UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LÍVIA MALACARNE PINHEIRO ROSALEM

Invento para determinação da interceptação de chuva pela serrapilheira em
ecossistemas florestais

São Carlos
2017

LÍVIA MALACARNE PINHEIRO ROSALEM

**Invento para determinação da interceptação de chuva pela
serrapilheira em ecossistemas florestais**

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja
o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e
Saneamento.

Orientador: Prof. Tit. Edson Wendland

São Carlos
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

M62i Malacarne Pinheiro Rosalem, Livia
Invento para a determinação da interceptação de
chuva em ecossistemas florestais / Livia Malacarne
Pinheiro Rosalem; orientador Edson Wendland. São
Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de
Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2017.

1. LID. 2. Chuva simulada. 3. Capacidade de
armazenamento. 4. Balanço hídrico. 5. Curva IDF. I.
Título.

Ao meu amado pai (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela sua graça, bondade e luz de cada dia.

Ao professor Edson Wendland por toda orientação, paciência e apoio constantes.

Ao técnico Roberto Bérghamo por toda ajuda e disposição a ensinar.

A todos os meus colegas de laboratório, Camilo, Murilo, Davi, Paulo, Camila, Ana, David, Gabriel, Andres, Derly e Vinícius por toda ajuda e amizade que tornaram os dias mais fáceis e agradáveis.

Ao meu colega Jamil por todo apoio, companheirismo e amizade que foram indispensáveis, principalmente nos momentos mais difíceis.

À Nathee, por todos os abraços, palavras de consolo e encorajamento. Sua amizade e carinho fizeram esse tempo de mestrado mais feliz.

Ao meu esposo, minha mãe e minha irmã por serem meu porto seguro e por incitarem sempre o melhor de mim.

Agradeço aos funcionários do SHS (Departamento de Hidráulica e Saneamento) e também ao Instituto Arruda Botelho (IAB) que gentilmente nos permite realizar estudos em área preservada de cerrado *sensu stricto*.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro à pesquisa.

*I can foretell the way of celestial bodies, but can say little
about the movement of a small drop of water.*

Galileo Galilei, 1564-1642

RESUMO

ROSALEM, L. M. P. Invento para determinação da interceptação da chuva pela serrapilheira em ecossistemas florestais. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

A serrapilheira é compreendida como a camada acima do solo formada a partir de materiais que caem da vegetação, funcionando como um mecanismo de interceptação da chuva. Apesar do processo de interceptação ser significativo em áreas de florestas, geralmente esse processo é subestimado ou mesmo negligenciado em modelos hidrológicos, justificado pela dificuldade na obtenção desses dados. Este projeto propôs o desenvolvimento de um equipamento que permite realizar medidas em campo da interceptação da serrapilheira em área de cerrado *sensu stricto*. Com o equipamento desenvolvido, LID (*Litter Interception Device*), são realizadas medidas do volume de água retido na serrapilheira e do volume que passa pela serrapilheira, atingindo o solo. O LID foi testado e calibrado em laboratório utilizando chuva simulada de três diferentes intensidades sobre o equipamento, contendo três quantidades diferentes de serrapilheira, 2,97, 1,45 e 0,60 kg.m⁻². As amostras de serrapilheira utilizadas nos testes foram retiradas de uma área experimental de mata nativa de cerrado *sensu stricto*, localizada no município de Itirapina, Estado de São Paulo. As intensidades utilizadas foram definidas a partir de uma curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) gerada para a área experimental. Além do bom funcionamento do LID, os testes serviram para determinar os parâmetros C_{max} e C_{min} (capacidade máxima e capacidade mínima de armazenamento, respectivamente) da serrapilheira do cerrado *sensu stricto*. Os resultados mostraram que com o LID são realizadas medições da taxa de retenção de água na serrapilheira (mm.min⁻¹), bem como de sua evaporação (mm.min⁻¹) com precisão. Os testes para calibração do pluviógrafo revelaram que as medidas eram sempre subestimadas, necessitando utilizar uma curva de calibração (R²=0,99) para corrigir os registros da intensidade que passa para o pluviógrafo. Os valores encontrados para os parâmetros C_{max} (1,0 a 3,07 mm) e C_{min} (0,78 a 2,27 mm) corroboram com os encontrados por outros autores para a serrapilheira de diferentes florestas. Verificou-se que a variável quantidade de serrapilheira (kg) influencia mais nesses valores, do que a intensidade da chuva (mm.h⁻¹). Conclui-se com os resultados que o LID pode ser utilizado em estudos que pretendam analisar o papel da serrapilheira em processos hidrológicos, sejam estes para a determinação da interceptação da chuva em campo, ou mesmo na determinação de parâmetros em laboratório.

Palavras-chave: LID. Chuva simulada. Capacidade de armazenamento. Balanço hídrico. Curva IDF.

ABSTRACT

ROSALEM, L. M. P. Device to measure rainfall interception by the forest litter on forest ecosystems. M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Forest litter is the layer above the ground of the forest formed by materials that fall from the vegetation itself. The vegetation materials are through various stages of decomposition, functioning as a mechanism of rainfall interception. Although the interception process is significant in forested areas, this process is usually underestimated or even neglected in hydrological models due to the difficulties on obtaining these data. We proposed the development of a device that allows the field measurements of the forest litter interception in a cerrado *sensu stricto* area. The Litter Interception Device (LID), was tested and calibrated in the laboratory. We used simulated rainfall with three different intensities to test the device and also three different amounts of litter, 0.100, 0.230 and 0.470 kg. The litter samples used in the tests were taken from an experimental area of cerrado *sensu stricto* located in Itirapina, State of São Paulo, Brazil. The intensities of simulated rainfall were obtained from an Intensity-Duration-Frequency (IDF) curve made for the experimental area. Besides the LID functioning tests, the device was tested to determine the parameters $C_{\max}$ and $C_{\min}$ (maximum capacity and minimum storage capacity, respectively) of the cerrado *sensu stricto* forest litter. The results showed that the LID allows measurements of the volume of water retained in the forest litter ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$) as well as its evaporation ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$). The pluviometer calibration tests revealed that the measurements were always underestimated, requiring a calibration curve ($R^2 = 0.99$) to correct the volume records that flow to the tipping bucket pluviometer. The values found for $C_{\max}$ (1.0 - 3.07 mm) and $C_{\min}$ (0.78 - 2.27 mm) are according with those found by other authors for different kinds of forest litters. It was verified that the variation in the amount of forest litter (kg) influenced more in these values, than the rainfall intensity ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$). We concluded that the LID can be used in studies that intend to analyze the role of the forest litter in hydrological processes, whether they area for the determination of the interception of rain in the field or even and in laboratory studies to determine interception parameters of forest litter.

Keywords: LID. Rainfall simulation. Water storage capacity. Water balance. IDF curve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A divisão da precipitação nas componentes de interceptação em uma área de floresta.	25
Figura 2. (a) Desenho esquemático do dispositivo experimental utilizado por Putuhena e Cordery (1996) para medir a drenagem de chuva simulada sobre amostras de serrapilheira. (b) Representação esquemática do dispositivo desenvolvido por Li, Niu e Xie (2013) “Interception device” para avaliar a capacidade máxima e mínima de armazenamento da interceptação sob chuva simulada.	33
Figura 3. Esquema experimental para mensurar a capacidade de armazenamento da interceptação desenvolvido por Sato et al. (2004). (a) representa o dispositivo padrão e (b) é o desenho esquemático do ajuste extra realizado para investigar os mecanismos de fluxo na serrapilheira; sendo que C representa a drenagem do centro, e D a drenagem que ocorre fora do centro da bandeja.	33
Figura 4. Representação esquemática do lisímetro de pesagem desenvolvido por Schaap e Bouten (1997).	34
Figura 5. Representação esquemática equipamento desenvolvido por Thamm e Widmoser (1995).	35
Figura 6. Equipamento desenvolvido por Bulcock e Jewitt (2012). (a) Vista de cima do equipamento de interceptação da serrapilheira instalado. (b) Equipamento de interceptação da serrapilheira e pluviômetro basculante que são alocados no balde azul. (c) Esquema do equipamento de interceptação da serrapilheira e do pluviômetro.	35
Figura 7. Esquema do dispositivo desenvolvido por Gerrits, Savenije, Pfister (2007) e também utilizado por Tsiko et al. (2012).	36
Figura 8. Vista A-A do LID com o nome das peças e aparelhos.	38
Figura 9. Vista A-A do LID ilustrando a instalação em campo (cotas em cm).	39
Figura 10. Corte A-A do LID com cotas em cm.	40
Figura 11. Corte B-B do LID com cotas em cm.	41
Figura 12. Vista superior da caixa do LID com cotas em cm.	42
Figura 13. Vista superior do suporte da bandeja do LID com cotas em cm.	43
Figura 14. a) a vista superior do suporte do pluviógrafo e b) a vista lateral dessa mesma peça, com as cotas em centímetros.	44
Figura 15. Vista A-A do suporte da célula de carga com cota em centímetros.	45
Figura 16. Vista superior da caixa, do suporte da bandeja e do suporte do pluviógrafo com cota em centímetros.	46
Figura 17. Célula de carga modelo <i>Wide Bar</i> (TAL 201) da empresa <i>Sparkfun</i>	48
Figura 18. Pluviógrafo modelo 7857M da empresa <i>Davis Instruments</i>	49
Figura 19. Representação da estrutura experimental montada para os ensaios com o equipamento. ..	50
Figura 20. Efeito da altura de queda e do diâmetro na velocidade da gota.	51
Figura 21. Localização da área experimental de cerrado sensu stricto, na Fazenda São José, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil.	53
Figura 22. Um dos três pontos de coleta de serrapilheira (0,25 m ² de área de coleta) em março de 2015.	54

Figura 23. Um dos três pontos de coleta de serrapilheira (0,25 m ² de área de coletada) em outubro de 2015, e seu armazenamento em sacos plásticos.	54
Figura 24. À esquerda, estão três amostras de serrapilheira ainda úmidas e à direita, mesmas amostras depois de secas em estufa a 100 °C por 24 horas.....	54
Figura 25. Diagrama com as etapas realizadas durante os testes do LID.....	57
Figura 26. a) LID com uma amostra de serrapilheira sobre a bandeja, sobre a caixa d'água menor, dentro de outra caixa d'água maior. b) LID sem amostra de serrapilheira, dentro da caixa d'água pequena dentro do cerco com lona plástica.	61
Figura 27. a) Estrutura pronta, com a armação com lona para direcionar os respingos da chuva para a caixa d'água maior, durante a simulação da chuva. b) Cercado de lona plástica semiaberto mostrando o LID com serrapilheira dentro da caixa d'água menor. c) Estrutura sem a lona plástica mostrando o LID com serrapilheira ao fundo, dentro das caixas d'água, e o <i>datalogger</i> conectado aos fios da célula e do pluviógrafo, à bateria de 12V e ao notebook.	61
Figura 28. a) Equipamento montado, com a bandeja na parte superior e os fios dos aparelhos (célula de carga e pluviógrafo) junto ao <i>datalogger</i> . b) Vista superior do LID, sendo vista apenas a bandeja com o ralo metálico sobre seu furo concêntrico e a tela metálica.	62
Figura 29. a) Vista da lateral da bandeja, e da parte inferior com o ralo metálico colado. b) Vista da bandeja preenchida com serrapilheira.	63
Figura 30. a) Vista superior do LID sem a bandeja, com o pluviógrafo sem a cobertura do tecido. b) Vista superior do LID com o tecido cobrindo o pluviógrafo.....	63
Figura 31. a) Vista superior do LID sem a bandeja e sem o pluviógrafo. b) Peça suporte do pluviógrafo apoiada sobre os apoios da base do pluviógrafo, com o suporte da célula de carga ao fundo soldado na caixa.....	64
Figura 32. a) Vista superior do LID sem a bandeja, com o pluviógrafo sem a cobertura do tecido. b) Célula de carga fixada sobre o suporte da célula, com uma peça plástica sobre a célula na outra extremidade.	64
Figura 33. a) Vista de perfil B-B do LID com todas as peças e com o pluviógrafo sem a cobertura de tecido. b) Vista de perfil B-B do LID completo com o pluviógrafo coberto.....	65
Figura 34. Ensaio de calibração de célula de carga em laboratório.....	65
Figura 35. Curva de calibração da célula de carga a ser utilizada no equipamento.	66
Figura 36. Coeficiente de variação observado nas leituras da célula de carga nos 27 ensaios com chuva simulada com diferentes quantidades de serrapilheira (0,100, 0,230 e 0,470 kg) para cada intensidade de chuva.....	66
Figura 37. Curva de retenção de água em uma amostra de serrapilheira (0,470 kg) submetida à chuva simulada de 60 mm.h ⁻¹ por 180 min.	67
Figura 38. Variação mensal da quantidade de massa seca de serrapilheira (kg) por área (m ²). A linha preta é a quantidade média e a área cinza indica os limites do desvio padrão.	68
Figura 39. Temperaturas médias e máximas mensais a partir de medições com termo-higrômetro instalado a 11 metros de altura em uma plataforma instrumental dentro da área de cerrado <i>sensu stricto</i>	69

Figura 40. Gráfico da distribuição de Gumbel e posição de plotagem dos dados utilizados.	70
Figura 41. Pluviograma registrado com o pluviógrafo de massas com cisterna no dia 02 de janeiro de 2011.....	71
Figura 42. Gráfico dos registros de hora em hora do pluviógrafo de báscula.....	71
Figura 43. Curva IDF para o município de Itirapina, apresentando i (intensidade em mm/h) versus x (tempo de retorno em anos) e y (duração da chuva em minutos).....	72
Figura 44. Curvas de intensidade (mm.h^{-1}) versus tempo de retorno (anos) para duração de chuva: a) 5 minutos; b) 15 minutos; c) 30 minutos e d) 45 minutos.....	72
Figura 45. Curvas de intensidade (mm.h^{-1}) versus tempo de retorno (anos) para duração de chuva: a) 1 hora; b) 2 horas; c) 4 horas e d) 24 horas.	73
Figura 46. Gráfico dos resíduos gerados pela curva IDF, sendo i (intensidade em mm.h^{-1}) versus x (tempo de retorno em anos) e y (duração da chuva em minutos).....	74
Figura 47. Protótipo do LID com suas peças antes de ter alterações em suas peças.....	75
Figura 48. Protótipo LID com as alterações: sem a peça lâmina fixa e com a peça suporte da bandeja agora parafusada sobre a célula de carga.	75
Figura 49. Teste de Normalidade Anderson-Darling a 95% de probabilidade com os valões de volume drenado de água (diferença entre $C_{\max}$ e $C_{\min}$).....	76
Figura 50. Curva de regressão determinada a partir das informações da chuva registrada pelo pluviógrafo (mm) e o volume de chuva que passou pelo pluviógrafo (mm).	78
Figura 51. Boxplot da diferença entre os volumes totais calculados e os volumes totais esperados. ...	79
Figura 52. a) Histograma com curva de normalidade em vermelho dos resultados de $C_{\max}$. b) Gráfico boxplot dos resultados de $C_{\max}$. c) Histograma com curva de normalidade em vermelho dos resultados de $C_{\min}$. d) Gráfico boxplot dos resultados de $C_{\min}$	82
Figura 53. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 75 mm.h^{-1} com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.	83
Figura 54. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 60 mm.h^{-1} com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.	84
Figura 55. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 40 mm.h^{-1} com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.	84
Figura 56. Resultados dos efeitos principais massa e intensidade sobre o parâmetro $C_{\max}$	85
Figura 57. Resultados dos efeitos da massa e intensidade sobre o parâmetro $C_{\min}$	86

Figura 58. Resultados dos efeitos da massa e intensidade sobre o volume drenado.	86
Figura 59. Relação entre a massa de serrapilheira e os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$	88
Figura 60. Gráfico de superfície das estimativas de $C_{\min}$ e de $C_{\max}$ a partir de equação de função Gaussiana. As linhas cinzas correspondem aos desvios.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Alguns trabalhos sobre interceptação da chuva no Brasil	26
Tabela 2. Alguns trabalhos realizados no Brasil que avaliaram a produção anual de serrapilheira para diversos tipos de vegetação.	29
Tabela 3. Especificações da célula de carga modelo Wide Bar (TAL 201) da empresa Sparkfun que foi utilizada no equipamento.	48
Tabela 4. Coeficientes de desagregação obtidos por Cavalcanti, Silva e Reis (2015)... ..	56
Tabela 5. Teste para seleção da temperatura adequada para a secagem de amostras de serrapilheira em estufa..	69
Tabela 6. Valores arredondados de intensidade de chuva que foram utilizados nas chuvas simuladas em laboratório	74
Tabela 7. Resultados dos ensaios para avaliação da heterogeneidade das amostras de serrapilheira do cerrado <i>sensu stricto</i>	76
Tabela 8. Resultados dos ensaios com chuva simulada para a calibração do pluviógrafo usado no LID..	77
Tabela 9. Valores médios resultantes dos ensaios para a calibração do pluviógrafo.	77
Tabela 10. Valores de Cmax e Cmin obtidos a partir dos ensaios com chuva simulada sobre amostras de serrapilheira do cerrado <i>sensu stricto</i> utilizando o equipamento LID.	81
Tabela 11. Valores médios de Cmax e Cmin para cada intensidade de chuva sobre certa quantidade de serrapilheira.....	83
Tabela 12. Coeficientes de Pearson e P-valores ($p \leq 0,05$) para a correlação entre Intensidade da chuva simulada e a quantidade em massa seca de serrapilheira com os parâmetros Cmax, Cmin e volume drenado.....	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS.....	23
2.1. Geral.....	23
2.2. Etapas do projeto.....	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
3.1. O processo de interceptação.....	24
3.2. O papel da serrapilheira no processo de interceptação	27
3.3. Medições da interceptação na serrapilheira	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1. Equipamento	37
4.2. Simulador de Chuva.....	49
4.3. Calibrações.....	52
4.4. Delineamento experimental	52
4.4.1. Área de amostragem da serrapilheira e local de teste do equipamento	52
4.4.2. Chuva simulada.....	55
4.5. Testes de funcionamento do LID	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1. Equipamento	62
5.2. Calibração da célula de carga.....	65
5.3. Testes de funcionamento do LID	68
5.3.1. Amostragem e preparo das amostras de serrapilheira para os testes.....	68
5.3.2. Curva IDF.....	69
5.3.3. Chuvas simuladas e calibração do pluviógrafo	74
5.3.4. Determinação dos parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$	80
6. CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE A – Instalação do LID em área de Cerrado	97
APÊNDICE B – Curvas de retenção	99

1. INTRODUÇÃO

Em um ecossistema de floresta, a interceptação da chuva pode ocorrer no dossel, nos caules, na serrapilheira e também no solo. A serrapilheira é um compartimento ativo e vital do ecossistema (LOPES et al., 1990), que se caracteriza por ser a camada acima do solo formada a partir de materiais que caem da própria vegetação. Ela influencia e regula boa parte dos processos funcionais que ocorrem em um ecossistema, sendo capaz de controlar diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CAMPOS et al., 2008).

O processo de interceptação da chuva é uma importante etapa no ciclo hidrológico, podendo influenciar nas demais etapas do ciclo tais como infiltração, armazenamento, escoamento subsuperficial, manutenção da umidade do solo e geração de cheia (TSIKO et al., 2012). No processo de interceptação, parte da água da chuva umedece as diversas superfícies, sejam elas naturais ou urbanizadas. A evaporação da água interceptada se dá durante e após a precipitação, e assim a água retorna à atmosfera (GERRITS, 2010).

A interceptação pode não ser uma das maiores componentes do balanço hídrico, todavia é um processo significativo (ARNELL, 2002; TSIKO et al., 2012). Gerrits (2010) e Klaasen, Bousveld e Water (1998) destacam que a interceptação em áreas de florestas possui grande relevância, variando de 10 a 50% da precipitação. Apesar disso, a interceptação pela serrapilheira em ecossistemas florestais geralmente é desconsiderada ou subestimada em modelos hidrológicos. (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010; LI; NIU; XIE, 2013; TSIKO et al., 2012). A maioria dos estudos realizados sobre a interceptação da serrapilheira tem focado em medir alguns parâmetros intrínsecos nesse processo, como a capacidade máxima e mínima de armazenamento da interceptação e não o fluxo da interceptação como feito por Gerrits, Savenije e Pfister (2007) e Tsiko *et al.* (2012).

Em pesquisas que avaliaram a importância de áreas florestais na manutenção das reservas hídricas, a determinação da interceptação de todos os componentes da vegetação é necessária para estimativas mais precisas da recarga. A determinação do volume de chuva interceptado para áreas remanescentes de Cerrado, e o consequente aprimoramento do balanço hídrico para estas áreas, é de grande importância devido ao fato do Cerrado abranger aproximadamente metade dos afloramentos do Aquífero Guarani (OLIVEIRA, 2014).

Constatada a necessidade de se considerar o processo de interceptação da serrapilheira no balanço hídrico dos diversos ecossistemas de floresta, o presente estudo teve como objetivo principal o desenvolvimento de um equipamento que possibilita medir de forma

continua a interceptação da chuva pela serrapilheira, tornando viável a obtenção de dados para o aprimoramento do balanço hídrico em áreas de cerrado *sensu stricto*.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Desenvolver um equipamento para medir a interceptação da precipitação pela serrapilheira de formações florestais, como a do cerrado *sensu stricto*.

2.2. Etapas do projeto

- Dimensionar e construir um aparelho considerando as condições adversas do ambiente, como alto índice de umidade, amplitude de variação térmica e poeira;
- Testar o aparelho em laboratório sob chuva simulada considerando as características de precipitação e quantidade de serrapilheira de uma área de cerrado *sensu stricto*;
- Determinar a capacidade máxima e mínima de armazenamento de água da chuva interceptada ($C_{\max}$ e $C_{\min}$, respectivamente) para serrapilheira do cerrado *sensu stricto*;
- Analisar, a partir dos dados obtidos em ensaios com chuva simulada, a relação entre as diferentes intensidades de chuva utilizadas e a capacidade mínima de armazenamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O processo de interceptação

A interceptação tem sido definida de diferentes maneiras na Literatura. Para Horton (1919), a interceptação da chuva é entendida como o volume perdido da precipitação que poderia estar disponível para o solo. Em outra definição, a interceptação pode ser entendida como a retenção da água da chuva antes que essa atinja o solo (KLAASSEN; BOUSVELD; WATER, 1998; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015) ou pode, além disso, considerar conceitualmente também a evaporação dessa água interceptada.

Savenije et al. (2005) definiram a interceptação como um processo, compreendendo a chuva que é interceptada pela superfície terrestre e a evaporação desse volume interceptado, em um certo intervalo de tempo. Para Gerrits, Savenije e Pfister (2007) a interceptação não deve ser entendida apenas como a quantidade de chuva que é temporariamente armazenada na superfície, uma vez que isto seria a capacidade de armazenamento ou capacidade de retenção de água do solo. Ainda segundo Gerrits, Savenije e Pfister (2007), a definição de interceptação, sendo um processo, deve considerar que exista um fluxo, ou seja, a água que é interceptada durante um evento de chuva evapora dentro de certo período de tempo, podendo ocorrer durante e após este evento, retornando, por fim, para a atmosfera.

A interceptação pode não ser uma das componentes mais expressivas do balanço hídrico, todavia é um processo significativo (ARNELL, 2002; TSIKO et al, 2012). Seu impacto no balanço hídrico torna-se evidente quando são consideradas séries temporais mais longas, nas quais o fluxo de interceptação pode equiparar-se a mesma ordem de magnitude do fluxo de transpiração (SAVENIJE, 2004).

O processo de interceptação pode influenciar nas demais etapas do ciclo tais como infiltração, armazenamento, escoamento subsuperficial, manutenção da umidade do solo e geração de cheia (TSIKO et al., 2012). Apesar da interceptação não ser frequentemente considerada relevante para a geração de cheias, diretamente promove a alteração da umidade do solo e, conseqüentemente, sua capacidade máxima de armazenamento de água, afetando de maneira indireta a geração de cheias (ROBERTS; KLINGEMAN, 1970).

Gerrits (2010) e Klaassen, Bousveld e Water (1998) destacam que a interceptação em áreas de floresta pode apresentar-se relevante, podendo estar na faixa de 10 a 50% da precipitação. Condizente com isso, Hörmann et al. (1996) afirmaram que o volume de interceptação evaporada em florestas temperadas alcança valores entre 9 e 48% da precipitação total.

A maioria das grandes florestas mundiais localiza-se entre os trópicos e, por isso, é esperado que as florestas tropicais proporcionem impactos significativos no volume global de interceptação. Miralles et al. (2011) reiteram que as florestas tropicais contribuem com 57% da evaporação global de interceptação dos dosséis. Em um trabalho de revisão sobre a interceptação em áreas de florestas tropicais úmidas, Bruijnzeel (1990) concluiu que em florestas tropicais de menores altitudes, a precipitação líquida corresponde aproximadamente 86% e nas de maiores altitudes, 82%; sendo o escoamento fustal geralmente entre 0,5 e 2 % da precipitação.

Em um ecossistema de floresta, a interceptação da chuva pode ocorrer no dossel (ou copa de uma árvore quando analisada unitariamente), nos troncos, na serrapilheira e também no solo. Devido à retenção da água nesses diferentes compartimentos morfológicos (**Figura 1**), a precipitação total (P_t) é dividida em precipitação interna (P_i - precipitação total menos a interceptação da copa) e escoamento fustal (E_f – precipitação que escoam pelos troncos). A soma da precipitação interna mais o escoamento fustal é denominada precipitação líquida (P_l). Quando a P_l atinge o chão da floresta, parte dessa precipitação é interceptada pela serrapilheira e o restante alcança o solo, denominada de precipitação útil (P_u).

Figura 1. A divisão da precipitação nas componentes de interceptação em uma área de floresta.

Fonte: Autor

A precipitação útil corresponde à água que poderá efetivamente servir para as plantas ou para recarga subterrânea. Deve-se levar em consideração a água que permanece retida na serrapilheira – a camada acima do solo da floresta formada a partir de materiais que caem da própria vegetação – que pode impactar significativamente o balanço hídrico em áreas florestais.

A partir das definições, enquanto a camada de serrapilheira não está saturada, a precipitação total pode ser encontrada através da seguinte equação:

$$Pu = Pt - Ic - It - Is$$

Considerando que parte da precipitação líquida torna-se escoamento superficial (Q). Nesse caso, a precipitação útil é dada por:

$$Pu = Pt - Ic - It - Is - Q$$

No Brasil, alguns trabalhos foram desenvolvidos visando quantificar a precipitação líquida, o escoamento fustal e a interceptação da copa (Tabela 1). Mais informações sobre esses trabalhos no Brasil podem ser encontradas na revisão feita por Giglio e Kobiyama (2013). A maioria dos trabalhos são em áreas florestais, sendo poucos os estudos em áreas urbanas como o realizado por Guevara-Escobar et al. (2007).

Tabela 1. Alguns trabalhos sobre interceptação da chuva no Brasil. (continua)

Autor	Ano	Formação Vegetal	I_c (%)	P_l (%)	E_f (%)	Localização
LIMA e NICOLIELO	1983	Cerradão	-	72,7	-	Agudos/SP
LLOYD e MARQUES	1988	Floresta Amazônica	8,9	91	1,8	Reserva Florestal Ducke /AM
UBARANA	1996	Floresta Amazônica	11,6	87	1,4	Reserva do Jaru/RO
ARCOVA, CICCIO e ROCHA	2003	Mata Atlântica		81,2	0,2	Cunha/SP
LILIENFEIN e WILCKE	2004	Cerrado s.s.		89	<1	Uberlândia/SP
CUARTAS et al.	2007	Floresta Amazônica		82,9	0,6	Amazônia Central (INPA)
MOURA et al.	2009	Mata Atlântica	12,7	84,9	0,4	Bacia do Prata/PE
HONDA, E.A.	2013	Cerradão		80	2,4	Assis/SP
		Cerrado s.s.		95	0,7	
		Cerrado s.s.d		89	1,5	
CARVALHO, ASSUNÇÃO e	2013	Cerrado s.s.,	26,4	75,7	-	Jataí/ GO
		Cerradão	26,9	74,4	-	

SCOPEL.		Mata ciliar	23,6	77,9	-	
OLIVEIRA	2014	Cerrado s.s.d.	17,7	81,2	1,1	Itirapina/SP
ÁVILA et al.	2014	Mata Atlântica	21	79	-	Serra da Mantiqueira/MG
Autor	Ano	Formação Vegetal	I_c (%)	P_l (%)	E_f (%)	Localização
TONELLO et al.	2014	Floresta de Eucalipto	13,8	85,2	1	Iperó/SP
		Floresta de Pinus	15,0	84,0	1	
		Mata Atlântica	22,8	76,2	1	
SARI et al.	2016	Mata Atlântica	27,77	67,49 e	4,59	Cabeceira do Rio Vacacaí Mirim/ RS
		Mata Atlântica	24,33	80,31	2,70	
		Floresta de Eucalipto	15,72	80,19	14,63	
JUNQUEIRA	2016	Mata Atlântica	12,8	90,6	0,7	Lavras/MG

I_c : Intercepção da Copa; P_l : Precipitação líquida; E_f : Escoamento fustal. (conclusão)

3.2. O papel da serrapilheira no processo de interceptação

As medidas de intercepção, quando são consideradas no balanço hídrico, geralmente concentram-se apenas na interceptação do dossel e do caule (APARECIDO et al., 2011), enquanto que a interceptação pela vegetação abaixo das copas (plantas de sub-bosque) e pela serrapilheira tem sido negligenciada (GERRITS, 2010; TSIKO et al., 2012; LI; NIU; XIE, 2013).

A serrapilheira pode ser considerada um compartimento ativo e vital do ecossistema (LOPES et al., 1990), que se caracteriza por ser a camada acima do solo da floresta formada a partir de materiais que caem da própria vegetação local. Scoriza (2012) aponta que a serrapilheira possui uma composição anatômica bastante diversa, representada não só por estruturas de origem vegetal (como folhas, flores e ramos), mas também de origem animal (como esqueletos, carapaças e fezes), além de outros resíduos orgânicos.

A serrapilheira influencia e regula os processos funcionais que ocorrem em um ecossistema, sendo capaz de controlar diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Caracteriza-se assim, como um fator-chave à manutenção de sistemas florestais e de controle de processos erosivos, atuando também como um mecanismo de interceptação da chuva (CAMPOS et al., 2008).

Poucas pesquisas na área de hidrologia avaliam o papel da serrapilheira nos processos hidrológicos (BULCOCK; JEWITT, 2012). A maioria dos estudos sobre a serrapilheira encontrados na Literatura focam em analisar sua composição física e química, a taxa de produção anual por área, o tempo de decomposição e outros parâmetros com o propósito de

relaciona-los com a melhoria da qualidade do solo e a ciclagem de nutrientes (LOWDERMILK, 1930; MYATA et al., 2009; WALSH; VOIGT, 1977; DON; KALBITZ, 2005; SPERANDIO et al., 2012; SCALENGHE et al., 2016). Na tabela 2, estão listados alguns dos trabalhos realizados com serrapilheira no Brasil. Complementarmente, informações sobre outras pesquisas no Brasil e em outros países podem ser encontradas em Sundarapandian e Swamy (1999), Chave et al. (2010) e em Gerrits (2010).

Apesar de poucas, as pesquisas que buscam quantificar a interceptação, mostram que a serrapilheira impacta significativamente o balanço hídrico em áreas de floresta. Huber e Oyarzun (1992) encontraram em seu trabalho, valores de interceptação da serrapilheira de até 8,9% da chuva anual em uma floresta nativa no Chile e Gerrits, Pfister e Savenije (2010) encontraram para uma floresta de *Fagus sylvatica* em Luxemburgo, o volume somado de interceptação da chuva pela copa e pela serrapilheira de 26% no inverno e 36% no verão. Nos Estados Unidos, a quantidade de interceptação evaporada da serrapilheira foi de 2% no Tennessee (BLOW, 1995), 13% em Missouri (SEMAGO, 1960) e 34% em Wisconsin (CURTIS, 1960).

Segundo Park, Hattori e Tanaka (1998), a interceptação da serrapilheira é uma função que relaciona a massa da serrapilheira por unidade de área, espessura e composição, suas características de armazenamento de água, frequência de umidade e taxa de secagem. A composição e a espessura da serrapilheira podem variar conforme as estações do ano e de um local para o outro, devido as diferentes características de ciclagem e decomposição.

Oliveira (2014), em seu trabalho em área de cerrado *sensu stricto*, afirma que as mudanças na composição da serrapilheira e na vegetação durante o ano, em área de cerrado *sensu stricto*, tendem a promover diferentes respostas no processo de interceptação e na rugosidade da superfície do solo, facilitando a retenção de água. Vale ressaltar que a quantidade de serrapilheira acima do solo pode variar para um mesmo tipo de vegetação, dependendo do grau de perturbação da área (ARAÚJO, 2002), e também pode variar temporalmente, interferindo assim no processo de interceptação (GERRITS; PFISTER; SAVENIJE, 2010).

Tabela 2. Alguns trabalhos realizados no Brasil que avaliaram a produção anual de serrapilheira para diversos tipos de vegetação.

AUTOR	ANO	LOCAL	PRODUÇÃO ANUAL DE SERRAPILHEIRA (kg ha ⁻¹)	VEGETAÇÃO	TEMPO DE ESTUDO
ARATO, MARTINS e FERRARI	2003	Viçosa/MG	10.165,13	Sistema agroflorestal (arbóreas nativas, frutíferas, cafeiros e bananeiras)	set/2000 a ago/2001
CAMPOS et al.	2008	Uberlândia/MG	3771k (Mata Meso.) 857 (Cerrado)	Mata Meso. e Cerrado s.s.	jul/2007 a jan/2008
CIANCIARUSO et al.	2006	Luiz Antônio/SP	5646,9	Cerradão	ago/2001 a ago/2002
PERES et al.	1983	Brasília/DF	7800 (Cerradão); 2100 (Cerrado s.s.)	Cerradão e Cerrado s.s.	jul/1976 a dez/1979
SILVA et al.	2007	Nova Xavantina/MT Sinop/MT	622 (Cerrado s.s.) 1046 (Cerradão) 6566 (Floresta Trans.)	Cerrado s.s.; Cerradão e uma floresta de transição	abr/2002 a mai/2003
VALENTE, CIANCIARUSO e BATALHA	2008	São Carlos /SP	5600 (média)	Cerrado s.s.	abr/2001 a mar/2002 e de jul/2003 a jul/2004
COUTO-SANTOS e LUIZÃO	2011	Amazônia Central	8330	Floresta Amazônica	out/2008 a nov/2008
DANTAS e PHILLIPSON	1989	Capitão Paco/PA	8040	Floresta Tropical bem desenvolvida	1979-1980
DANTAS e PHILLIPSON	1989	Capitão Paco/PA	5040	Floresta Tropical secundária	1990-1991
MORAES et al.	1999	Ilha do Cardoso	6310	Floresta Tropical bem desenvolvida	1990-1991
LUIZÃO	1989	Reserva de Cuieiras (Planalto e Vale)/AM	8250 / 7440	Floresta Tropical bem desenvolvida (Planalto)/ Floresta Tropical parcialmente inundada (Vale)	1963-1964
KLINGE e RODRIGUES	1968	Reserva Florestal Ducke/AM	7300	Floresta Tropical bem desenvolvida	2005-2006
CHAVE et al.	2010	Caxiuaná/ AM	7790 / 9170	Floresta Tropical bem desenvolvida	2005-2006
NASCIMENTO, CERQUEIRA e HENDERSON	2015	Ribeirão Grande/SP	2.809*	Vegetação remanescente próximo a uma cava de mineração de calcário	fev/2011 a jan/2012
BRANDO et al.	2008	Floresta Tapajós/AM	6430	Floresta Tropical bem desenvolvida	2000-2005
SPERANDIO et al.	2012	Alegre/ES	5960	Floresta Estacional Semidecidual	jun/2010

Cerrado *sensu stricto* (Cerrado s.s.), Mata Mesofítica (Mata Meso.), Floresta Transicional (Floresta Trans.). *Em kg.m².

Além de poucos estudos apresentarem a perspectiva hidrológica sobre a serrapilheira, existem entre eles certas diferenças quanto aos métodos utilizados nos trabalhos e à forma de apresentação dos resultados, o que acaba por dificultar a comparação entre eles. Sobre isso, Dunkerley (2015) comenta que existe uma inconsistência em dados publicados sobre valores percentuais de interceptação evaporada, pois alguns são apresentados em termos de precipitação total, enquanto que outros são expressos em termos de precipitação interna. Li, Niu e Xie (2013), apontam ainda para diferenças encontradas em trabalhos antigos quanto à determinação dos parâmetros da serrapilheira.

3.3. Medições da interceptação na serrapilheira

A determinação da interceptação tem sido mais comum para áreas de floresta sob condições naturais de precipitação. A grande maioria estima a partir de cálculo indireto utilizando dados de precipitação total, obtidos com pluviógrafos acima do dossel, e dados de precipitação líquida e escoamento fustal, utilizando calhas ou pluviógrafos abaixo do dossel e colares envoltos aos troncos das árvores, respectivamente, como pode ser observado nas pesquisas de Gerrits (2010), Dominguez et al. (2016) e Tonello et al. (2014). Para estudos em que se almeja maior precisão para tais medidas de interceptação, são utilizados lisímetros de pesagem, como Li et al. (2016).

Sobre a interceptação pela serrapilheira, existem poucos trabalhos relacionados à determinação empírica da chuva interceptada. Dos trabalhos existentes, alguns autores sugerem que sejam divididos entre trabalhos com métodos laboratoriais e trabalhos com métodos de campo (GERRITS, 2010; HELVEY; PATRIC, 1965). Os trabalhos em laboratório visam determinar parâmetros da serrapilheira, usando em alguns casos, técnicas mais simples, como saturar amostras por 24 horas e determinar, a partir disso, o peso seco ou a curva de retenção de água (WALSH; VOIGHT, 1977; PARK; HATTORI, TANAKA, 2010; PITMAN, 1989); ou técnicas mais sofisticadas, que contam com o uso de simuladores de chuvas (PUTUHENA; CORDERY, 1996; SATO et al., 2004, 2002; LI; NIU; XIE, 2013).

Dentre os parâmetros relacionados à avaliação do papel da serrapilheira em processos hidrológicos, destacam-se: a capacidade máxima e mínima de armazenamento da interceptação ($C_{\max}$ e $C_{\min}$, respectivamente) e a capacidade máxima de armazenamento de água (S) (PUTUHENA; CORDERY, 1996; HELVEY, 1964; SATO et al., 2004; LI; NIU; XIE, 2013).

O parâmetro S pode ser definido como a quantidade de água (mm) que é retida na serrapilheira quando a superfície foliar está completamente úmida (SATO et al., 2004). Sato et al. (2004), propuseram como método para determinação de S : colocar amostras de perfis de serrapilheira sobre água (amostras completamente saturadas) por 24 horas e depois suspensas em uma rede para permitir a saída da água pela ação da gravidade. Esse parâmetro não tem sido muito adotado nos trabalhos, pois representa uma condição extrema que dificilmente é alcançada naturalmente.

Os valores dos parâmetros de capacidade de armazenamento $C_{\max}$ e $C_{\min}$ representam a quantidade de água (mm) que a serrapilheira tem capacidade de armazenar no seu perfil, sendo que $C_{\max}$ refere-se à quantidade de água retida imediatamente antes de encerrar o evento de chuva (quando a amostra está completamente saturada), enquanto $C_{\min}$ refere-se à quantidade de água retida na serrapilheira depois que cessa a drenagem (PUTUHENA; CORDERY, 1996; SATO et al., 2004). O parâmetro $C_{\min}$ talvez seja o mais importante do ponto de vista hidrológico, pois indica a quantidade de água que só poderá ser retirada naturalmente por evaporação (LI; NIU; XIE, 2013).

Esses parâmetros, similarmente aos parâmetros de armazenamento da copa e do tronco, referem-se ao volume de precipitação que fica retido nesses compartimentos (copa, tronco e serrapilheira) e que poderá, dentro de certo intervalo de tempo, ser submetido ao processo de evaporação, retornando para a atmosfera. Gerrits (2010) efetuou medição da interceptação da serrapilheira, adotando o conceito de armazenamento máximo de interceptação pela serrapilheira ($S_{f\max}$), conceitualmente igual ao de armazenamento máximo para o tronco e para a copa ($S_c^t \max$, e $S_c^l \max$, respectivamente) para que pudesse ser realizada uma extensão ao modelo conceitual de Rutter (Rutter et al., 1971) com o acréscimo da interceptação da serrapilheira.

Do ponto de vista físico, o armazenamento máximo de interceptação pela serrapilheira tem comportamento diferente do $S_c^t \max$, e $S_c^l \max$. A serrapilheira forma uma camada acima do solo, e assim como o solo, possui espaços vazios que podem ser preenchidos por água ou por ar. A sobreposição de camadas, formadas por serrapilheira em diferentes estágios de decomposição, cria um perfil em que o armazenamento máximo de interceptação dependerá de vários fatores. Dingman (2015) e Gerrits, Savenije e Pfister (2007) apontam como alguns desses fatores: o estágio de desenvolvimento das plantas e da densidade (índice de área foliar) da floresta; da forma das folhas e a espessura da camada; do tipo, intensidade, duração e frequência da precipitação; e, além disso, da demanda evaporativa, que influencia na capacidade de armazenar água entre e durante os eventos

chuvosos. Outro fator que pode influenciar, mas que ainda não se tem consenso é a inclinação do terreno.

Assim, o armazenamento de interceptação na serrapilheira, diferentemente da copa e do tronco, não tem seu máximo armazenamento dependendo somente da intensidade da chuva e de sua área elementar (no caso área foliar, para a copa, ou área do tronco), mas além desses fatores também depende diretamente dos espaços vazios que compõem o seu perfil. Seu armazenamento máximo de interceptação pode ser então comparado ao conceito de capacidade de campo, ou potencial total de água no solo. Neste conceito, uma camada de solo pode armazenar um volume máximo de água, que dependerá da soma das contribuições de fatores como, o potencial gravitacional, o potencial de pressão (ou potencial mátrico) e do potencial osmótico (HILLEL, 2004). Do mesmo modo que a capacidade de campo, a serrapilheira consegue armazenar um volume máximo de água, sendo que em condições de volume maior do que esse limite, este será drenado para camadas mais profundas, podendo, em alguns casos, ocasionar escoamento superficial.

Desta maneira, o parâmetro $C_{\min}$ é o que mais se assemelha ao conceito de capacidade de campo. O $S_{f\max}$ utilizado por Gerrits (2010) em seu estudo, é diferente do conceito de capacidade de armazenamento (S) proposto por Sato et al. (2004), sendo mais similar conceitualmente com o parâmetro $C_{\min}$, por este representar a quantidade de água que se mantém retida nesse perfil de serrapilheira em condições naturais.

Os ensaios em laboratório que determinam os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$ da serrapilheira utilizam simuladores de chuva, com precipitações com diferentes intensidades. Putuhena e Cordery (1996), Sato et al. (2004) e Li, Niu e Xie (2013) mensuraram os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$ em laboratório sob chuva simulada. Além de utilizarem diferentes dispositivos, os ensaios foram executados com variações na quantidade de serrapilheira e na intensidade de chuva. Enquanto Putuhena e Cordery (1996) usaram intensidade de chuva entre 90 e 100 mm h⁻¹, Sato et al. (2004) adotaram intensidades de 5, 10 e 50 mm h⁻¹ e Li, Niu e Xie (2013) optaram por simulações utilizando 6,8 , 13,5 , 37,7, 74,4 e 115 mm h⁻¹ de chuva. Na figura 2, pode ser observado o esquema do dispositivo utilizado por Putuhena e Cordery (1996) e do utilizado por Li, Niu e Xie (2013) e na figura 3, um desenho esquemático do dispositivo utilizado por Sato et al. (2004).

Figura 2. (a) Desenho esquemático do dispositivo experimental utilizado por Putuhena e Cordery (1996) para medir a drenagem de chuva simulada sobre amostras de serrapilheira. (b) Representação esquemática do dispositivo desenvolvido por Li, Niu e Xie (2013) “Interception device” para avaliar a capacidade máxima e mínima de armazenamento da interceptação sob chuva simulada.

Fonte: Modificada pelo autor.

Figura 3. Esquema experimental para mensurar a capacidade de armazenamento da interceptação desenvolvido por Sato et al. (2004). (a) representa o dispositivo padrão e (b) é o desenho esquemático do ajuste extra realizado para investigar os mecanismos de fluxo na serrapilheira; sendo que C representa a drenagem do centro, e D a drenagem que ocorre fora do centro da bandeja.

Fonte: Adaptada pelo autor

Investigações que abordam técnicas mais simples utilizam bandejas, com as quais são coletadas amostras úmidas de serrapilheira logo após o final de um evento de chuva, e, posteriormente, secas em estufa para obter o peso seco, conforme procedimento desenvolvido por Helvey (1964). O principal inconveniente constatado nestas técnicas seria que, na verdade, determina-se apenas a capacidade de armazenamento da água (S), situação que

difficilmente reflete a realidade. Essa técnica, apesar de mais simples, não traz informações relevantes para o entendimento aprofundado sobre o processo de interceptação.

Quanto aos trabalhos de medições em campo, para que os resultados empíricos possam auxiliar no aprimoramento de modelos de interceptação, faz-se necessário determinar tanto o volume interceptado pela serrapilheira, quanto à evaporação desta interceptação. Durante algum tempo, a justificativa para a dificuldade em obter estimativas confiáveis era a complexidade em realizar as medições em campo, entretanto surgiram algumas propostas de equipamentos que podem auxiliar nessas medições.

As primeiras propostas de equipamentos embasavam-se na utilização de lisímetros de pesagem, assim como o equipamento desenvolvido por Schaap e Bouten (1997), capaz de medir a evaporação da serrapilheira para uma floresta na Holanda (Figura 4). Um equipamento mais sofisticado foi desenvolvido por Thamm e Widmoser em 1995, no qual foi utilizado um lisímetro, onde era colocada a serrapilheira, e um sistema de sucção à vácuo para direcionar a água que percola pelo perfil de serrapilheira para frascos de armazenamento. Esses frascos eram ligados à sensores que permitiram o registro da variação de pressão, indicando continuamente o volume que transpassava a serrapilheira (Figura 5).

Figura 4. Representação esquemática do lisímetro de pesagem desenvolvido por Schaap e Bouten (1997).

Fonte: Adaptada pelo autor

Figura 5. Representação esquemática equipamento desenvolvido por Thamm e Widmoser (1995).

Fonte: Adaptada pelo autor

Bulcock e Jewitt (2012) construíram um equipamento (Figura 6) para medir em campo a água que transpassava a serrapilheira (infiltração) e, com os dados obtidos de precipitação interna, pode ser calculada indiretamente, a água armazenada no perfil da serrapilheira. Por sua vez, o dispositivo desenvolvido por Gerrits, Savenije, Pfister (2007), também utilizado por Tsiko et al. (2012), permite determinar diretamente o processo de interceptação da serrapilheira. Nesse segundo dispositivo (Figura 7), a quantidade de água na serrapilheira é medida constantemente, sendo possível obter, por exemplo, a quantidade de orvalho interceptada e a evaporação durante o evento de chuva.

Figura 6. Equipamento desenvolvido por Bulcock e Jewitt (2012). (a) Vista de cima do equipamento de interceptação da serrapilheira instalado. (b) Equipamento de interceptação da serrapilheira e pluviômetro basculante que são alocados no balde azul. (c) Esquema do equipamento de interceptação da serrapilheira e do pluviômetro.

Fonte: Adaptada pelo autor

Figura 7. Esquema do dispositivo desenvolvido por Gerrits, Savenije, Pfister (2007) e também utilizado por Tsiko et al. (2012).

Fonte: Adaptada pelo autor

Mais recentemente, Sun et al. (2016) utilizaram três lisímetros de pesagem com 20 cm de diâmetro preenchidos com amostra de solo com serrapilheira (com o mínimo de deformação) para monitorar a evaporação do chão da floresta. Schunk et al. (2016) testaram quatro diferentes tipos de sensores para monitorar a umidade da serrapilheira. De mesmo modo, Wang, Throop e Gill (2015) avaliaram o uso de um sensor de umidade relativa para estimar continuamente a umidade da serrapilheira e Acharya, Stebler e Zou (2016) utilizando sensor de umidade foliar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Equipamento

O desenvolvimento do equipamento teve como propósito obter um *design* que favorecesse a sua futura instalação e utilização em campo, mais especificamente na área experimental de cerrado *sensu stricto* do grupo de pesquisa em Hidráulica Computacional da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Desta forma, foram estabelecidas as seguintes proposições iniciais:

- i. Coletar dados quantitativos em uma área de serrapilheira de pelo menos 0,16 m² (área quadrada de 40 cm de lado);
- ii. Fazer com que o dispositivo permitisse a coleta automática e armazenamento dos dados em *datalogger* já instalado na área experimental;
- iii. Determinar o tamanho e o peso do equipamento de forma que permitisse a portabilidade do mesmo;

A partir dessas proposições, projetou-se um equipamento, denominado LID (*Litter Interception Device*), que pode ser colocado no subsolo e que em sua parte superior é colocada a serrapilheira em uma bandeja no mesmo nível que a serrapilheira em campo. As figuras 8 a 16 a seguir apresentam imagens do desenvolvimento do protótipo LID, com suas dimensões e detalhes construtivos.

Figura 8. Vista A-A do LID com o nome das peças e aparelhos.

Fonte: do Autor

Figura 9. Vista A-A do LID ilustrando a instalação em campo (cotas em cm).

Fonte: do Autor

Figura 10. Corte A-A do LID com cotas em cm.

Fonte: do autor

Figura 11. Corte B-B do LID com cotas em cm.

Fonte: do autor

Figura 12. Vista superior da caixa do LID com cotas em cm.

Fonte: do autor

Figura 13. Vista superior do suporte da bandeja do LID com cotas em cm.

Fonte: do autor

Figura 14. a) a vista superior do suporte do pluviógrafo e b) a vista lateral dessa mesma peça, com as cotas em centímetros.

Fonte: do autor

Figura 15. Vista A-A do suporte da célula de carga com cota em centímetros.

Fonte: do autor

Figura 16. Vista superior da caixa, do suporte da bandeja e do suporte do pluviógrafo com cota em centímetros.

Fonte: do autor

O LID foi construído com diferentes materiais, em escala para estudos com amostras de serrapilheira de área de $0,16 \text{ m}^2$, devido à área da bandeja quadrada apresentar 40 cm de aresta. Entretanto, a escala de construção do equipamento pode variar de acordo com o tamanho da amostra de serrapilheira a ser usada no estudo. Os materiais utilizados na confecção das peças foram selecionados considerando a necessidade de resistência à compressão, à umidade, considerando ainda a durabilidade e o menor custo construtivo.

A caixa externa foi construída em aço inoxidável, visando maior durabilidade do equipamento em contato direto com o solo, quando instalada em campo (Figura 10). A caixa externa tem 42 cm de largura e de profundidade, por 47 cm de altura. A estrutura possui 2 apoios soldados em duas laterais para a peça de suporte do pluviógrafo. Possui ainda furos no

fundo da caixa para permitir a saída da água que passa pelo pluviógrafo para as pedras britadas colocadas em campo abaixo do equipamento (Figura 9).

A bandeja foi confeccionada em plástico para diminuir o peso dessa peça sobre a célula de carga, levando em conta carga máxima de operação da célula. O fundo da bandeja possui uma leve inclinação para direcionar qualquer volume de água que passa pela serrapilheira para o furo feito ao centro. Esse furo concêntrico direciona o volume para o pluviógrafo e, por isso, foi acoplado ao furo um filtro para impedir que fragmentos da serrapilheira entupam o pluviógrafo. Nas laterais da bandeja, também foram feitos furos, com o intuito de permitir a passagem do vento sobre a amostra de serrapilheira e desta forma, estabelecer condições mais próximas às observadas no processo natural de evaporação.

Para diminuir o peso das peças sobre a célula de carga, o suporte da bandeja foi construído em alumínio (Figura 13). Os furos na base dessa peça permitem o escoamento de água caso ocorra algum transbordamento ou vazamento no pluviógrafo. Os tubos de alumínio foram soldados na base da peça suporte da bandeja, e por eles o peso da bandeja pôde ser transferido à célula de carga. O suporte da bandeja foi parafusado ao centro sobre a célula de carga, que foi parafusada, por sua vez, sobre o seu suporte (Figura 15), soldado na parte inferior da caixa (Figura 12).

O pluviógrafo foi colocado dentro da caixa, abaixo da bandeja, sobre a peça de suporte do pluviógrafo (Figura 14). Esse suporte foi construído com material resistente à umidade (em aço inoxidável), para direcionar o volume de água que passa pelo pluviógrafo para as laterais da caixa, funcionando como uma calha.

No protótipo do LID foi utilizada uma célula de carga com capacidade de 10 kg modelo *Wide Bar* TAL201 (*Sparkfun Eletronics*) produzida com liga de alumínio, apresentada na figura 17. A célula possui 4 medidores de tensão, ligados entre si em formação de Ponte *Wheatstone* e grau de proteção IP65, que indica que o aparelho é totalmente protegido contra a poeira. Além disso, a célula possui resistência a jatos d'água de baixa pressão, isto é, jatos com abertura de bocal até 6,3 mm e pressão até 30 kPa, independentemente da direção de tais jatos contra o aparelho, não podendo ficar imersa em líquido. As demais especificações da célula são apresentadas na tabela 03.

Figura 17. Célula de carga modelo *Wide Bar* (TAL 201) da empresa *Sparkfun*.

Fonte: Folha de especificações *Wide Bar* (TAL 201), *Sparkfun Inc.*

Tabela 3. Especificações da célula de carga modelo *Wide Bar* (TAL 201) da empresa *Sparkfun* que foi utilizada no protótipo.

Especificações técnicas	Valores
Capacidade	10 kg
Sobrecarga de segurança	15 kg
Sobrecarga última	30 kg
Taxa de saída de sinal	2,0 ± 0,2 mV/V
Histerese	± 0,2
Alcance de temperatura	-10 - +40°C
Coefficiente de temperatura SPAN /10°C	± 0,2
Coefficiente de temperatura de ZERO /10°C	± 0,3

Fonte: Folha de especificações *Wide Bar* (TAL 201), *Sparkfun Inc.*

A célula de carga possui 4 furos, dois em cada extremidade, que servem para parafusar as extremidades da célula, sendo uma sobre o apoio da célula e a outra sob o suporte da bandeja. Na extremidade da célula onde deve ser aplicada a força de pressão, foi colocada uma peça de plástico, entre a célula de carga e o suporte da bandeja, apenas para garantir que o suporte da bandeja transfira o peso da bandeja somente nessa extremidade da célula.

Para medir o fluxo que passa pela serrapilheira (mm.min⁻¹), foi usado um pluviógrafo de balança modelo 7857M (*Davis Instruments*), apresentado na figura 18.

Figura 18. Pluviógrafo modelo 7857M da empresa *Davis Instruments*.

Fonte: *Davis Instruments Inc.*

Os aparelhos (célula de carga e pluviógrafo) presentes no LID permitiram a conexão com um dispositivo de leitura e armazenamento de dados, garantindo assim o contínuo monitoramento das variáveis. Como sugestão de dispositivo e armazenamento, pode ser usado um *datalogger* ou um sistema de leitura e armazenagem de dados construído com Arduino.

O protótipo do LID teve tanto o pluviógrafo quanto a célula de carga conectados a um *datalogger* modelo CR10X (*Campbell Scientific Inc*), para o armazenamento e registro das leituras contínuas de volume de água (mm.h^{-1}) e peso da amostra (kg.min^{-1}). O CR10X foi utilizado tanto para a calibração dos aparelhos quanto para os testes com o LID.

Após sua construção, o protótipo foi testado em laboratório com chuva simulada de diferentes intensidades.

4.2. Simulador de Chuva

Uma estrutura experimental foi construída para simular chuva sobre o equipamento a fim de testá-lo sob diferentes condições de intensidade de chuva e quantidade de serrapilheira, condizentes com as que são encontradas em campo.

O simulador de chuva foi montado no Laboratório de Hidráulica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Como parte da estrutura experimental do simulador de chuva, na parte de abastecimento do simulador, foram utilizados equipamentos e peças já instalados nesse laboratório:

- Reservatório de água: com alimentação constante e ponto de extravasão;
- Bomba Centrífuga KSB 25-200R: responsável por pressurizar o sistema;
- Inversor de Frequência WEG CFW-08: possibilitou a variação da frequência do motor acoplado à bomba, logo se tornou possível variar a pressão no sistema;

- Registro de esfera: utilizado para controlar o início e término da simulação de chuva;

Para montar o simulador de chuva foi utilizada uma ducha de 38 cm (15 pol) de diâmetro, acoplada em sequência a uma estrutura para fornecimento de água, citada anteriormente. A figura 19 apresenta um desenho esquemático do simulador de chuva.

Figura 19. Representação da estrutura experimental montada para os ensaios com o equipamento.

Fonte: do autor

A altura necessária para que a chuva simulada atingisse a velocidade terminal foi calculada utilizando a seguinte equação (BAGREE, 2012):

$$v(D) = \alpha D^\beta$$

Onde D é o diâmetro médio das gotas (mm), e α e β são coeficientes determinados empiricamente. Sendo assim, foram adotados $\beta = 0,67$ e $\alpha = 3,778$ por proverem melhor ajuste em caso de $0,5\text{mm} \leq D \leq 5,0\text{ mm}$ (JONG, 2010 apud BAGREE, 2012). Considerando o diâmetro médio da gota 1 mm a velocidade terminal seria de 3,77 m/s. Considerando o tempo de queda de 1 s, a altura necessária para o simulador seria de 3,77 m, altura esta condizente com o valor encontrado para a velocidade terminal da chuva com diâmetro de gota de 1 mm por Ribeiro (2006) (Figura 20).

Figura 20. Efeito da altura de queda e do diâmetro na velocidade da gota.

Fonte: Ribeiro (2006).

A altura utilizada para o chuveiro durante os experimentos foi menor do que 3,77 m acima do LID. A altura necessária para a velocidade terminal produziria maior quantidade de respingos e não seria representativo das condições naturais em campo, onde o dossel denso da área de cerrado *sensu stricto* provoca redução da carga cinética das gotas de chuva, e consequentemente a redução de sua velocidade terminal. Por isso, a altura adotada foi de 2 m acima do equipamento, assim como adotado por Putuhena e Cordery (1996) e Guevara-Escobar et al. (2007).

Para verificar a vazão de saída do simulador de chuva, esta era medida sempre antes de cada ensaio. Um recipiente era colocado abaixo da ducha durante certo intervalo de tempo (no mínimo 3 minutos) medido com um cronômetro. Depois, o volume coletado era medido com uma proveta graduada ($\pm 0,02$ L) e então, era calculada a vazão ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$). Alterava-se a vazão no simulador com a alteração de rotação do motor da bomba através do inversor de frequência utilizado. Para monitorar a estabilidade de pressão na tubulação e garantir a saída de bolhas de ar da tubulação, foi utilizado um manômetro de mercúrio ligado à tubulação antes da ducha (Figura 19).

4.3. Calibrações

As calibrações necessárias foram realizadas no Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas e no Laboratório de Hidráulica, ambos da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A célula de carga foi calibrada utilizando objetos de pesos comerciais conhecidos específicos para calibração e aferição de balanças de alta precisão, e com isso foi determinada sua sensibilidade e curva de calibração correspondente.

Os pluviógrafos geralmente possuem calibração de fábrica para a sua área de captação de chuva. No caso do modelo 7857M, sua área de captação corresponde a $0,0214 \text{ m}^2$. No LID, as básculas fazem leituras a partir da nova área de captação de chuva, que será a área da bandeja de $0,16 \text{ m}^2$. Como nos ensaios com chuva simulada a área de chuva era correspondente à área do chuveiro, foi realizada a calibração das básculas considerando, então, a área como sendo $0,113 \text{ m}^2$.

A calibração do pluviógrafo foi realizada a partir de 9 ensaios específicos (em triplicata para cada intensidade de chuva) com duração de 1 hora, nos quais era medido o volume que passava pelo pluviógrafo, o volume retido na bandeja depois que encerrava-se o ensaio e o volume perdido por respingos durante os ensaios. O volume de respingos era direcionado para a caixa d'água maior pela proteção de lona envolta do LID, como mostrado na figura 19.

Além desses 9 ensaios para calibração, o pluviógrafo era testado antes de cada ensaio destinado a determinação dos parâmetros da serrapilheira, totalizando 27 ensaios de duração mínima de 10 minutos. Esses ensaios prévios permitiam verificar se o pluviógrafo estava funcionando adequadamente antes dos ensaios mais longos e as leituras registradas foram depois calibradas e analisadas.

4.4. Delineamento experimental

4.4.1. Área de amostragem da serrapilheira e local de teste do equipamento

A serrapilheira, objeto de estudo que foi utilizada nos ensaios com o LID, foi retirada da área experimental de cerrado *sensu stricto* usada pelo grupo de pesquisa em Hidráulica Computacional da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP). Esta área de mata nativa está localizada na Fazenda São José, no município de Itirapina, Estado de São Paulo, como mostrado na figura 21.

Figura 21. Localização da área experimental de cerrado sensu stricto, na Fazenda São José, município de Itirapina, estado de São Paulo, Brasil.

Fonte: do autor

Nesta área experimental, foram realizadas coletas mensais de serrapilheira a fim de, a partir de valores de massa seca, serem obtidos valores máximo, médio e mínimo da quantidade produzida de material, considerando sua variação sazonal. Ao final de cada mês, eram coletadas 3 amostras de serrapilheira em áreas de $0,25 \text{ m}^2$ ($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$), em locais escolhidos aleatoriamente distantes entre si pelo menos 5 metros. A serrapilheira era coletada manualmente, retirando-se todo o material não vivo da superfície, tendo o cuidado para não ser coletado solo juntamente. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório para medição de massa seca (kg). Nas figuras 22 e 23, podem ser observados dois pontos de coleta da serrapilheira e o material coletado.

A área de $0,25 \text{ m}^2$ inicialmente foi a planejada para ser a área da bandeja do LID, entretanto, foi reduzida a $0,16 \text{ m}^2$ para que fosse possível aumentar a resistência da bandeja plástica e também para reduzir o peso total do LID, tornando-o de mais fácil transporte e instalação.

Figura 22. Um dos três pontos de coleta de serrapilheira ($0,25 \text{ m}^2$ de área de coleta) em março de 2015.

Fonte: do autor

Figura 23. Um dos três pontos de coleta de serrapilheira ($0,25 \text{ m}^2$ de área de coletada) em outubro de 2015, e seu armazenamento em sacos plásticos.

Fonte: do autor

No laboratório, as amostras de serrapilheira foram dispostas em bandejas e colocadas em estufa por 24 horas a 100°C , sendo posteriormente pesadas (Figura 24). A partir dos resultados de massa seca, foram adotados os valores extremos (mínimo e máximo) e o médio como quantidades representativas de serrapilheira da área experimental para serem utilizadas nos ensaios com o LID.

Figura 24. À esquerda, estão três amostras de serrapilheira ainda úmidas e à direita, mesmas amostras depois de secas em estufa a 100°C por 24 horas.

Fonte: do autor

Antes de serem utilizadas nos ensaios com o LID, as amostras de serrapilheira precisavam ser secas, porém, não poderiam sofrer alterações em sua estrutura, e para isso foram procedidos os testes para determinar a temperatura de secagem. Nestes testes, três amostras eram pesadas e colocadas em estufa a uma temperatura controlada por 24 horas e depois pesadas. Ficavam por mais 24 horas em estufa na mesma temperatura e ao final eram pesadas novamente. Admitiu-se para esses testes que, se o peso medido entre as secagens de 24 e 48 horas apresentasse redução menor ou igual a 5%, as amostras seriam consideradas secas e a temperatura adequada. Caso contrário, eram necessários novos testes acrescentando 5 °C a temperatura de secagem, assim progressivamente, até que essa condição fosse satisfeita.

Depois de selecionada a temperatura ideal de secagem, todas as amostras utilizadas nos testes com o LID eram previamente secas.

4.4.2. Chuva simulada

Depois de construído, o LID foi testado em ensaios sob chuva simulada em laboratório. Como não há uma série de dados de intensidade de precipitação líquida para a área experimental de cerrado *sensu stricto*, não foi possível saber as intensidades máximas sobre as quais o equipamento seria submetido quando instalado em campo. Diante disso, optou-se por determinar os valores de intensidade da chuva simulada a partir de uma curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) desenvolvida para a área de cerrado *sensu stricto*.

Sabe-se que a intensidade da precipitação líquida em áreas florestais varia espacialmente dependendo do tipo de vegetação, podendo ocorrer pontos preferenciais de gotejamento (NANKO et al., 2011). Além de variação espacial, a vegetação ocasiona a redução no volume total de precipitação líquida, devido à interceptação da chuva pela vegetação. Apesar das significativas diferenças entre a precipitação líquida e a precipitação total, a utilização de uma curva IDF com base em dados de precipitação total apresenta como vantagem a obtenção de intensidades máximas de chuva estimadas para diferentes períodos de retorno.

A curva IDF para a área de cerrado *sensu stricto* foi então determinada a partir de dados diários de precipitação máxima obtidos da estação climatológica instalada no Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA) da Universidade de São Paulo. O CRHEA está localizado em Itirapina (SP), distante apenas 5 km da área de cerrado *sensu stricto*, permitindo, por esta proximidade, que a curva IDF determinada seja bem ajustada às precipitações da área experimental.

A precipitação média anual para a região é de 1496,28 mm (com base nos dados de 1973 a 2014 obtidos no CRHEA), sendo que o período chuvoso tem início no mês de setembro, apresentando maiores precipitações entre os meses de dezembro e fevereiro.

Como base de dados para a elaboração da curva foi utilizada uma série de 40 anos, considerando o ano hidrológico com início em setembro, com dados de janeiro de 1973 a setembro de 2015. Aplicando-se uma análise estatística para a série de dados do ano hidrológico, estes se mostraram independentes para o teste Kendall, e homogêneos para o teste Mann-Kendall, ambos os testes com nível de significância de 5%. Os dados foram então separados em máximos diários anuais e inseridos no software SEAF (Sistema Especialista para Análise de Frequência) (CÂNDIDO, 2003), a fim de encontrar o modelo de distribuição estatística mais adequado para a realização do ajuste dos dados.

Encontrado o modelo de distribuição, os dados foram ajustados para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Posteriormente, as intensidades máximas encontradas no ajuste foram desagregadas em chuvas de menores durações. Para a desagregação, as precipitações máximas diárias encontradas pelo modelo estatístico de distribuição foram transformadas primeiramente em chuvas de 24 horas, utilizando-se, para isso, o coeficiente de desagregação de valor 1,14, indicado por CETESB (1979) para a cidade de São Paulo.

Em seguida, foram utilizados os desagregadores obtidos por Cavalcanti, Silva e Reis (2015) para transformar em chuvas menores, de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 240, 480, 1440 minutos. Esses desagregadores foram obtidos a partir de dados observados por Barbassa (1991) para a cidade de São Carlos, que está localizada a 40 km de Itirapina. Na tabela 4 estão apresentados os coeficientes desagregadores utilizados.

Tabela 4. Coeficientes de desagregação obtidos por Cavalcanti, Silva e Reis (2015)

Minuto/Minuto						Minuto/Hora				
5/30	10/30	15/30	20/30	30/60	45/60	60/24	90/24	120/24	240/24	480/24
0,35	0,57	0,72	0,83	0,78	0,91	0,48	0,54	0,58	0,69	0,8

Fonte: Autor

Com os valores calculados de intensidade de chuva (mm.h^{-1}) para as diferentes durações e tempos de retorno adotados, foi possível obter uma curva IDF utilizando a ferramenta Curve Fitting do software *Matlab*. Com esta ferramenta aplicou-se o método dos mínimos quadrados não linear, encontrando dessa maneira os coeficientes para equação de chuva admitida neste trabalho, sendo essa a mesma equação utilizada por Barbassa (1991),

Righetto (1998), SMOP (2014) e Cavalcanti, Silva e Reis (2015) para a cidade de São Carlos, na forma:

$$I = \frac{a \cdot TR^b}{(t+c)^d}$$

Sendo: I (mm.h^{-1}) a intensidade média da chuva máxima, para um período de retorno TR (anos) e um tempo t (min) de duração de chuva conhecidos. Os coeficientes a , b , c e d representam parâmetros característicos do local de origem dos dados empregados para gerar a curva IDF.

4.5. Testes de funcionamento do LID

Para verificar se o equipamento estava funcionando corretamente foram utilizados os resultados dos ensaios com chuva simulada. O LID foi testado em 46 ensaios. Parte dos ensaios era destinada à avaliação da heterogeneidade das amostras de serrapilheira, parte para a determinação de alguns parâmetros de interesse da serrapilheira e outra parte para melhorar a calibração do pluviógrafo (Figura 25).

Figura 25. Diagrama com as etapas realizadas durante os testes do LID.

Fonte: do autor

Para verificar as leituras de evaporação da serrapilheira feitas com o LID, este foi deixado por 554 minutos (9h23min) após o término da chuva simulada, em um dos ensaios para a determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$, registrando a variação de peso da amostra de serrapilheira.

Como dito anteriormente, alguns ensaios com chuva simulada foram utilizados para determinar os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$ da serrapilheira do cerrado *sensu stricto*. Antes da determinação dos parâmetros, foi necessário determinar se a heterogeneidade das amostras deformadas de serrapilheira interferiria estatisticamente nos resultados. Por isso, foram realizados 10 ensaios com amostras diferentes de serrapilheira de mesma quantidade (a máxima quantidade a ser utilizada nos testes) e com mesma intensidade de chuva (também a máxima intensidade a ser adotada).

Após estes ensaios, foi feita a análise estatística dos valores obtidos dos resultados dos parâmetros $C_{\max}$, $C_{\min}$ e volume drenado (correspondente à diferença entre $C_{\max}$ e $C_{\min}$). Constatada a normalidade dos dados através do teste de normalidade Anderson-Darling, foi aplicado o Teste t para duas amostras a fim de verificar a hipótese nula de que a diferença entre as médias era 0.

Com a hipótese nula confirmada, foram então utilizadas amostras heterogêneas deformadas em todos os demais ensaios com o LID. Inicialmente os ensaios teriam duração 60 minutos de chuva simulada como realizado por Li, Niu e Xie (2013) e Guevara-Escobar et al. (2007) em seus ensaios. Mas durante os 10 ensaios com chuva simulada para avaliação da heterogeneidade das amostras foi observado que o perfil das amostras não umedecia inteiramente, sendo que ao final do teste, quando a amostra era retirada da bandeja, a camada inferior da amostra (próximo ao fundo da bandeja) continuava seca.

Sato et al. (2004) adotaram chuvas simuladas de 300 minutos para determinar $C_{\max}$ e $C_{\min}$, deixando a amostra completamente saturada, com a finalidade de encontrar os “valores máximos” para $C_{\max}$ e $C_{\min}$. No entanto, Putuhena e Cordery (1996) adotaram chuvas entre 30 a 60 minutos, e Li, Niu e Xie (2013) e Guevara-Escobar et al. (2007) chuvas de 60 minutos.

Como um dos propósitos era obter valores representativos de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ para a serrapilheira sob condições semelhantes às naturais no cerrado *sensu stricto*, a determinação dos parâmetros não poderia ser com amostras saturadas ou amostras parcialmente secas na camada inferior, visto que, tais condições não são frequentemente encontradas em campo. Assim, almejava-se uma duração intermediária para os ensaios, que possibilitasse todo o perfil da amostra ser umedecido. A partir dos 10 ensaios realizados, verificou-se que chuvas simuladas com duração de 180 minutos (3h) seriam adequadas para os testes, pois a camada inferior ficava umedecida nos ensaios com amostras de 470 g (peso máximo utilizado).

Para chuvas com duração de 3 horas, as intensidades resultantes da IDF encontrada para Itirapina resultaram em intensidades baixas (menor que 35 mm.h^{-1} para o caso de período de retorno de 100 anos). Como o esquema experimental envolveu a utilização de uma ducha

para a simulação de chuva, chuvas com intensidades baixas (menores que 30 mm.h^{-1}) teriam vazões muito pequenas que não conseguiriam ter boa dispersão na área da ducha. Por isso foram mantidas as intensidades que seriam usadas antes em chuvas de 60 min de duração.

Terminada a etapa de ensaios para avaliação da heterogeneidade, foram iniciados os ensaios para determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$. Esses ensaios foram realizados no esquema fatorial completo, sendo 3 fatores (quantidade de massa seca de serrapilheira) submetidos a 3 níveis de tratamento (intensidades de chuva), em triplicata (3 repetições) para cada tratamento, totalizando 27 ensaios. Semelhantemente aos ensaios para avaliar a heterogeneidade das amostras, as leituras foram registradas com o CR10X a cada minuto.

Os ensaios seguiram-se da seguinte maneira:

- 1) Após ligar o chuveiro e esperar um tempo para estabilizar a bomba, a vazão era medida. Encontrando a vazão necessária para o ensaio o registro de esfera era fechado;
- 2) O LID era então colocado embaixo do chuveiro fechado e anotado a leitura inicial do equipamento com a bandeja seca e vazia;
- 3) Com o registro de esfera aberto, iniciava-se a simulação de chuva sobre o LID, com duração mínima de 10 minutos. Após encerrada essa simulação de chuva inicial, esperava-se alguns minutos até que o peso da bandeja, agora úmida, estabilizasse. Com o registro do novo peso da bandeja, era adicionada a amostra de serrapilheira seca e anotado o novo peso lido pela célula de carga. As leituras feitas pelo pluviógrafo registradas nessa etapa serviram depois para a sua calibração.
- 4) Registrada a leitura da amostra de serrapilheira seca, abria-se o registro novamente e iniciava-se a simulação de chuva com o ventilador ligado. Após 3 horas encerrava-se a chuva simulada (ventilador era também desligado) e nesse momento era obtido o valor de $C_{\max}$ (peso registrado menos o peso inicial do equipamento com a serrapilheira seca).
- 5) Depois de alguns minutos ocorrendo a drenagem da água de gravidade da amostra, quando o peso estabilizava-se durante 3 minutos era obtido o valor de $C_{\min}$ (peso registrado menos o peso inicial do LID com a serrapilheira seca). Esse tempo para registrar o valor de $C_{\min}$ foi determinado experimentalmente, pois durante a drenagem nos ensaios para avaliar a heterogeneidade de amostras, após dois minutos com registros de mesmo peso observava-se ainda redução do peso, podendo ser algumas gotas que ainda escorriam pelo fundo da bandeja em direção

ao furo no centro. Após três minutos com peso estável, geralmente diminuía-se um grama a cada três minutos de maneira contínua sem novas leituras no pluviógrafo. Estabeleceu-se então que o valor de $C_{\min}$ seria calculado com o registro da primeira leitura de peso constante por 3 minutos, entendendo-se que após esse registro as leituras poderiam corresponder a medidas de evaporação da água retida na amostra.

6) Encerrada a drenagem de água da amostra e obtidos os valores de peso para determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$, o *datalogger* era desligado e o LID retirado de dentro da caixa d'água menor. O volume armazenado tanto na caixa d'água menor quanto na maior eram medidos com uma proveta graduada ($\pm 0,01$ L).

Com o volume da caixa d'água menor foi possível determinar o volume que havia passado pela amostra. O volume da caixa d'água maior era o volume perdido na forma de respingos que, através da lona plástica, era direcionado para essa caixa. Como durante os ensaios era utilizado um ventilador para dar oscilação aos pingos de chuva, o vento atribuiu mais incerteza quanto à medida dos respingos, uma vez que acelerava o processo e evaporação do volume retido na lona.

Como a informação sobre o volume dos respingos era importante para a calibração do pluviógrafo, foram realizados posteriormente ensaios específicos sem o ventilador e sem serrapilheira. O objetivo era saber, sob condição máxima de respingos possíveis para cada intensidade adotada, se esse volume poderia ser significativo na calibração do pluviógrafo.

Como comentado no item 4.3, foram 9 ensaios específicos com duração de 1 hora, sem o uso do ventilador e de serrapilheira, sendo 3 repetições para cada uma das 3 intensidades de chuva adotadas. Após o encerramento da chuva simulada e das leituras do pluviógrafo, com o peso da bandeja molhada registrado, retirava-se o LID da caixa d'água menor e media-se o volume armazenado nas duas caixas.

Em todos os ensaios realizados as leituras da célula de carga e do pluviógrafo eram registradas pelo CR10X. Eram obtidas leituras de peso máximo, médio e mínimo e desvio padrão médio pela célula de carga e a intensidade pelo pluviógrafo em lâmina d'água a cada minuto. As figuras 26 e 27 apresentam fotos de parte do esquema experimental para os testes com o LID.

Figura 26. a) LID com uma amostra de serrapilheira sobre a bandeja, sobre a caixa d'água menor, dentro de outra caixa d'água maior. b) LID sem amostra de serrapilheira, dentro da caixa d'água pequena dentro do cerco com lona plástica.

Fonte: Autor

Figura 27. a) Estrutura pronta, com a armação com lona para direcionar os respingos da chuva para a caixa d'água maior, durante a simulação da chuva. b) Cercado de lona plástica semiaberto mostrando o LID com serrapilheira dentro da caixa d'água menor. c) Estrutura sem a lona plástica mostrando o LID com serrapilheira ao fundo, dentro das caixas d'água, e o *datalogger* conectado aos fios da célula e do pluviógrafo, à bateria de 12V e ao notebook.

Fonte: Autor

Encerrados os ensaios para determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ foi feita a análise estatística dos dados obtidos, sendo primeiramente aplicado o teste de normalidade utilizando o método Shapiro-Wilk. Como foi constatada a normalidade dos dados foi realizado o teste ANOVA 2 fatores, que permitiu analisar a interferência dos fatores de tratamento (intensidade da chuva e massa de serrapilheira) sobre as variáveis de interesse que, no caso, eram os valores de $C_{\max}$ e $C_{\min}$.

A partir dos resultados de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ foram feitos gráficos de superfície em 3D e obtidas as equações correspondentes à regressão não linear desses gráficos. As estimativas de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ a partir dessas equações poderão ser verificadas futuramente com os dados que serão obtidos em campo após a instalação do LID.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Equipamento

Após a construção do equipamento (Figura 28a), a bandeja (Figura 28b) recebeu uma tela metálica para acomodar a serrapilheira deixando-a nivelada. A tela também permite que a amostra dentro da bandeja possa ser realocada para ficar ao nível da serrapilheira em campo (Figura 29b). Foram também adicionados ralos metálicos na parte superior e inferior da bandeja para dificultar a passagem de maiores detritos ao pluviógrafo (Figura 28a e 29a).

Figura 28. a) Equipamento montado, com a bandeja na parte superior e os fios dos aparelhos (célula de carga e pluviógrafo) junto ao *datalogger*. b) Vista superior do LID, sendo vista apenas a bandeja com o ralo metálico sobre seu furo concêntrico e a tela metálica.

Fonte: Autor

Figura 29. a) Vista da lateral da bandeja, e da parte inferior com o ralo metálico colado. b) Vista da bandeja preenchida com serrapilheira.

Fonte: Autor

Acima do pluviógrafo foi adicionado um pedaço de tecido tule (Figura 30), apenas para reter detritos menores que passam pelos ralos metálicos, diminuindo a necessidade de limpeza frequente das básculas.

Figura 30. a) Vista superior do LID sem a bandeja, com o pluviógrafo sem a cobertura do tecido. b) Vista superior do LID com o tecido cobrindo o pluviógrafo.

Fonte: Autor

A figura 31b apresenta a peça suporte do pluviógrafo apoiada sobre os apoios fixos nas laterais da caixa e o suporte da célula de carga ao fundo, com dois furos na parte superior para os parafusos que fixam a célula nesse suporte. A figura 31a mostra o LID sem a bandeja e sem o pluviógrafo.

Figura 31. a) Vista superior do LID sem a bandeja e sem o pluviógrafo. b) Peça suporte do pluviógrafo apoiada sobre os apoios da base do pluviógrafo, com o suporte da célula de carga ao fundo soldado na caixa.

Fonte: Autor

A figura 32 apresenta o LID apenas com a peça suporte da bandeja parafusada sobre a célula de carga (à esquerda), e à direita a apenas a célula de carga parafusada sobre seu suporte e com uma peça de plástico sobre ela na outra extremidade. Essa peça plástica foi colocada apenas para assegurar que os registros da célula fossem apenas pela força peso aplicada nessa extremidade. Assim não haveria a possibilidade da peça suporte da bandeja se apoiar sobre a outra extremidade da célula.

Figura 32. a) Vista superior do LID sem a bandeja, com o pluviógrafo sem a cobertura do tecido. b) Célula de carga fixada sobre o suporte da célula, com uma peça plástica sobre a célula na outra extremidade.

Fonte: Autor

A figura 33 mostra o LID em perfil, a) montado com todas as peças sem a lateral que pode ser removida da caixa e b) com o pluviógrafo coberto pelo tecido.

Figura 33. a) Vista de perfil B-B do LID com todas as peças e com o pluviógrafo sem a cobertura de tecido. b) Vista de perfil B-B do LID completo com o pluviógrafo coberto.

Fonte: Autor

5.2. Calibração da célula de carga

A célula de carga foi calibrada utilizando objetos de pesos já conhecidos, os quais foram verificados em uma balança digital de alta precisão (Sartorius®). A célula foi fixada na lateral de uma bancada e conectada a um *datalogger* CR10X para realizar as leituras de peso sobre a célula, como mostrado na figura 34.

Figura 34. Ensaio de calibração de célula de carga em laboratório.

Fonte: Autor

Foram calibradas, como medida preventiva, 3 células de cargas. A célula utilizada apresentou leitura inicial de 12 gramas, sendo então este valor subtraído das demais leituras. Na figura 35 é apresentada a curva de calibração da célula que será acoplada ao equipamento.

Figura 35. Curva de calibração da célula de carga a ser utilizada no equipamento.

Fonte: Autor

Nos 46 ensaios realizados foi possível observar o funcionamento da célula de carga. A figura 36 a seguir apresenta o resultado da amplitude do coeficiente de variação (%) nas leituras observadas pela célula de carga para as diferentes intensidades utilizadas durante os ensaios para determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$. O coeficiente de variação possibilita saber como os desvios padrões observados estão para os valores médios das leituras da célula de carga, realizadas a cada minuto.

Figura 36. Coeficiente de variação observado nas leituras da célula de carga nos 27 ensaios com chuva simulada com diferentes quantidades de serrapilheira (0,100, 0,230 e 0,470 kg) para cada intensidade de chuva.

Fonte: Autor

A partir dos resultados apresentados observa-se que ocorreu um aumento no coeficiente de variação conforme houve o aumento da intensidade de chuva utilizada durante os ensaios com o LID. Deve-se notar que o desvio padrão das leituras da célula de carga não correspondem somente à erros intrínsecos da célula, mas também às variações de peso da bandeja causadas pela oscilação na taxa de armazenamento de água na amostra e no tempo de escoamento da água em direção ao pluviógrafo. Apesar disso, é possível perceber que os coeficientes de variação foram sempre baixos (menores que 1%).

Durante os testes em laboratório, o LID apresentou resultados satisfatórios no que tange as medidas de peso da amostra sobre a bandeja e quanto aos valores de intensidade da chuva que passou pelo pluviógrafo durante os testes em laboratório (itens 5.3.3. e 5.3.4). Para isso foi necessária a calibração da célula de carga e do pluviógrafo (item 5.3.3). A figura 37 apresenta a curva de interceptação de água gerada a partir de um dos testes realizados. Neste ensaio, a amostra de serrapilheira foi deixada, após 3 horas de chuva simulada, secando sob condições naturais dentro do laboratório durante 9h23min.

Figura 37. Curva de retenção de água em uma amostra de serrapilheira (0,470 kg) submetida à chuva simulada de 60 mm.h^{-1} por 180 min.

Fonte: Autor

Durante esse ensaio, foi possível perceber que, enquanto ocorria chuva simulada, a célula de carga registrou o aumento gradativo de água na amostra. Quando se encerrou a chuva simulada, ocorreu uma queda acentuada do volume retido na amostra, que então foi drenado (água de gravidade) durante alguns minutos. Após não haver mais basculadas registradas pelo pluviógrafo, o peso foi tornando-se estável gradativamente por alguns

minutos. Iniciou-se depois disso a fase em que houve a redução do peso por evaporação. Durante essa fase de evaporação a temperatura média registrada pela estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em São Carlos foi entre 9,8 a 14,9 °C.

Nesse ensaio, depois de encerrada a chuva e a drenagem através da amostra, o peso da serrapilheira ficou estável por 4 a 5 minutos e então começou a ocorrer perda de peso novamente (evaporação). Até ao término do ensaio o volume evaporado foi de 269 mm (43 mL). Cabe ser destacada aqui a precisão da célula, que como penúltima medida registou 1,566 mm durante 8 minutos e, por último, registrou 1,560 mm durante mais 8 minutos, até serem encerradas as leituras. Com essas leituras foi possível inferir que a célula permitiu medir com precisão (0,006 mm ou 1 g em 16 minutos) as perdas de água por evaporação.

5.3. Testes de funcionamento do LID

5.3.1 Amostragem e preparo das amostras de serrapilheira para os testes

A partir das 39 coletas realizadas entre março de 2015 e março de 2016, foram obtidos os valores 2,97, 1,45 e 0,60 kg.m⁻², de massa seca de serrapilheira como quantidade de máxima, média e mínima, respectivamente (Figura 38). Como a área da bandeja é de 0,16 m² as amostras de massa seca de serrapilheira utilizadas nos ensaios foram de 0,470, 0,230 e 0,100 kg (valores arredondados).

Figura 38. Variação mensal da quantidade de massa seca de serrapilheira (kg) por área (m²). A linha preta é a quantidade média e a área cinza indica os limites do desvio padrão.

Fonte: Autor

Nos testes para determinar a temperatura de secagem, foram utilizadas amostras de 0,750 kg de serrapilheira, quantidade essa que preenchia totalmente a bandeja metálica usada na estufa. O primeiro teste foi com 35 °C, que se mostrou uma temperatura adequada para a secagem. Além deste, também foi realizado teste com 30 °C, sendo que esta temperatura também secou adequadamente as amostras (Tabela 5). Não foram realizados mais testes com temperaturas menores que 30 °C, porque esta foi considerada uma temperatura recorrente na área durante o ano e também suficiente para que houvesse a secagem do material, de forma a não alterar a estrutura da serrapilheira coletada (Figura 39).

Tabela 5. Teste para seleção da temperatura adequada para a secagem de amostras de serrapilheira em estufa.

Data e Temperatura	Amostra	Peso da amostra (kg)	Peso em 24h (kg)	Peso em 48h (kg)	5% do Peso 24h	Diferença 24h-48h
(02/04/2016) 35°C	1	0,748	0,536	0,528	0,027	0,008
	2	0,750	0,585	0,583	0,029	0,002
	3	0,751	0,526	0,519	0,026	0,007
(07/04/2016) 30°C	1	0,749	1,167	1,162	0,058	0,005
	2	0,750	1,135	1,129	0,057	0,006
	3	0,750	1,102	1,102	0,055	0,000

Figura 39. Temperaturas médias e máximas mensais a partir de medições com termo-higrômetro instalado a 11 metros de altura em uma plataforma instrumental dentro da área de cerrado *sensu stricto*.

Fonte: Autor

5.3.2. Curva IDF

A série de 40 anos de dados de precipitação máxima diária, considerando ano hidrológico, apresentou dados independentes e homogêneos estatisticamente. O software SEAF apontou o modelo de distribuição estatística de Gumbel como o mais adequado para a

realização do ajuste dos dados, mas apresentou um nível baixo de confiança, indicando a possível existência de *outliers*.

Para estimar a probabilidade empírica de excedência associada a esses possíveis pontos, foi determinada a posição de plotagem utilizando a formulação empírica de Gringorten (1963) (Figura 40), que é indicada para a distribuição estatística recomendada (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Figura 40. Gráfico da distribuição de Gumbel e posição de plotagem dos dados utilizados.

Fonte: Autor

Na figura 40 destacam-se dois dados da série por possuírem valores de intensidades relativamente maiores que os demais dados empíricos. Estes dois pontos representam as precipitações de 158,4 e 151,8 mm dos dias 02 de janeiro de 2011 e 12 de janeiro de 2013, respectivamente.

Para averiguar a confiabilidades desses dois valores de precipitação, foi verificada a forma de obtenção desses dados no CRHEA. As precipitações nesses dois eventos foram medidas por mais de um equipamento, o que permitiu comparar as leituras do pluviógrafo de massas com cisterna (Figura 41) e do pluviógrafo de báscula (Figura 42), com os valores das leituras diárias do pluviômetro manual.

Figura 41. Pluviograma registrado com o pluviógrafo de massas com cisterna no dia 02 de janeiro de 2011.

Fonte: Arquivo CRHEA

Figura 42. Gráfico dos registros de hora em hora do pluviógrafo de balsa.

Fonte: Autor

Por meio da confirmação da confiabilidade desses dois valores de eventos de máximas anuais, estes foram, portanto, mantidos na série.

Com os dados ajustados à distribuição de Gumbel, foram calculados os valores de chuva (mm.h^{-1}) para as diferentes durações e tempos de retorno. A partir desses valores foi obtida a curva IDF para a área experimental (Figura 43) e sua respectiva equação:

$$I = \frac{1249 \cdot TR^{0,15}}{(t + 11,39)^{0,81}}$$

Figura 43. Curva IDF para o município de Itirapina, apresentando i (intensidade em mm/h) versus x (tempo de retorno em anos) e y (duração da chuva em minutos).

Fonte: Autor

Comparando-se a curva IDF gerada com as curvas de encontradas por Barbassa (1991), Righetto (1998), SMOP (2014) e Cavalcanti, Silva e Reis (2015), a curva gerada apresentou comportamento similar à curva desenvolvida por Cavalcanti, Silva e Reis (2015) (Figura 44). Com durações maiores de chuva, tornou-se mais evidente a discrepância entre essas duas curvas IDF e as demais desenvolvidas para a cidade de São Carlos (Figura 45).

Figura 44. Curvas de intensidade (mm.h^{-1}) versus tempo de retorno (anos) para duração de chuva: a) 5 minutos; b) 15 minutos; c) 30 minutos e d) 45 minutos.

Fonte: Autor

Figura 45. Curvas de intensidade (mm.h^{-1}) versus tempo de retorno (anos) para duração de chuva: a) 1 hora; b) 2 horas; c) 4 horas e d) 24 horas.

Fonte: Autor

Considerando que apenas a série de dados de Cavalcanti, Silva e Reis (2015) consistia de uma amostra de tamanho mais próximo à série de dados utilizada neste trabalho (47 anos), era esperado que as chuvas de maiores durações e maiores tempos de retorno apresentassem intensidades com valores mais semelhantes àquela, do que as demais curvas. Além disso, foram utilizados os mesmos desagregadores que Cavalcanti, Silva e Reis (2015), o que pode ter influenciado na maior proximidade entre os valores dessas duas curvas IDF.

Apesar de a comparação ser somente com curvas determinadas para a cidade de São Carlos, a proximidade entre as cidades permite analisar, ao menos, qual seria o comportamento esperado da curva. Deve ser considerado, no entanto, que apesar da proximidade, São Carlos está em média 85 m acima da altitude média de Itirapina. A figura 46 apresenta os resíduos encontrados a partir da curva gerada.

Figura 46. Gráfico dos resíduos gerados pela curva IDF, sendo i (intensidade em mm.h^{-1}) versus x (tempo de retorno em anos) e y (duração da chuva em minutos).

Fonte: Autor

Com os resultados obtidos pela curva IDF construída, foram determinados os valores de intensidade de chuva que seriam adotados nos testes do LID em laboratório. Por motivos apresentados na seção 4.5, foram adotados os valores de intensidade apresentados na tabela 6, mas com duração de chuva maior (180 min).

Tabela 6. Valores arredondados de intensidade de chuva a serem utilizados nas chuvas simuladas em laboratório.

Período de Retorno (anos)	Duração de chuva (min)	Intensidade de chuva (mm.h^{-1})
2	60	40
20	60	60
100	60	75

Fonte: Autor

5.3.3. Chuvas simuladas e calibração do pluviógrafo

No total foram realizados 46 ensaios com chuva simulada testando o LID. Destes testes, 10 ensaios foram para analisar a heterogeneidade das amostras de serrapilheira, 27 ensaios foram realizados para determinar $C_{\max}$ e $C_{\min}$ e outros 9 ensaios foram realizados para a calibração do pluviógrafo. Um número maior de ensaios foi realizado, mas foram descartados por problemas com as leituras feitas pela célula de carga.

O problema foi resolvido com a alteração da peça suporte da bandeja e a remoção de uma peça que havia anteriormente (chamada de lâmina fixa). Após a alteração a peça suporte

da bandeja passou a ser parafusada sobre a célula de carga e não apenas apoiada. A figura 47 mostra as peças usadas no protótipo antes da alteração (lâmina fixa e a peça suporte da bandeja) e a figura 48 mostra o protótipo com a peça suporte da bandeja parafusada sobre a célula de carga.

Figura 47. Protótipo do LID com suas peças antes de ter alterações em suas peças.

Fonte: Autor

Figura 48. Protótipo LID com as alterações: sem a peça lâmina fixa e com a peça suporte da bandeja agora parafusada sobre a célula de carga.

Fonte: Autor

Dos 46 ensaios com o LID, 19 deles foram realizados após as alterações feitas nas peças. Nestes ensaios não ocorreram mais desvios consideráveis nas leituras da célula de carga.

Os 10 primeiros testes com o LID foram os ensaios para a avaliação da heterogeneidade das amostras. A tabela 7 apresenta os resultados desses ensaios e a figura 49 apresenta o resultado do teste de normalidade Anderson-Darling para os resultados de volume

drenado, com nível de significância de 5%. O teste foi aplicado também sobre os parâmetros $C_{\max}$, $C_{\min}$ e tempo de drenagem e todos os dados apresentaram distribuição normal ($p \geq 0,05$).

Tabela 7. Resultados dos ensaios para avaliação da heterogeneidade das amostras de serrapilheira do cerrado *sensu stricto*.

Ensaio	Massa de serrapilheira (kg)	Tempo (min)	$C_{\max}$ (kg)	$C_{\min}$ (kg)	Volume drenado (L)	Tempo de drenagem (min)
1	0,470	88	0,235	0,180	0,055	20
2	0,470	122	0,390	0,361	0,029	10
3	0,470	127	0,421	0,210	0,211	13
4	0,470	132	0,337	0,258	0,079	15
5	0,470	152	0,567	0,326	0,241	23
6	0,470	172	0,532	0,384	0,148	34
7	0,470	176	0,522	0,356	0,166	19
8	0,470	180	0,465	0,335	0,130	33
9	0,470	180	0,477	0,371	0,106	54
10	0,470	181	0,540	0,375	0,165	56

Fonte: Autor

Figura 49. Teste de Normalidade Anderson-Darling a 95% de probabilidade com os valores de volume drenado de água (diferença entre $C_{\max}$ e $C_{\min}$).

Fonte: Autor

Como foi constatada a normalidade dos dados, aplicou-se o Teste t para duas amostras com dados de $C_{\max}$ e $C_{\min}$, a fim de testar a hipótese nula de que a diferença entre as médias era 0. Confirmada a hipótese nula, puderam ser utilizadas amostras distintas de serrapilheira nos ensaios para determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ (item 5.3.4).

A calibração do pluviógrafo foi feita a partir de 9 ensaios, realizados especificamente para isso, com duração de 1 hora cada. Assim, foram obtidos resultados das leituras do pluviógrafo, do volume de água que passou pelo pluviógrafo e do volume não lido pelo

pluviógrafo, considerado volume “perdido” sob forma de respingos. A tabela 8 apresenta os resultados desses 9 ensaios.

Tabela 8. Resultados dos ensaios com chuva simulada para a calibração do pluviógrafo usado no LID.

Intensidade (mm.h ⁻¹)	Volume que passou pelo pluviógrafo (mm)	Volume retido na bandeja (mm)	Volume dos respingos (mm)	Volume total da chuva simulada (mm)	Volume registrado pelo pluviógrafo (mm)
40	33,717	0,244	1,770	35,730	25,131
40	32,566	0,163	2,655	35,384	23,533
40	31,770	0,213	2,345	34,328	23,048
60	54,867	0,275	1,770	56,912	36,648
60	51,327	0,325	3,274	54,927	34,443
60	47,257	0,256	3,097	50,610	32,664
75	72,389	0,256	4,336	76,982	45,692
75	70,973	0,300	4,602	75,875	44,824
75	69,823	0,275	5,752	75,850	45,138

Fonte: Autor

Pelos resultados apresentados na tabela 8, foi possível definir o volume médio que ficava retido na bandeja e a porcentagem do volume da chuva que não passava pelo pluviógrafo, sendo perdido na forma de respingos.

A partir desses resultados foi analisado o erro nas leituras do pluviógrafo e na chuva simulada criada nos ensaios, e tais valores são apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Valores médios resultantes dos ensaios para a calibração do pluviógrafo.

Intensidade ± erro médio (mm.h ⁻¹)	Volume pelo pluviógrafo ± desvio padrão (mm)	Erro pluviógrafo (mm)	Erro pluviógrafo (%)
40 ± 4,85	23,90 ± 0,73	-8,78	21,95
60 ± 5,85	34,58 ± 3,22	-16,57	27,62
75 ± 1,24	45,22 ± 0,65	-25,84	34,45

Fonte: Autor

A tabela 9 apresenta os valores da intensidade da chuva utilizada nos ensaios e o erro médio correspondente. Os erros médios associados à chuva simulada foram calculados pela diferença entre o volume esperado e o volume total de chuva medido (Tabela 8). O erro médio do pluviógrafo foi determinado pela diferença entre o volume total da chuva simulada e o volume total registrado pelo pluviógrafo. A partir desses resultados é possível perceber que o pluviógrafo apresentou sempre volumes totais subestimados para a chuva simulada e que conforme maior a intensidade de precipitação aplicada, maior o erro da leitura do pluviógrafo.

O erro médio da intensidade de chuva aplicada está relacionado aos erros sistemáticos e aleatórios do simulador de chuva, podendo ser causados por oscilações na bomba, bolhas de

ar aprisionadas na tubulação, dentre outros. Com os resultados encontrados determinou-se a curva de regressão entre o volume de chuva que passou pelo pluviógrafo (mm) e o volume de chuva registrado pelo pluviógrafo (mm) (Figura 50).

Figura 50. Curva de regressão determinada a partir das informações da chuva registrada pelo pluviógrafo (mm) e o volume de chuva que passou pelo pluviógrafo (mm).

Fonte: Autor

Como antes de cada ensaio para a determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ eram realizados testes com o pluviógrafo, os resultados desses testes foram analisados e os volumes totais de cada ensaio foram calibrados usando a equação da regressão linear gerada a partir dos ensaios específicos para a calibração do pluviógrafo (apresentado na figura 50).

Depois de calibrado, o volume total de chuva para cada ensaio foi somado com o volume que ficou retido na bandeja em cada ensaio mais o volume “perdido” na forma de respingos. O volume retido na bandeja foi medido com a célula de carga pela diferença do peso da bandeja antes e depois do ensaio. O volume de respingos foi calculado a partir do volume percentual médio de respingos, para cada intensidade de chuva, obtido nos ensaios de calibração do pluviógrafo.

A soma total foi comparada com o volume total esperado para aquele ensaio. A figura 51 apresenta a plotagem em *boxplot* das diferenças entre os volumes esperados e os volumes calculados. Nesse gráfico aparecem dois pontos de *outliers*, que foram excluídos dos dados e feita a análise estatística descritiva.

Figura 51. Boxplot da diferença entre os volumes totais calculados e os volumes totais esperados.

Fonte: Autor

Com a exclusão dos *outliers*, o desvio médio total, com base nos registros durante os 27 ensaios, foi de 1,98 ($\pm 3,95$) mm para cada ensaio, com valor máximo de desvio total de 4,09 mm. O desvio padrão médio foi de 1,96 mm.h⁻¹ para as intensidades utilizadas, considerando somente os 9 ensaios específicos de calibração do pluviógrafo.

Comparativamente aos outros equipamentos existentes, pode-se afirmar que, de maneira geral, os equipamentos desenvolvidos até então não foram idealizados para medirem continuamente a água armazenada na serrapilheira e o volume que realmente atinge o solo. Não foram também idealizados de forma a serem de fácil instalação, manutenção, de baixo custo e adaptáveis a diversos tipos de florestas (como por exemplo, a floresta Amazônica onde a vegetação é muito densa e produz grande quantidade de serrapilheira).

O equipamento desenvolvido por Schaap e Bouten (1997) permitia medir a evaporação da serrapilheira, mas apresentou algumas desvantagens, uma vez que em florestas densas, como a maioria das florestas brasileiras, o espaçamento entre as árvores não permite que o transporte e instalação sejam facilmente realizados. Outra desvantagem é que não permite saber se o aumento do peso registrado pela célula de carga é por mais serrapilheira (folhas, galhos e etc) sobre o equipamento ou se poderia ser água da chuva.

Os equipamentos desenvolvidos por Thamm e Widmoser (1995) e de Gerrits, Pfister e Savenije (2007) possibilitaram medir diretamente o volume evaporado pela serrapilheira, mas ambos os equipamentos apresentam a desvantagem de serem de difícil instalação e manutenção, conforme as respectivas especificações de cada. O equipamento de Gerrits, Pfister e Savenije (2007), e também utilizado por Tsiko et al. (2012), é o que mais possui semelhanças com o LID, tendo como desvantagem um sistema de pesagem sensível a

extremos de temperatura, necessitando de maiores cuidados de manutenção. Outra desvantagem, comentada por Gerrits (2010), é a barreira ao vento sobre a amostra que se forma pela armação de madeira na parte superior do equipamento. Essa armação é necessária, por apoiar o sistema de pesagem, mas altera a circulação de ventos na altura da serrapilheira, interferindo no processo de evaporação.

O *design* da bandeja do LID, com os furos nas laterais, diminui as interferências na circulação do vento e permite que, utilizando uma tela ou manta geotêxtil presa nas laterais da bandeja (como mostrado na figura 29), a amostra de serrapilheira possa ser eventualmente deslocada na bandeja para estar sempre ao nível do solo pelo deslocamento da tela ou da manta. A utilização de uma célula de carga traz também vantagens, uma vez que é de fácil instalação e manutenção, apresentando vantagens operacionais dependendo do modelo escolhido.

O protótipo desenvolvido foi considerado de baixo custo, sendo necessário para sua construção 2 chapas metálicas (1 de aço inoxidável e 1 de alumínio, ambas de 1,5 m x 1 m x 0,015 m), 1 pluviógrafo, 1 célula de carga, 1 tubo de alumínio vazado de 1,5 m (de 0,022 m x 0,002 m) e 12 parafusos galvanizados. A bandeja plástica possui medidas específicas e, portanto, feita sob encomenda com o preço unitário em torno de 30 reais.

O tamanho do LID, tanto de suas peças internas quanto dos aparelhos usados (célula de carga e pluviógrafo) podem ser alterados. Deve se ter o cuidado de manter uma área representativa para a amostra de serrapilheira, e também de não ter dimensões a ponto de dificultar o seu transporte e instalação em campo. O arranjo interno das peças deve ser mantido para que a célula de carga registre somente o peso da serrapilheira na bandeja e da peça de suporte da bandeja, permitindo assim que a célula tenha maior faixa de operação.

5.3.4. Determinação dos parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$

A partir dos resultados dos 27 ensaios com o LID em laboratório, utilizando diferentes valores de intensidade de chuva e de quantidade de serrapilheira, foi possível determinar os parâmetros $C_{\max}$ (máxima capacidade de armazenamento da chuva) e $C_{\min}$ (mínima capacidade de armazenamento da chuva). O valor de $C_{\max}$ é determinado no momento em que se encerra a chuva simulada, antes que comece a drenar a água acumulada na amostra. O valor de $C_{\min}$ é encontrado depois que se encerra a drenagem, que ocorre naturalmente por gravidade. O volume drenado é encontrado pela diferença entre $C_{\max}$ e $C_{\min}$.

O valor de $C_{\max}$ representa a capacidade máxima que a serrapilheira tem de armazenar água durante o evento de chuva, sendo um parâmetro de interesse em estudos sobre processos erosivos e runoff em áreas florestais. O valor de $C_{\min}$ representa o volume de água interceptado que sairá da amostra somente via evaporação. Esses dois parâmetros foram determinados para as diferentes quantidades de serrapilheira (0,100, 0,230 e 0,470 kg) e intensidades de chuva simulada (40, 60 e 75 mm.h⁻¹). Para a determinação de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ foram obtidas as curvas de retenção de água nas amostras de serrapilheira para cada quantidade mássica de serrapilheira sobre cada intensidade de chuva utilizada nos ensaios, e em triplicata.

A partir das curvas, foram encontrados os valores de $C_{\max}$, $C_{\min}$, volume drenado (diferença entre $C_{\max}$ e $C_{\min}$) e do tempo de drenagem (tempo para encerrar a drenagem de água pela amostra após o termino da chuva simulada), apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ obtidos a partir dos ensaios com chuva simulada sobre amostras de serrapilheira do cerrado *sensu stricto* utilizando o equipamento LID. (continua)

Massa (kg)	Intensidade (mm.h ⁻¹)	$C_{\max}$ (mm)	$C_{\min}$ (mm)	Volume drenado (mm)	Tempo de drenagem (min)
0,470	75	3,325	2,400	0,925	34
0,470	75	2,906	2,094	0,813	33
0,470	75	2,981	2,319	0,663	54
0,230	75	2,394	1,825	0,569	11
0,230	75	1,775	1,044	0,731	42
0,230	75	2,019	1,444	0,575	27
0,100	75	1,369	1,063	0,306	12
0,100	75	1,375	0,931	0,444	9
0,100	75	1,563	1,119	0,444	23
0,470	60	1,931	1,475	0,456	32
0,470	60	3,725	2,563	1,163	55
0,470	60	3,256	2,438	0,819	35
0,230	60	1,769	1,331	0,437	23
0,230	60	1,806	1,363	0,444	20
0,230	60	2,163	1,550	0,612	21
0,100	60	0,944	0,738	0,206	12

0,100	60	1,156	0,681	0,475	55
0,100	60	1,388	1,056	0,331	11
0,470	40	1,713	1,313	0,400	17
0,470	40	2,388	2,113	0,275	14
0,470	40	3,131	2,506	0,625	28
0,230	40	0,994	0,781	0,213	10
0,230	40	1,925	1,344	0,581	28
0,230	40	2,150	1,613	0,537	20
0,100	40	1,156	0,894	0,262	19
0,100	40	0,975	0,706	0,269	35
0,100	40	1,169	0,750	0,419	19

Fonte: Autor (conclusão)

Os resultados encontrados de C_{max} e C_{min} apresentaram distribuição normal (Figura 52) a 95% de probabilidade e variância de 0,638 e 0,377, respectivamente.

Figura 52. a) Histograma com curva de normalidade em vermelho dos resultados de C_{max} . b) Gráfico boxplot dos resultados de C_{max} . c) Histograma com curva de normalidade em vermelho dos resultados de C_{min} . d) Gráfico boxplot dos resultados de C_{min} .

Fonte: Autor

As curvas de retenção resultantes dos ensaios são apresentadas no Apêndice B. A partir das 27 curvas de retenção (1 curva para cada ensaio), foram obtidas curvas com valores médios (Figuras 53, 54 e 55) a fim de representarem a taxa média de armazenamento nas amostras de serrapilheira. Os valores médios encontrados para $C_{\max}$ e $C_{\min}$ são apresentados na tabela 11.

Tabela 2. Valores médios de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ para cada intensidade de chuva sobre certa quantidade de serrapilheira.

Massa (kg)	Intensidade (mm.h ⁻¹)	$C_{\max}$ (mm)	$C_{\min}$ (mm)
0,470	75	3,071	2,271
0,470	60	2,971	2,158
0,470	40	2,410	1,977
0,230	75	2,063	1,438
0,230	60	1,913	1,415
0,230	40	1,690	1,246
0,100	75	1,435	1,038
0,100	60	1,163	0,825
0,100	40	1,100	0,783

Fonte: Autor

Figura 53. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 75 mm.h⁻¹ com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.

Fonte: Autor

Figura 54. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 60 mm.h^{-1} com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.

Fonte: Autor

Figura 55. Curvas de retenção de água resultante de ensaios com chuva simulada de 40 mm.h^{-1} com diferentes quantidades de serrapilheira (100, 230 e 470 g). As linhas coloridas representam os valores médios de retenção de água (mm) e as linhas pontilhadas representam os valores máximos e mínimos de retenção. As áreas sombreadas, com cores correspondentes às linhas médias, apresentam a diferença entre a média e os extremos.

Fonte: Autor

A maior retenção média de água, tanto para o parâmetro $C_{\max}$, quanto para $C_{\min}$, decorre dos ensaios com a maior quantidade de serrapilheira (0,470 kg) sob a maior intensidade de chuva (75 mm.h⁻¹). Os valores médios, apresentados na tabela 11, mostram que ambos os parâmetros tiveram valores maiores com o aumento da intensidade de chuva aplicada, sendo também maiores com o aumento da massa de serrapilheira.

Foi aplicado o teste de ANOVA para 2 fatores sobre os dados de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ apresentados na tabela 11. A partir dos resultados estatísticos obtidos pela aplicação da ANOVA, com intervalo de confiança de 95%, constatou-se que a massa de serrapilheira utilizada teve efeito significativo sobre os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$, entretanto, a intensidade da chuva não. O volume drenado, volume de água que sai da amostra por gravidade após encerrar a chuva simulada, teve resultados afetados significativamente pela intensidade e pela quantidade mássica usadas nos ensaios ($p \leq 0,05$).

Os efeitos pela interação dos dois tratamentos (massa e intensidade) não foram significativos para os parâmetros analisados. A figura 56 apresenta o gráfico dos efeitos da massa e da intensidade de chuva sobre o $C_{\max}$, a figura 57 os efeitos sobre o $C_{\min}$ e a figura 58 apresenta os efeitos sobre o volume drenado.

Figura 56. Resultados dos efeitos principais massa e intensidade sobre o parâmetro $C_{\max}$.

Fonte: Autor

Figura 57. Resultados dos efeitos da massa e intensidade sobre o parâmetro C_{min} .

Fonte: Autor

Figura 58. Resultados dos efeitos da massa e intensidade sobre o volume drenado.

Fonte: Autor

Foi aplicado também o teste de Correlação de Pearson, cujos resultados são apresentados na tabela 12.

Tabela 3. Coeficientes de Pearson e P-valores ($p \leq 0,05$) para a correlação entre Intensidade da chuva simulada e a quantidade em massa seca de serrapilheira com os parâmetros $C_{\max}$, $C_{\min}$ e volume drenado.

Parâmetros	Intensidade		Massa	
	Coeficiente de Pearson	P-valor	Coeficiente de Pearson	P-valor
$C_{\max}$	0,239	0,229	0,827	<0,01
$C_{\min}$	0,167	0,406	0,855	<0,01
Volume drenado	0,388	0,046	0,591	<0,01

Fonte: Autor

Os resultados indicados pelo teste de ANOVA foram os mesmos indicados pelo teste de correlação. Constatou-se que a intensidade de chuva adotada tem efeito positivo sobre a retenção de água na serrapilheira, entretanto, não é significativo sobre os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$. Observou-se que a quantidade de massa seca de serrapilheira influencia significativamente nos resultados de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ ($p \leq 0,05$).

Segundo Putuhena e Cordery (1997), Guevara-Escobar et al. (2007), Li, Niu e Xie (2013) e Dunkerley (2015), o aumento da intensidade da chuva promove aumento do $C_{\max}$, mas para Sato et al. (2004) essa relação apenas ocorreria com intensidades menores que 50 mm.h^{-1} . Os resultados encontrados pelos autores citados diferem devido as diferentes intensidades e durações das chuvas simuladas, além das diferentes quantidades de serrapilheira utilizadas nos ensaios.

Nos ensaios realizados por Sato et al. (2004), como objetivava-se os valores máximos de $C_{\max}$ e $C_{\min}$, a intensidade de chuva usada foi de 5, 10 e 50 mm.h^{-1} com duração de 300 min tornando as amostras saturadas ao fim da chuva simulada (LI; NIU; XIE, 2013). Dunkerly (2015), Putuhena e Cordery (1997), Guevara-Escobar et al. (2007), e Li, Niu e Xie (2013) realizaram seus ensaios com diferentes intensidades, mas todos com ensaios de no máximo 60 minutos.

Quanto ao $C_{\min}$, apenas Sato et al. (2004) afirmam existir um aumento com o aumento da intensidade. Para Li, Niu e Xie (2013), Putuhena e Cordery (1997) e Guevara-Escobar et al. (2007), não existe uma relação clara quanto a isso e alguns deles apontam para o fato de que em seus resultados o $C_{\min}$ permaneceu praticamente constante mesmo com o aumento da intensidade. Para Li, Niu e Xie (2013), Sato et al. (2004) e Putuhena e Cordery (1997) para os valores de $C_{\min}$, a massa de serrapilheira teria maior influência do que a intensidade de chuva.

Analisando os valores médios de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ deste estudo, é possível encontrar forte correlação linear entre $C_{\max}$ ($r^2 \sim 0,90$) e $C_{\min}$ ($r^2 \sim 0,96$) e a massa de serrapilheira (Figura 59).

Com relação à intensidade da chuva simulada, não foram encontradas correlações maiores que 0,07.

Figura 59. Relação entre a massa de serrapilheira e os parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$.

Fonte: Autor

Os valores encontrados para $C_{\max}$ e $C_{\min}$, ficaram entre 1,10 – 3,07 mm e 0,78 – 2,27 mm, respectivamente. Dunkerley (2015) em seus ensaios com serrapilheira de eucalipto encontrou valores entre 1,02 – 1,97 mm para $C_{\max}$ e Sato et al. (2004) obtiveram valores entre 0,27 – 3,05 mm para $C_{\min}$. Em medições realizadas *in situ* foram encontrados valores para $C_{\min}$ de 1,8 mm (GERRITS, 2010), 1,8 – 4,5 mm (BULCOK; JEWITT, 2012) e 10,5 mm (MARIN; BOUTEN; DEKKER, 2000).

Apresentando o valor médio de $C_{\min}$ em relação à massa de serrapilheira utilizada, o valor obtido de $C_{\min}$ de $6,43 \text{ mm.kg}^{-1}$ (ou $1,03 \text{ g.g}^{-1}$, que corresponde a grama de água por grama de serrapilheira) foi menor do que $\sim 2,3 \text{ g.g}^{-1}$ a partir de serrapilheira de eucalipto (DUNKERLEY, 2015), foi condizente com os valores encontrados por Wilson et al. (2014) de $0,5 - 3,5 \text{ g.g}^{-1}$ em uma floresta de *Quercus sp.* e próximo a $1,51 \text{ mm.kg}^{-1}$ encontrado para uma floresta Amazônica na Colômbia (MARIN; BOUTEN; DEKKER, 2000). Um fator que teve efeito sobre as diferenças encontradas entre esses resultados é a quantidade e o tipo da serrapilheira em estudo.

A retenção de água na serrapilheira se dá nos elementos menos decompostos, que podem manter a água por adsorção, e também nos materiais mais decompostos, nos quais ocorre também a absorção da água pelo material (PITMAN, 1989). Em seu estudo sobre a percolação através da serrapilheira, Dunkerley (2015) esclarece que as variações causadas na drenagem durante a chuva se dão pelo enchimento e esvaziamento de espaços vazios, mas que

não fica claro se estes reservatórios agem de maneira independente ou se a variação no armazenamento dentro destes ocorre via algum efeito do tipo cascata.

Assim, a heterogeneidade da serrapilheira, que envolve a forma das folhas, galhos e demais materiais, bem como a disposição e quantidade destes elementos que a compõem, influenciam na formação dos espaços vazios e, com isso, no aumento da retenção de água. Estes espaços não somente retêm maiores volumes de água de gravidade, mas também permitem maior contato superficial da água com o material nas camadas mais internas, podendo aumentar a retenção por adsorção ou absorção.

Como fatores intrínsecos ao tipo de serrapilheira afetam diretamente a capacidade de armazenamento nesse meio, as estimativas de $C_{\max}$ e $C_{\min}$ devem ser feitas com base em resultados obtidos para o mesmo tipo de serrapilheira. A partir dos resultados obtidos nesse trabalho, foi calculada uma equação de regressão não linear para estimar valores para $C_{\min}$ a partir de valores de massa (kg) e intensidade de chuva (mm.h^{-1}). A equação, em 3D que teve melhor ajuste à distribuição dos dados foi a Gaussiana, com alto coeficiente de correlação ($R = 0,87$) e de determinação ($R^2 = 0,76$). A estimativa de erro padrão foi de 0,33, sendo os valores de x correspondentes à massa (kg) e y à intensidade da chuva (mm.h^{-1}) na equação:

$$C_{\min} = 2,95 * e^{-\left\{0,5 \left[\left(\frac{x-0,58}{0,35} \right)^2 + \left(\frac{y-180,79}{166,54} \right)^2 \right] \right\}}$$

Com a curva de superfície obtida é possível encontrar valores estimados de $C_{\min}$ para a serrapilheira do cerrado *sensu stricto* a partir de valores de intensidade de chuva e de massa de serrapilheira dentro do intervalo de valores usados neste trabalho. Uma curva de superfície para valores de $C_{\max}$ também foi obtida a partir dos resultados encontrados. A equação da curva que teve melhor ajuste à distribuição dos dados foi também a Gaussiana, com coeficiente de correlação ($R = 0,87$) e de determinação ($R^2 = 0,75$). A estimativa de erro padrão foi de 0,43, sendo os valores de x correspondentes à massa (kg) e y à intensidade da chuva (mm.h^{-1}) na equação:

$$C_{\max} = 3,22 * e^{-\left\{0,5 \left[\left(\frac{x-0,54}{0,34} \right)^2 + \left(\frac{y-86,13}{65,55} \right)^2 \right] \right\}}$$

Com a instalação do LID em campo, os valores de $C_{\min}$ e de $C_{\max}$ estimados poderão ser verificados e possivelmente utilizados nos modelos hidrológicos que considerem (ou que venham a considerar) a interceptação da serrapilheira. Os resultados poderão contribuir em estudos acerca da influência da serrapilheira nos processos de escoamento superficial e erosão

em áreas florestais como a de cerrado *sensu stricto*. A figura 60 apresenta as curvas de superfície para os dois parâmetros.

Figura 60. Gráfico de superfície das estimativas de $C_{\min}$ e de $C_{\max}$ a partir de equação de função Gaussiana. As linhas cinzas correspondem aos desvios.

Fonte: Autor

No Apêndice A podem ser encontradas fotografias da instalação do LID na área experimental de cerrado *sensu stricto*.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo a construção de um equipamento para medir a interceptação da chuva pela serrapilheira e que este fosse adequado para as condições ambientais de áreas florestais, como áreas de cerrado *sensu stricto*. O equipamento desenvolvido, *Litter Interception Device* (LID), foi testado em laboratório utilizando chuva simulada com 3 diferentes intensidades e 3 massas de amostras de serrapilheira, provenientes da área experimental de cerrado *sensu stricto*.

A partir da curva IDF construída, foram adotadas as intensidades correspondentes aos períodos de retorno de 2, 20 e 100 anos, sendo 40, 60 e 75 mm.h⁻¹, respectivamente. As quantidades de serrapilheira usadas na bandeja do LID (0,16 m²) correspondem aos valores máximo (0,470 kg), médio (0,230 kg) e mínimo (0,100 kg) representativos da sazonalidade do acúmulo de serrapilheira na área de cerrado *sensu stricto*.

Os resultados dos ensaios indicaram que a célula de carga utilizada no LID tem sensibilidade de 1 g (0,006 mm) para as leituras, sendo adequada para medições da taxa de armazenamento de água e de evaporação na serrapilheira (mm.min⁻¹). Após a calibração do pluviógrafo utilizado no protótipo, observou-se que o erro total máximo desse pluviógrafo, ao final dos ensaios, foi de 4,09 mm.

Os resultados indicam também que a heterogeneidade das amostras deformadas de serrapilheira não interfere na determinação dos parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$ e que os valores médios para esses dois parâmetros (8,84 e 6,43 mm.kg⁻¹.m⁻², respectivamente) encontram-se dentro da faixa dos valores encontrados por outros autores. Os resultados também mostraram que a quantidade de massa de serrapilheira teve maior efeito sobre os valores de $C_{\max}$ e o $C_{\min}$ do que a intensidade da chuva adotada.

Por fim, os testes mostraram que o LID pode ser usado em laboratório para estudos de parâmetros da serrapilheira, sendo possível obter medidas da retenção de água em uma amostra, da evaporação desse volume retido, bem como do volume que drena pela amostra. Com a possibilidade de ser instalado em campo espera-se que este equipamento auxilie futuros estudos na área da hidrologia, principalmente no que tange ao aprimoramento de balanços hídricos, de modelos hidrológicos e em demais estudos relacionados à serrapilheira.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, B. S.; STEBLER, E.; ZOU, C. B. **Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions.** Hydrological Processes, doi: 10.1002/hyp.11047.
- APARECIDO, L. M. T et al. **Relação entre atributos físicos de árvores do cerrado e o escoamento da chuva pelo tronco.** X Congresso de Ecologia do Brasil, 16 a 22 setembro de 2011, São Lourenço, MG.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S.H.S. **Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG.** Revista Árvore, v. 27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARAUJO, R. S. **Deposição de serrapilheira em três modelos de revegetação de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poços das Antas.** 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- 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 – São Paulo.** Revista Árvore, v.27, n.2, p.257-262, 2003.
- ARNELL, N. **Hydrology and Global Environmental Change.** Pearson Education, Harlow. 346 p. 2002.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. **Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, jul-set., 2014.
- BAGREE, R. (2012). **Characterization and Design of a Readout Circuit for a Piezoelectric-based Acoustic Disdrometer.** Dissertação de Mestrado, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science. Department of Microelectronics, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- BARBASSA, A.P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial da cidade de São Carlos.** 1991. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- BLOW, F. E. **Quantity and hydrologic characteristics of litter upon upland oak forests in eastern Tennessee.** Journal of Forestry, v. 53, p.190-195, 1955.
- BRANDO, P. M. et al. **Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazonian forest: result of a throughfall reduction experiment.** Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 363, p.1839–1848, 2008.
- BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review.** National Committee of the Netherlands for the International Hydrological Programme of Unesco, 1990. 224 p.
- BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. **Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa.** Hydrology and Earth System Sciences, v.16, p.3717-3728, 2012.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. **Modelling canopy and litter interception in commercial forest plantations in South Africa using the Variable Storage Gash model and idealised dry curves.** Hydrology and Earth System Sciences, v.16, p.4693-4705, 2012.

CAMPOS, E. H.; ALVES, R. R.; SERATO, D. S.; RODRIGUES, G. S. de S. C.; RODRIGUES, S. C. **Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia - MG.** Sociedade & Natureza, v. 20, p. 189, jun 2008.

CÂNDIDO, M. DE O. **SEAF: Um protótipo de um sistema especialista para análise de frequência local de eventos hidrológicos máximos anuais.** Belo Horizonte: UFMG, 2003.

CARVALHO, F.; ASSUNÇÃO, H. F.; SCOPEL, I. **Partição pluviométrica em fitofisionomias do Cerrado.** Mercator, Fortaleza, v.12, n.27, p.135-147, 2013.

CAVALCANTI, D. L. O.; SILVA, D. F.; REIS, L. F. R. **Análises preliminares de dados de monitoramento das bacias urbanas do município de São Carlos-SP.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília: DF. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-620_analises-preliminares-de-dados-de-monitoramento-das-bacias-urbanas-do-municipio-de-sao-carlos-sp> Acessado em: 8 de dezembro de 2015.

CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto.** Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Companhia de Tecnologia de Saneamento (CETESB), São Paulo, 1ed., p. 468, 1979.

CHAVE, J. et al. **Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America.** Biogeosciences, v.7, p. 43 – 55, 2010.

CIANCIARUSO, M. V.; PIRES, J. S. R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F. L. P. **Produção de serrapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil.** Acta Botanica Brasilica, v.20, n. 1, p. 49-59, 2006.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** Porto Alegre: 2ed. rev e amp, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 336p.

COUTO-SANTOS, F. R.; LUIZÃO, F. J. **Fine litter accumulation in Central Amazonian Tropical rainforest canopy.** Acta Amazonica. v. 40, p.781 – 786, 2010.

CUARTAS, L. et al. **Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: marked differences between normal and dry years.** Agricultural and Forest Meteorology, v.145, p. 69–83, 2007.

CURTIS, W. R. **Moisture storage by leaf litter.** U. S. Forest Serv. Lake States Forest Expt. Sta.Tech. Note 577, p. 2, 1960.

DANTAS, M.; PHILLIPSON, J. **Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian “terra firme” rain forest.** Journal of Tropical Ecology, v.5, n.1, p.27–36, 1989.

DINGMAN, S. L. **Physical Hydrology.** Illinois:Waveland Press, Inc, 3 ed, 2015, 643p.

DOMÍNGUEZ, C.G. et al. **Comparison of deep percolation rates below contrasting land covers with a joint canopy and soil model.** Journal of Hydrology, v. 532, p.65-79, 2016.

DON, A.; KALBITZ, K. **Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages.** Soil Biology & Biochemistry. v. 37, p. 2171-2179, 2005.

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

- GERRITS, A. M. J. **The role of interception in the hydrological cycle**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado na área de Recursos Hídricos). Faculdade de Engenharia Civil e Geociências. Delft university of Technology, Delft, Holanda.
- GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G.; PFISTER, L. **New technique to measure forest floor interception - an application in a beech forest in Luxembourg**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, p. 695-701, 2007.
- GERRITS, A. M. J.; PFISTER, L.; SAVENIJE, H. H. G. **Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest**. Hydrological Processes, v. 24, p. 3011-3025, 2010.
- GRINGORTEN, I. I. **Aplotting rule for extreme probability paper**. Journal of Geophysical Research, v.68, p. 813-814. 1963.
- GUEVARA-ESCOBAR, A. et al. **Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers**. Hydrology and Earth System Sciences, v.11, p. 1703-1716, 2007.
- 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, p. 532-541, 2007.
- HELVEY, J. D. **Rainfall interception by hardwood forest litter in the southern Appalachians**. U.S. Forest Service Research Paper SE-8, p. 1-8, 1964.
- HELVEY, J. D.; PATRIC, J. H. **Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States**. Water Resources Research, v. 1, n. 2, p. 193-206, 1965.
- HILLEL, D. **Fundamentals of Soil Physics**. Academic Press, 2004. 413p.
- HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- HORTON, R. E. **Rainfall Interception**. Monthly Weather Review, v. 47, p. 603-623, 1919.
- HUBER, A. M.; OYARZÚN, C. E. **Redistribución de las precipitaciones en un Bosque Siempreverde del Sur de Chile**. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas Turrialba, v. 42, n. 2, 1992.
- HÖRMANN, G. et al. **Calculation and simulation of Wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany**. Agricultural and Forest Meteorology, v.79, p. 131-148, 1996.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados dos dias 07/09/16 a 08/09/16 de Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática, Estação São Carlos-A711. 2016. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcxMQ==>. Acesso em 20 jan. 2017.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. **Monitoramento e modelagem da interceptação da precipitação e da umidade do solo em fragmento de Mata Atlântica**. 2016. Tese (Doutorado Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- KLAASSEN, W.; BOSVELD, F.; DE WATER, E. **Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception**. Journal of Hydrology, v. 212-213, p. 36-50, 1998.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. **Litter production in an area of Amazonian terra firme forest**, Amazoniana, v.1, p. 287-310, 1968.

- LI, X. et al. **Process-based rainfall interception by small trees in Northern China: The effect of rainfall traits and crown structure characteristics.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v.218, p. 65-73, 2016.
- LI, X.; NIU, J.; XIE, B. **Study on Hydrological Functions of Litter Layers in North China.** *PLoS ONE*, v. 8, n. 7, p. e70328, 2013.
- LILIENFIN, J.; WILCKE, W. **Water element input into native, agri- and silvicultural ecosystems of the Brazilian savanna.** *Biogeochemistry*, v. 67, p. 183- 212, 2004.
- LIMA, W.P.; NICOLIELO, N. **Precipitação efetiva e a interceptação em florestas de Pinheiros tropicais e em uma reserva de cerrado.** *Revista IPEF*, n.24, p.43-46, 1983
- LLOYD, C.R.; MARQUES FILHO, A.O. **Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian forest.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v.42, p. 63-73, 1988.
- LOPES, M. I. M. S.; DE VUONO, Y. S.; DOMINGOS, M. **Serrapilheira acumulada na floresta da Reserva Biológica de Paranapiacaba, sujeita aos poluentes atmosféricos de Cubatão, SP.** *Revista Hoehnea*, v.17, p. 59-70. 1990.
- LOWDERMILK, W.C. **Influence of forest litter on run-off, percolation, and erosion.** *Journal of Forestry*, v. 28, p. 474–491, 1930.
- LUIZÃO, F. J. **Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest,** *GeoJournal*, v. 19, p. 407– 417, 1989.
- MARIN, C.T.; BOUTEN, I.W.; DEKKER, S. **Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia.** *Journal of Hydrology*, v.237. p. 169-183, 2000.
- MIRALLES, D. G. et al. **Magnitude and variability of land evaporation and its components at the global scale.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v.15, n 3, p. 967-981, 2011.
- MORAES, R. M. et al. **Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests.** *Brazilian Journal of Botany*, v.22, n.1, 1999.
- MOURA, A. E.S.S. et al. **Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da mata atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE.** *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.461-469, 2009.
- MIYATA, S. et al. **Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests.** *Water Resources Research*, v. 45, n. 6, W06402, 2009.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia Estatística.** Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 552, 2007.
- NANKO, K. et al. **Spatial variability of throughfall under a single tree: experimental study of rainfall amount, rainfall amount, raindrops, and kinetic energy.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, p. 1173-1182, 2011.
- NASCIMENTO, L. S.; CERQUEIRA, R. M.; HENDERSON, B. L. R. **Produção de serrapilheira em um fragmento adjacente a uma cava de mineração, Ribeirão Grande, SP.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.19, n.9, p. 892-897, 2015.
- OLIVEIRA, P. T. S. **Balanco hídrico e erosão do solo em mata nativa do bioma Cerrado.** 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Departamento de Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- PARK, H. T.; HATTORI, S.; TANAKA, T. **Development of a numerical model for evaluating the effect of litter layer on evaporation.** *Journal of Forest Research*, v.3, n.1, p.25-33, 1998.

PARK, A.; FRIESEN, P.; SERRUD, A. A. S. **Comparative water fluxes through leaf litter of tropical plantation trees and the invasive grass *Saccharum spontaneum* in the Republic of Panama**. Journal of Hydrology, n. 383, p. 167-178, 2010.

PERES, J.R.R. et al. **Litter production in areas of Brazilian “cerrados”**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.18, p.1037-1043, 1983.

PITMAN, J. I. **Rainfall interception by bracken litter- relationship between biomass, storage and drainage rate**. Journal of Hydrology, v. 111, p. 281-291, 1989.

PUTUHENA, W., CORDERY, I. **Estimation of interception capacity of the forest floor**. Journal of Hydrology, v. 180, p. 283–299, 1996.

RIBEIRO, B. T. **Energia cinética de gotas de chuva simulada e energia ultra-sônica na desagregação de um Cambissolo**. 2006. 65 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

ROBERTS, M. C.; KLINGEMAN, P. C. **The influence of landform and precipitation parameters on flood hydrograph**. Journal of Hydrology 11, 393–411, 1970.

RUTTER, A. J. et al. **A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine**. Agricultural. Meteorology, n.9, p. 367-384, 1971.

SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, p. 65-79, 2016.

SATO, Y.; KUMAGAI, T.; KUME, A.; OTSUKI, K.; OGAWA, S. **Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers - the effects of rainfall conditions and leaf shapes**. Hydrological Processes, v.18, p. 3007-3018, 2004.

SATO, Y.; OTSUKI, K.; OGAWA, S. **Experimental studies on litter interception of *cryptomeria japonica* e *lithocarpus edulis***. International Congress INTERPRAEVENT 2002 in Pacific Rim – Matsumoto/Japan. Congress publication, v. 2, p. 973-980.

SAVENIJE, H. H. G. **Interception**. In: Water Encyclopedia: Surface and Agricultural Water, Wiley Publishers, 2005.

SAVENIJE, H. H. G. **The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary**. Hydrological Processes, v. 18, p. 1507-1511, 2004.

SCALENGHE, R. et al. **Consequence of litter removal on pedogenesis: A case study in Bachs and Irchel (Switzerland)**. Geoderma, v.271, p.191-201, 2016.

SCHAAP, M.G.; BOUTEN, W. **Forest floor evaporation in a dense Douglas fir stand**. Journal of Hydrology, v.193, p. 97-113, 1997.

SCHUNK, C. et al. **Comparison of different methods for the in situ measurement of forest litter moisture content**. Natural Hazards and Earth System Sciences, v. 16, p. 403-415, 2016.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. **Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes**. Floresta e Ambiente, v.2, n.2, p. 01-18, 2012.

SEMAGO, W. T. **Interception of precipitation by hardwood litter**. Master's Thesis, Univ. MO. 1960.

- SILVA, C. J. et al. **Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro**. Acta Amazonica, v.37, n.4, p. 543-548, 2007.
- SMOP. (2014). Secretaria Municipal de Obras Públicas - Prefeitura Municipal de São Carlos. **Diretrizes para Drenagem Urbana**. São Carlos, novembro de 2014.
- SPERANDIO, H. V. et al. **Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de sistemas de restauração florestal em Alegre-ES**. Floresta e Ambiente, v. 19, n. 4, p. 460-467, 2012.
- SUN, X. et al. **The effect of strip thinning forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation**. Agricultural and Forest Meteorology, v. 216, p. 48-57, 2016.
- SUNDARAPANDIAN, S. M.; SWAMY, P. S. **Litter production and leaf-litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats, India**. Forest Ecology and Management, v.123, p. 231-244, 1999.
- THAMM, F.; WIDMOSER, P. **Zur hydrologischen Bedeutung der organischen Auflage im Wald:Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse**. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, v.158, p. 287-292, 1995.
- TONELLO, K. C. et al. **Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema**. Revista Árvore, v.38, p.383-390, 2014.
- TSIKO, C. T; MAKURIRA, H.; GERRITS, A. M. J.; SAVENIJE, H. H. G. **Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem**. Physics and Chemistry of the Earth, v. 47-48, p. 122-127, 2012.
- UBARANA, V. N. **Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na Floresta Amazônica**. 1994. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE 2283TDI/545. São José dos Campos, SP. Brasil.
- VALENTI, M. W.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. **Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site**. Brazilian Journal of Biology, São Carlos, v. 68, n. 3, p. 459-465, 2008.
- WALSH, R. P. D.; VOIGT, P. J. **Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology**. Journal of Biogeography, v. 4, n. 3, p.253–274, 1977.
- WANG, L.; THROOP, H. L.; GILL, T. **A novel method to continuously monitor litter moisture – A microcosm-based experiment**. Journal of Arid Environments, v. 115, p. 10-13, 2015.
- WILSON, T.B. et al. **Leaf litter water content and soil surface CO₂ fluxes in a deciduous forest**. Agricultural and Forest Meteorology, v.192, p.42-50, 2014.

APÊNDICE A – Instalação do LID em área de Cerrado

Registro fotográfico da instalação do LID na área experimental de cerrado *sensu stricto* no Instituto Arruda Botelho, na Fazenda São José em Itirapina, Estado de São Paulo (latitude 22°10' S, longitude 47°52' W, elevação: 780 m).

Figura 1. Posicionamento da caixa na cava de instalação do LID com a instalação da célula de carga, suporte da bandeja e suporte do pluviôgrafo.

Fonte: Autor

Figura 2. Instalação do pluviôgrafo (foto à esquerda) e com o filtro opcional do pluviôgrafo (foto à direita).

Fonte: Autor

Figura 3. LID instalado no campo com a amostra de serrapilheira.

Fonte: Autor

Figura 4. LID instalado com cerca de proteção a animais.

Fonte: Autor

APÊNDICE B – Curvas de retenção

Gráficos dos resultados obtidos a partir dos 27 ensaios para determinação dos parâmetros $C_{\max}$ e $C_{\min}$.

Gráfico 1. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,470 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 75 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 2. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,230 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 75 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 3. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,100 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 75 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 4. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,470 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 60 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 5. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,230 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 60 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 6. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,100 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 60 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 7. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,470 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 40 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 8. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,230 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 40 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor

Gráfico 9. Curvas de retenção de água pelas amostras de serrapilheira (0,100 Kg) em 3 ensaios de 180 minutos com chuva simulada de 40 mm.h^{-1} .

Fonte: Autor