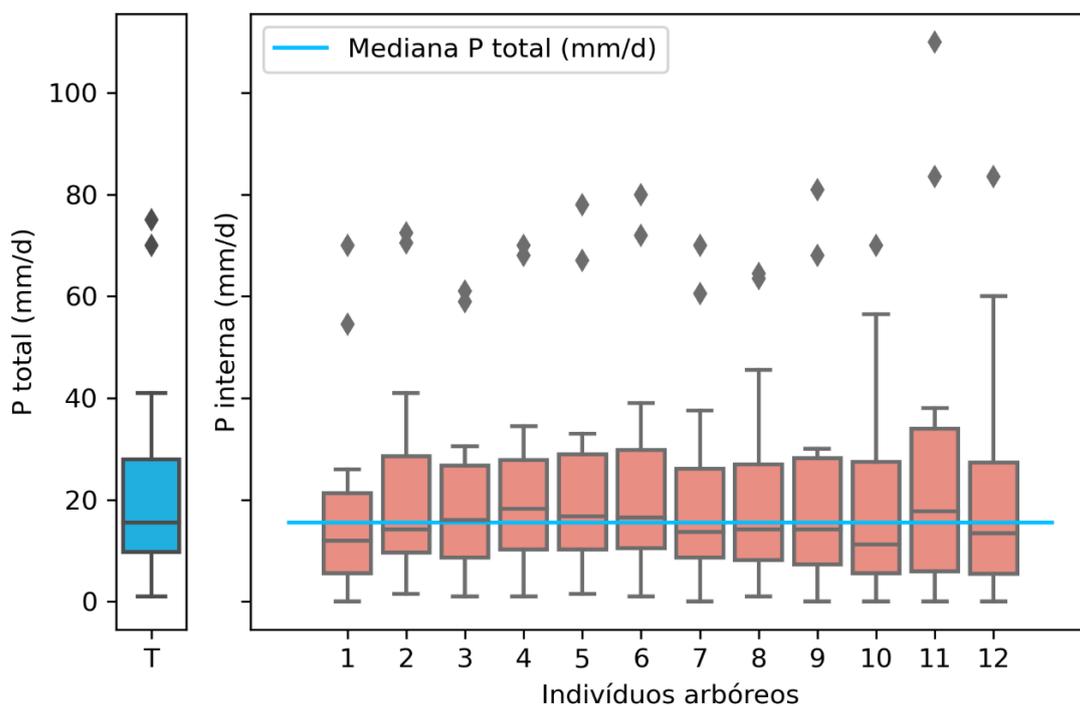


Figura 8 - Boxplot das precipitações internas (PI) e precipitação total (PT) em cada um dos 12 indivíduos.  
Fonte: própria.

Verificou-se que a Precipitação interna dos indivíduos 1, 3, 7, 8, 9, 10 e 12 foi estatisticamente diferente da Precipitação total (Tabela 4), o que indica que de fato os fatores biológicos destes indivíduos – característica das folhas, distribuição espacial, arquitetura afetam a interceptação da chuva e a redistribuição espacial, como afirma Xiao e Mcpherson (2011).

Três dos indivíduos com mediana da precipitação interna superior a precipitação total são ipês, dos gêneros *Tabebuia* e *Handroanthus*, ambos da família

*Bignoniaceae*, apesar da época chuvosa coincidir com o período de manutenção das folhas destes indivíduos, a sua pequena estatura e projeção de copa, conforme Tabela 1 e Figura 6, foram predominantes para os valores obtidos.

Tabela 4 - Medianas da PI.

Indivíduo	Nome científico	Nome Popular	Mediana da PI	PT
1	<i>Terminalia</i> *		12,00 <sup>b</sup>	
2	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	14,25 <sup>a</sup>	
3	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	16,00 <sup>b</sup>	
4	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	18,25 <sup>a</sup>	
5	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	16,75 <sup>a</sup>	
6	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	16,50 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
7	<i>Apeiba tibourbou</i>	Pente de Macaco	13,75 <sup>b</sup>	
8	<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	14,25 <sup>b</sup>	
9	<i>Ficus benjamina</i>	Figueira	14,25 <sup>b</sup>	
10	<i>Licania tomentosa</i>	Oiti	11,25 <sup>b</sup>	
11	<i>Aspidosperma tomentosum</i>	Peroba	17,75 <sup>a</sup>	
12	<i>Dimorphandra mollis</i>	Faveira	13,50 <sup>b</sup>	

Legenda: \*foi possível determinar apenas a gênero do indivíduo; mediana da precipitação interna (mm/dia). Letras idênticas indicam diferença não significativa entre as medianas da precipitação interna e total ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ). (Conclusão)

Fonte: própria.

No Cerrado, bioma que a área de estudo está inserida, possui diversas interpretações, sendo que geralmente designa a vegetação xeromorfa arbórea, arbustiva, savânica e campestre do Brasil Central (EITEN, 1978). O Cerrado pode ser classificado em vários tipos fitofisionômicos enquadrados em formações florestais, savânicas e campestres.

Alguns estudos como o de Honda (2013) demonstram que para regiões de Cerradão, Cerrado típico e Cerrado denso uma porcentagem de Precipitação Líquida – precipitação interna somada ao escoamento pelo tronco -, respectivamente, de 80%, 95% e 89%. Os valores observados são condizentes com os obtidos nesse estudo conforme a tabela abaixo. A variação é justificada por se tratar de indivíduos esparsos e não um fragmento de vegetação nativa, como no estudo realizado por Honda, e nos principais estudos de interceptação de água das chuvas.

Tabela 5 - Porcentagem da precipitação interna.

Ind.	Espécie	Nome Popular	PI/PT (%)
1	<i>Terminalia*</i>		77,4
2	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	91,9
3	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	103,2
4	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	117,7
5	<i>Tabebuia roseoalba</i>	Ipê-Branco	108,1
6	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê-Rosa	106,5
7	<i>Apeiba tibourbou</i>	Pente de Macaco	88,7
8	<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	91,9
9	<i>Ficus benjamina</i>	Figueira	91,9
10	<i>Licania tomentosa</i>	Oiti	72,6
11	<i>Aspidosperma tomentosum</i>	Peroba	114,5
12	<i>Dimorphandra mollis</i>	Faveira	87,1

Legenda: \*foi possível determinar apenas a gênero do indivíduo.

Fonte: Própria.

Buscando um melhor entendimento dos eventos pluviométricos em relação as precipitações internas, realizou-se a Análise de Agrupamento Hierárquico, a fim de correlacionar os indivíduos e suas características dendrométricas. A formação de 3 grupos distintos expressa a alta variabilidade dos dados obtidos. Os resultados mostram que uma alta similaridade entre as árvores de mesma espécie, caso dos indivíduos 3 e 4 (*Handroanthus Impetiginosus*- Ipê Rosa) e os indivíduos 2, 5 (*Tabebuia roseoalba* – Ipê Branco) e 6 (*Handroanthus Impetiginosus*- Ipê Rosa).

O indivíduo 11 (*Aspidosperma tomentosum* – Peroba), por sua vez, é o mais assimétrico em relação aos demais, o que pode ser justificado pelos dados dendrométricos, sendo a árvore que possui o menor diâmetro de copa (4,63 m) e elevada altura total (13,07 m), na Figura 6 é possível observar ainda que o indivíduo não possui a copa bem definida, o que pode ser um dos fatores desta diferença.

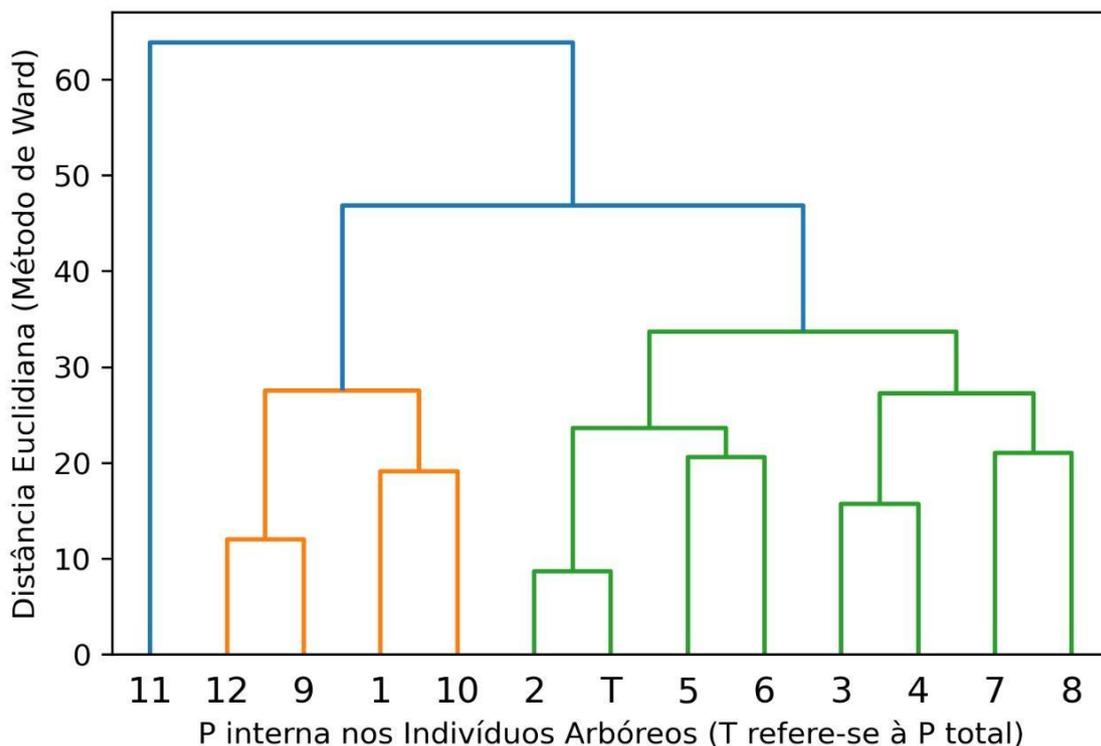


Figura 9 - Distância Euclidiana (Método de Ward) da precipitação interna (PI) entre os diferentes indivíduos arbóreos.  
 Fonte: própria.

#### 6.4 Efeitos das Características

Com a finalidade de correlacionar os parâmetros dendométricos foi usado o Coeficiente de *Spearman*. Para classificação foi utilizada a metodologia adaptada desenvolvida por Shikamura (2006),o qual atribuiu um valor quantitativo aos valores numéricos do coeficiente encontrado.

Tabela 6- Tabela de Classificação de Coeficiente.

Valor de (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Shikamura, 2006 (adaptado).

A correlação aponta uma relação moderada entre a precipitação interna e os parâmetros dendométricos, com destaque para área de projeção de copa que teve uma correlação moderada de -0,65. Nesse sentido, entende-se que quanto maior o porte do

indivíduo, maior o seu potencial de interceptação (menor precipitação interna). Entretanto, outras características, como índice de área foliar, devem também ser avaliados em estudos futuros.

Tabela 7 – Matriz de correlação entre precipitação interna e características dos indivíduos.

	Área	DAP	CAP	Htotal	DMC	Pi
Área	1*					
DAP	0,92*	1*				
CAP	0,92*	1*	1*			
Htotal	0,69*	0,57*	0,57*	1*		
DMC	0,75*	0,57*	0,57*	0,37	1*	
Pi	-0,65*	-0,49*	-0,49*	-0,51*	-0,57*	1*

Legenda: Área (m<sup>2</sup>): área de projeção da copa da árvore; DAP (m): diâmetro a altura do peito; CAP (m): circunferência a altura do peito; Htotal (m): altura total da árvore; DMC (m): diâmetro médio de copa. \*indica correlação significativa (P-valor < 0,05).

Fonte: própria.

A importância do estudo de outras características é evidente ao constatar que o indivíduo 10, *Licania tomentosa*, que possui o menor valor de precipitação interna, não apresenta uma área de copa elevada o que era de se esperar visto que é o parâmetro que possui maior correlação com a precipitação (Tabela 8).

Esse fato ocorre devido às características incomuns entre as espécies, tais como: a tipologia das folhas; idade dos indivíduos; localização das árvores; bem como diversas outras interferências ambientais e humanas, como doenças e podas.

Tabela 8 - Valores de diâmetro a altura do peito, mediana da precipitação interna, altura, diâmetro e área de copa das espécies estudadas.

Ind.	Espécie	PI (mm/di a)	DAP (m)	Altura (m)	Copa	
					Diâmetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	<i>Terminalia</i> *	12,00	0,62	29,32	19,94	1.784,14
2	<i>Tabebuia roseoalba</i>	14,25	0,15	6,98	5,60	162,14
3	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	16,00	0,24	12,65	6,30	314,88
4	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	18,25	0,18	10,63	5,94	294,84
5	<i>Tabebuia roseoalba</i>	16,75	0,13	8,40	5,08	154,89
6	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	16,50	0,16	9,50	6,00	248,01
7	<i>Apeiba tibourbou</i>	13,75	0,3	11,58	7,76	442,73
8	<i>Genipa americana</i>	14,25	0,56	6,46	8,64	565,98
9	<i>Ficus benjamina</i>	14,25	0,48	16,36	10,24	1.172,94
10	<i>Licania tomentosa</i>	11,25	0,38	11,05	5,42	403,92
11	<i>Aspidosperma tomentosum</i>	17,75	0,54	13,07	4,63	366,68
12	<i>Dimorphandra mollis</i>	13,50	0,55	18,78	7,50	1.464,46

## 6.5 Heterogeneidade da precipitação interna nas árvores esparsas

A distribuição dos pluviômetros em dois círculos concêntricos a partir do tronco das árvores permitiu a comparação da precipitação interna dos pluviômetros centrais (distante 1/3 do raio da copa) e nas extremidades (distante 2/3 do raio da copa).

Conforme esperado, os valores obtidos nos pluviômetros centrais apresentam na maioria das vezes, 9 dos 12 indivíduos, valores inferiores aos obtidos nas extremidades, uma vez que estão menos suscetíveis as intempéries do vento o qual contribui para precipitação direta, ao agitar os galhos a água ali parada é direcionada ao solo.

Na busca em algumas das principais bases de dados - *Scielo, Scopus e Web of Science* - poucos são os trabalhos que correlacionam as medidas de precipitação interna em extremidade e centro. Da Silva (2010) estudou duas espécies de árvores comumente encontradas na urbanização, tipuanas e sibipirunas, e observou que ambas tiveram alta variabilidade à média de interceptação da chuva, tanto na extremidade como no centro da copa, o que vai ao encontro como o observado neste estudo.

Novamente, destaca-se o indivíduo 11, *Aspidosperma tomentosum* – Peroba, que possui uma grande precipitação interna central, o que se justifica entre tantas coisas as características dos indivíduos, aliado a análise de agrupamento hierárquico realizada no item anterior. Bem como as árvores 1 e 10 que possuem as maiores copas, respectivamente 19,64 m e 10,25 m, possuem os menores valores para precipitação interna.

Tabela 9 – Precipitação interna no centro e na extremidade para cada um dos indivíduos.

Indivíduos	Mediana (mm/dia)	
	PI - Centro	PI - Extremidade
1	10,5 <sup>a</sup>	13,5 <sup>b</sup>
2	15,0 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
3	17,0 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
4	18,0 <sup>a</sup>	17,5 <sup>b</sup>
5	17,0 <sup>a</sup>	18,0 <sup>b</sup>
6	15,0 <sup>a</sup>	18,0 <sup>b</sup>
7	12,0 <sup>a</sup>	15,5 <sup>b</sup>
8	13,5 <sup>a</sup>	17,5 <sup>a</sup>
9	14,0 <sup>a</sup>	14,5 <sup>a</sup>
10	11,0 <sup>a</sup>	11,5 <sup>b</sup>
11	18,5 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
12	13,5 <sup>a</sup>	13,5 <sup>a</sup>

Letras idênticas indicam diferença não significativa entre as medianas da precipitação interna e total ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ).

Fonte: própria.

Observou-se que não há um comportamento semelhante entre a precipitação interna central e nas extremidades para 6 indivíduos - tais sejam 1, 4, 5, 6, 7, 10 – enquanto os indivíduos 2, 3, 8, 9, 11 e 12 apresentaram comportamento similar em toda a projeção da copa.

A precipitação interna apresenta alta variabilidade e requer a utilização de vários pluviômetros abaixo da copa para minimizar esse feito. O uso de uma quantidade considerável de pluviômetros é recomendável para o cálculo da média nos espaços em que ocorre concentração de gotas de água, em certos pontos em detrimento de outros (REGALADO; RITTER, 2010).

Essa alta variabilidade é notada na Figura 10, principalmente nas extremidades onde a variação do terceiro quartil é maior em relação ao centro, como já justificado, devido muito à interferência dos ventos.

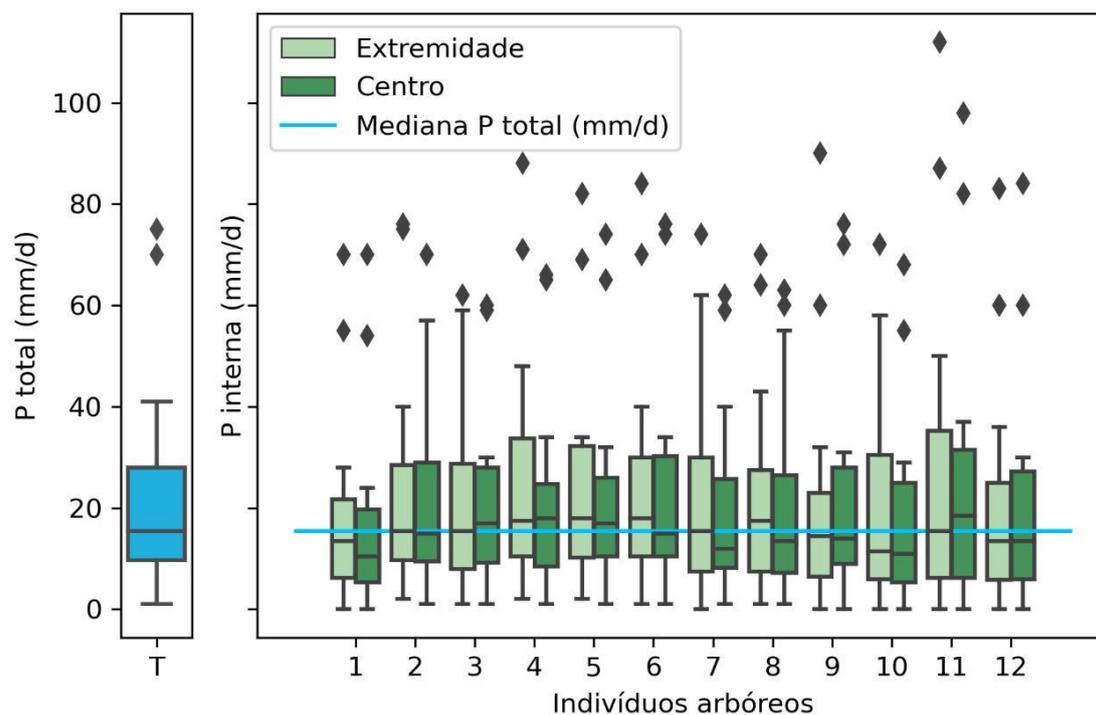


Figura 10 – Precipitação interna centro e extremidade dos indivíduos.  
 Fonte: própria.

A fim de analisar a heterogeneidade da chuva interna, correlacionou-se ainda a PT com a PI (Figura 11), e foi possível notar a correlação positiva em todos os indivíduos com comportamento qualitativo semelhante entre a maioria deles, visto que houve aumento da precipitação interna na medida do aumento da precipitação total.

Os eventos com pontos localizados abaixo da reta 1:1, precipitação interna e total, como anteriormente discutido, é devido ao efeito de afunilamento ou gotejamento da copa. É possível observar quanto maior a precipitação, maior é a dispersão dos pontos e a tendência de a precipitação interna ser superior a precipitação total para alguns indivíduos. Por fim, a Figura 11 indica que a Precipitação Interna é altamente relacionada com a Precipitação Total, uma vez que oito dos doze indivíduos possui a correlação de *Spearman* significativa (p valor <0,05).

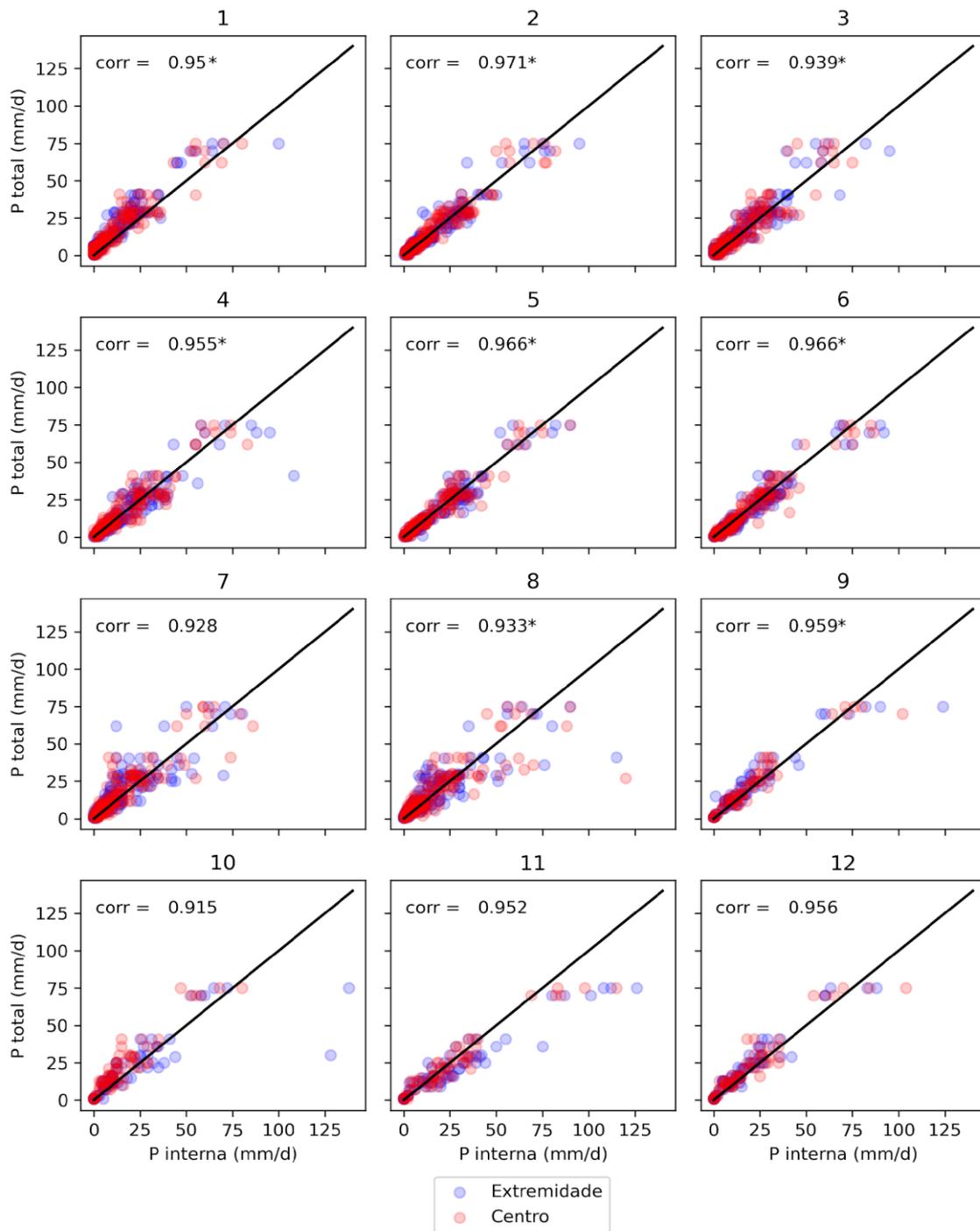


Figura 11 – Correlação entre precipitação total e precipitação interna nos indivíduos observados.  
 \* indica coeficiente de correlacao (corr.) de Spearman significativo (p valor < 0,05).

## 7 CONCLUSÃO

O formato da copa e as características dos galhos influenciaram, diretamente, na interceptação da água da chuva. Os valores registrados para as precipitações internas tiveram influência direta das características dendrométricas das árvores principalmente pela área de projeção da copa dos indivíduos.

Os eventos chuvosos considerados nesta pesquisa, tiveram valores medianos de 15,5 mm de precipitação acumulada total. E, as medianas da precipitação interna nestes eventos encontradas nas, foram: árvore 01 - *Terminalia* – 12,00 mm; árvore 02 – *Tabebuia roseoalba* 14,25 mm; árvore 03 – *Handroanthus impetiginosus* – 16,00 mm; árvore 04 – *Handroanthus impetiginosus* – 18,25 mm; árvore 05 – *Tabebuia roseoalba* – 16,75 mm; árvore 06 – *Handroanthus impetiginosus*– 16,50 mm;

árvore 07 - *Apeiba tibourbou* – 13,75 mm; árvore 08 - *Genipa americana* – 14,25 mm; árvore 09 - *Ficus benjamina* – 14,5 mm, árvore 10 - *Licania tomentosa* – 11,25 mm; árvore 11 - *Aspidosperma tomentosum* – 17,75 mm e árvore 12 - *Dimorphandra mollis* – 13,50 mm.

Dos indivíduos estudados, 7 tiveram precipitação interna menor que a precipitação total, em especial a *Licania tomentosa*, o Oiti, que apresentou o menor valor de precipitação interna, indicando maior potencial de interceptação pela copa dentre os indivíduos estudados. Enquanto o indivíduo 04, *Handroanthus impetiginosus*, Ipê-rosa, apresentou o maior valor de precipitação interna.

Apesar dos dados obtidos experimentalmente, faz-se necessário a realização de mais estudos a fim de correlacionar melhor as características dos indivíduos e a precipitação interna, bem como o uso de mais pluviômetros no intuito de minimizar os efeitos do gotejamento e a realização da coleta dos dados de precipitação em um menor intervalo de tempo.

Nossos resultados serão úteis para melhorar as estimativas de capacidade de precipitação interna correlacionado às características das árvores a fim de simular a interceptação por árvores de maneira mais confiável em modelos hidrológicos.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, P. L. **Capacidade de interceptação pelas árvores e suas influências no escoamento superficial urbano**. [s.l.: s.n.].

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Effects of urban afforestation on the reduction of runoff and on the peak flow delay. **Ciencia Florestal**, v. 29, n. 1, p. 193–207, 2019.

ANACHE, J. A. A. Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado. p. 162, 2017.

ANDERSON, HENRY W.; HOOVER, MARVIN D. HOOVER; REINHART, K. G. Forest and Water, effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply. p. 121, 1976.

ARNELL, N. **Hydrology and Global Environmental Change**. Harlow: [s.n.].

BALBINOT, R. et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131–149, 2008.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. p. 177–241.

CHAFFE, P. L. B. et al. Is Interception Information Important for Rainfall-Runoff Modeling? **Hydraulic Engineering**, v. 54, n. August 2016, p. 73–78, 2010.

CONSENSA, C. B. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E INTERNA EM POVOAMENTOS DE Eucalyptus spp. EM ROSÁRIO. p. 95, 2012.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 16–17, p. 2903–2920, 2000.

DURIGAN, G.; OLIVEIRA, M. A. DE. Dendrometria De Essências Nativas Resumo. v. d, n. 1, p. 548–552, 1992.

EITEN, G. Delimitation of the cerrado concept. **Vegetatio**, v. 36, n. 3, p. 169–178, 1978.

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

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra-6**. [s.l.] Bookman Editora, 2013.

GUANDIQUE, M. E. G.; CARDOSO DE MORAIS, L. Estudo De Variáveis Hidrológicas E Do Balanço Hídrico Em Bacias Hidrográficas. **Ecologia de reservatórios e interfaces**, p. 434–447, 2015.

GUEVARA-ESCOBAR, A. et al. Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated Ficus benjamina tree in an urban area. **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 2–4, p. 532–541, 2007.

HAIR, J. et al. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. [s.l.] Bookman Companhia Ed, 2005.

- HASSAN, S. M. T.; GHIMIRE, C. P.; LUBCZYNSKI, M. W. Remote sensing upscaling of interception loss from isolated oaks: Sardon catchment case study, Spain. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 489–505, 2017.
- HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. [s.l.] University of Georgia press, 1982.
- HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2013.
- HORTON, R. E. Rainfall interception. **Wearh. Rev.**, v. 47, p. 602–623, 1919.
- JHA, A.; BLOCH, R.; LAMOND, J. Cidades e Inundação: Um Guia para a Gestão Integrada de Inundação Urbanas para o Século XXI. **The World Bank**, p. 1–54, 2012.
- JIANG, Z. Y. et al. Rainfall partitioning and associated chemical alteration in three subtropical urban tree species. **Journal of Hydrology**, v. 603, n. PC, p. 127109, 2021.
- KAUFMANN DE ALMEIDA, I. et al. Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 14, p. 2406–2414, 2017.
- KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. **Journal of Hydrology**, v. 314, n. 1–4, p. 263–274, 2005.
- LEVIA, D. F.; FROST, E. E. Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 5, p. 605–632, 2006.
- LIMA, P. R. D. A. Retenção de água de chuva por mata ciliar na região central do estado de São Paulo. p. 113, 1998.
- LIMA, W. DE P.; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerradão. **Revista IPEF**, n. 24, p. 43–46, 1983.
- LLOYD, C. R. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and forest meteorology**, v. 42, n. 1, p. 63–73, 1988.
- LOESCHER, H. W.; POWERS, J. S.; OBERBAUER, S. F. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 397–407, 2002.
- LOSHALI, D. C.; SINGH, R. P. Partitioning of rainfall by three Central Himalayan forests. **Forest Ecology and Management**, v. 53, n. 1, p. 99–105, 1992.
- OLIVEIRA, G. S.; TAVARES, A. A. LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS EM ESTUDOS SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 7, n. 3, p. 75–87, 2012.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. DE; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 9–15, fev. 2005.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.
- PFLUG, S. et al. The effect of plant size and branch traits on rainfall interception of 10 temperate tree species. **Ecohydrology**, v. 14, n. 8, p. 1–17, 2021.

- REGALADO, C. M.; RITTER, A. Comment on “Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal)”. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 1, p. 133–134, 2010.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. [s.l.] Manole, 2004.
- RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.
- ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. DOS. Hydrological Analysis in Water Basins. **Mercator**, v. 17, n. 11, p. 1–18, 2018.
- SÁ, J. H. M. **A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA EM FLORESTA DE MATA ATLÂNTICA**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- SARI, V.; DE PAIVA, E. M. C. D.; DE PAIVA, J. B. D. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 65–79, 2016.
- SARI, V.; PAIVA, E.; PAIVA, J. Precipitação interna em Floresta Atlântica: comparação entre os sistemas de monitoramento fixo e móvel /Throughfall in the Atlantic Forest: comparison between fixed and mobile monitoring systems. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 849–861, 2015.
- SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 15 jun. 2004.
- SELBIG, W. R. et al. Quantifying the stormwater runoff volume reduction benefits of urban street tree canopy. **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 151296, 2022.
- SHIKAMURA, S. E. Correlação. In: **CE003 - Estatística II**. Curitiba: Dep. de Estatística, 2006. p. 71–78.
- SILVA, J. A. A. ; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 1979.
- SILVA, S. T.; SANTOS, R. F. M. A interceptação das águas pluviais através da arborização urbana. **INOVAE - Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, 6, 191–206, 2018.
- SILVA, L. F.; LIMA, A. M. L. P.; SILVA FILHO, D. F.; COUTO, H. T. Z. Rainfall interception by two arboreal species in urban green area (In Portuguese: Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas). *Cerne*, 16(4), 547–555, 2010. disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-77602010000400014>. Acesso em: 30 jan 2023.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997. p. 35–51.
- SORIANO, B. M. A.; GALDINO, S. Análise da distribuição da frequência mensal de precipitação para a sub- região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Embrapa Pantanal . Boletim de Pesquisa**, v. 34, p. 1–23, 2002.
- SPURR, S. Forest inventory. **Ronaldo Press**, p. 476, 1952.
- TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. DE C. M.; LEITE, A. F. Precipitação Incidente e Fluxo de Atravessamento das Chuvas em Três Estágios Sucessionais de Floresta

Atlântica no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Arvore**, v. 36, n. 5, p. 907–917, 2012.

TSIKO, C. T. et al. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 47–48, p. 122–127, 2012a.

TSIKO, C. T. et al. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 47, p. 122–127, 2012b.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia ciência e aplicação. In: **Tucci, C.E.M Hidrologia ciência e aplicação**. 3° ed. Porto Alegre: [s.n.]. p. 36–37.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. [s.l.] RiMa/IIIE, 2003.

UEHARA, K.; JORGE, N. F. Águas de Superfície In: OLIVEIRA, AMS e BRITO, SNA (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 101–109, 1998.

XIAO, Q. et al. A new approach to modeling tree rainfall interception. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 105, n. D23, p. 29173–29188, 16 dez. 2000.

XIAO, Q.; MCPHERSON, G. G. Rainfall interception of three trees in Oakland, California. **Urban Ecosystems**, v. 14, n. 4, p. 755–769, 2011.

YANG, B. et al. The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 15, n. 3, p. 289–296, 2019.